

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

2022 • Т. 28 • № 4

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)

Travmatologiya i Ortopediya Rossii

Vol. 28, N 4, 2022

QUARTERLY SCIENTIFIC AND PRACTICAL PEER-REVIEWED JOURNAL

Journal founded in 1993

FOUNDERS

- Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector
Address: 3A, Aptekarskiy lane, office 1N,
St. Petersburg, 191186, Russia
e-mail: info@eco-vector.com
<https://eco-vector.com>
Phone: +7(812)648-83-67

EDITORIAL OFFICE

Address: 8, Akademika Baikova st.,
St. Petersburg, Russia, 195427
e-mail: journal@rniito.org
<https://journal.rniito.org>
Phone: +7(812)670-86-84

INDEXING

Emerging Sources Citation Index
(Web of Science)
Russian Science Citation Index
Google Scholar
Directory of Open Access Journals (DOAJ)
WorldCat
BASE
Dimensions
Ulrich's Periodicals Directory
OpenAIRE

The journal is listed among the peer-reviewed scientific periodicals recommended by Higher Attestation Commission at the Ministry of Education and Science.

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications.
Registration certificate PI No. FC77-82474 was issued on December 10, 2021.



The content is available under the Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY license.

Editors: I.V. Kolesnikova, A.S. Shen
Layout: I.N. Bukreeva
Translators: M.A. Sergeeva, A.R. Mironov

Printed in "Typography Lesnik",
197183, St. Petersburg, Sabirovskaya st., 37.
Free price.

© Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia), 2022

© Eco-Vector, 2022

Editor-in-Chief

Rashid M. Tikhilov – Dr. Sci. (Med.), Professor
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Igor I. Shubnyakov – Dr. Sci. (Med.)
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Executive secretary

Irina V. Kolesnikova
(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Ildar F. Akhtyamov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kazan State Medical University, Kazan, Russia)
Aleksey G. Baidurashvili – Dr. Sci. (Med.), Professor (Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia)
Igor G. Belenkiy – Dr. Sci. (Med.) (St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia)
Mikhail V. Belov – Cand. Sci. (Med.) (Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)
Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Dmitry Yu. Borzunov – Dr. Sci. (Med.) (Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia)
Aleksander V. Gubin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)
Vadim E. Dubrov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)
Aleksander K. Dulaev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Pavlov University, St. Petersburg, Russia)
Luigi Zagra – MD, Professor (Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)
Nikolai N. Kornilov – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Andrey V. Korolev – Dr. Sci. (Med.), Professor (European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)
Andrey A. Korytkin – Cand. Sci. (Med.) (Tsvyanyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)
Djoldas Kuldjanov – MD, Professor (University Hospital, St. Louis, USA)
Dmitry A. Malanin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia)
Alexander M. Miromanov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Chita State Medical Academy, Chita, Russia)
Vyacheslav N. Mitrofanov – Cand. Sci. (Med.) (Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia)
Valery Yu. Murylev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia)
Javad Parvizi – MD, Professor (Rothman Institute, Philadelphia, USA)
Carsten Perka – MD, Professor (Charité – University Medicine, Berlin, Germany)
Dmitry A. Ptashnikov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Sergey O. Ryabykh – Dr. Sci. (Med.) (Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)
Andrey P. Sereda – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Leonid N. Solomin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Marc Thomsen – MD, Professor (Mittelbaden Clinics Baden-Baden Balg, Baden-Baden, Germany)
Vladimir V. Khominets – Dr. Sci. (Med.), Professor (Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)
Robert Hube – MD, Professor (Center of Arthroplasty, Munich, Germany)

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journal.rniito.org>. Permissions to reproduce material must be obtained in writing to the publisher and retained in order to confirm the legality of using reproduced materials.



Травматология и ортопедия России

Том 28, Выпуск 4, 2022

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1993 г.

УЧРЕДИТЕЛИ

- ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России
- ООО «Эко-Вектор»

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»
Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург,
Аптекарский пер., д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
<https://eco-vector.com>
тел.: +7(812)648-83-67

РЕДАКЦИЯ

Адрес: 195427, Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, дом 8;
тел.: +7 (812) 670-86-84
e-mail: journal@rniito.org
<https://journal.rniito.org>

ИНДЕКСАЦИЯ

Emerging Sources Citation Index (Web of Science)
RSCI на платформе Web of Science
РИНЦ
Google Scholar
BASE
Dimensions
DOAJ (Directory of Open Access Journals)
Ulrich's Periodicals Directory
WorldCat
OpenAIRE

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал зарегистрирован Госкомитетом печати, телерадиовещания и массовых коммуникаций 12 апреля 1993 г. (Свидетельство № 0110540). Перерегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия СМИ 10 декабря 2021 г. (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-82474)



Контент журнала доступен под лицензией Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY.

Распространяется по подписке:
Индекс **ПН030** в каталоге «Почта России»;
Индекс **33020** в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакторы Колесникова И.В., Шен А.С.
Технический редактор Гаврилова С.В.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург,
ул. Сабировская, д. 37.
Цена свободная.

Главный редактор

Тихилов Рашид Муртузалиевич – чл.-корр. РАН, д-р мед наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Заместитель главного редактора

Шубняков Игорь Иванович – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь

Колесникова Ирина Владимировна (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ахтямов И.Ф. – д-р мед. наук, профессор (Казанский ГМУ, Казань, Россия)
Баиндурашвили А.Г. – академик РАН, д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия)
Беленький И.Г. – д-р мед. наук (СПб НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия)
Белов М.В. – канд. мед. наук (Клиническая больница скорой медицинской помощи им. Н.В. Соловьевы, Ярославль, Россия)
Божкова С.А. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Борзунов Д.Ю. – д-р мед. наук (Уральский ГМУ, Екатеринбург, Россия)
Губин А.В. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия)
Дубров В.Э. – д-р мед. наук, профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия)
Дулаев А.К. – д-р мед. наук, профессор (ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия)
Загра Л. – д-р медицины, профессор (Ортопедический институт Галеацци, Милан, Италия)
Корнилов Н.Н. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Королев А.В. – д-р мед. наук, профессор (ЕССТО, Москва, Россия)
Корыткин А.А. – канд. мед. наук (Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия)
Кочиш А.Ю. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Кренн В. – д-р медицины, профессор (Центр гистологии, цитологии и молекулярной диагностики, Трир, Германия)
Кульджанов Д. – д-р медицины, профессор (Университетская клиника, Сент-Луис, США)
Маланин Д.А. – д-р мед. наук, профессор (Волгоградский ГМУ, Волгоград, Россия)
Мироманов А.М. – д-р мед. наук, профессор (Читинская ГМА, Чита, Россия)
Митрофанов В.Н. – канд. мед. наук (Приволжский исследовательский медицинский университет, Н. Новгород, Россия)
Мурылев В.Ю. – д-р мед. наук, профессор (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия)
Парвизи Дж. – д-р медицины, профессор (Институт Ротмана, Филадельфия, США)
Перка К. – д-р медицины, профессор (Центр скелетно-мышечной хирургии Университетской клиники Шарите, Берлин, Германия)
Пташиников Д.А. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Рябых С.О. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия)
Серета А.П. – д-р мед. наук (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Соломин Л.Н. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Томсен М. – д-р медицины, профессор (Клиника Миттельбаден, Баден-Баден, Германия)
Хоминец В.В. – д-р мед. наук, профессор (ВмедА им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия)
Хубэ Р. – д-р медицины, профессор (Центр эндопротезирования, Мюнхен, Германия)

CONTENTS

CLINICAL STUDIES

Saraev A.V., Kornilov N.N., Kuliaba T.A., Shubnyakov M.I., Demin A.S., Stolyarov A.A., Sereda A.P. Arthroscopic Meniscectomy for Knee Osteoarthritis: the Gap Between Evidence Based Medicine and Expert Opinion	5
Zykin A.A., Gerasimov S.A., Gorbato R.O., Illarionova T.V. Results of Revision Knee Arthroplasty With Individual Implants	21
Mitrofanov V.N., Korolev S.B., Presnov D.V., Komarov R.N., Akulov M.M. Results of the Articular Spacer Application in Treatment of Knee Periprosthetic Infection.....	31
Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I. Polymorphism of <i>LYPLAL1</i> and <i>TGFA</i> Genes Associated With Progression of Knee Osteoarthritis in Residents Central Chernozem Region of Russia	42
Bogopolskiy O.E., Trachuk P.A., Spetsialnyi D.V., Sereda A.P., Tikhilov R.M. Results of Arthroscopic Treatment for Femoroacetabular Impingement.....	54
Pronskikh A.A., Romanova S.V., Lukinov V.L., Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Korytkin A.A., Pavlov V.V. Total Hip Arthroplasty in Patients With Post-Traumatic Bone Defects and Acetabular Deformities	66
Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu. Surgical Approaches for Triple Pelvic Osteotomy in Children With Hip Dysplastic Instability: Assessment of Muscle Damage.....	79
Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnykin I.Yu., Murashko T.V., Baskaeva T.V. Tactics of Surgical Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis Associated With Mild Chronic Epiphyseal Displacement.....	90
Koltsov A.A., Aksenov A.Yu., Dzhomardly E.I. Kinematic Comparison of Orthopedic Shoes and Ankle-Foot Orthoses in Children With Cerebral Palsy	102

Medvedchikov A.E., Anastasieva E.A., Korytkin A.A., Lukinov V.L., Kirilova I.A. Biceps Brachii Distal Tendon Ruptures: Conservative and Surgical Treatment Outcomes.....	114
Lychagin A.V., Bogatov V.B., Tselishcheva E.Yu., Muzychenkov A.V. Results of Shoulder Adhesive Capsulitis Treatment With the Use of Platelet Rich Plasma and Nucleotide Drugs: A Comparative Study	126
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES	
Khominets V.V., Mikhailov S.V., Zhumagaziev S.E., Shchukin A.V., Ivanov D.V. Comparative Biomechanical Analysis of Ankle Arthrodesis Techniques: Experimental Study	136
Salikhov M.R., Midaev A.I., Fomin N.F. Safe Arthroscopic Approaches for Epicondylitis: Topographic-Anatomical Study.....	148
Kosimov A.A., Khodzhanov I.Yu., Kononovich N.A. Hemodynamics and Tissue Temperature in Bone Union Area of Long Bones Primary Fractures and Refractures: <i>in vivo</i> Experiment	159
COMMENTS	
Miromanov A.M. To the Question of Reparative Regeneration in Children <i>Editorial Comment on the Article by A.A. Kosimov et al. "Hemodynamics and Tissue Temperature in Bone Union Area of Long Bones Primary Fractures and Refractures: in vivo Experiment"</i>	170
REVIEWS	
Sereda A.P., Shubnyakov I.I., Dzhavadov A.A., Mametov M.V., Tikhilov R.M. Economics of Total Hip Arthroplasty: Review	175
Volkova Yu.S., Rodomanova L.A. Management of Mallet Finger: Current Status (Review).....	183
JUBILEES	
Vladimir V. Khominets 60 th Anniversary of the Birth	193
Liubov A. Rodomanova 65 th Anniversary of the Birth	195

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сараев А.В., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Шубняков М.И., Демин А.С., Столяров А.А., Серeda А.П. Артроскопическая менискэктомия у больных гонартрозом: разрыв между доказательной медициной и мнением практикующего специалиста.....	5
Зыкин А.А., Герасимов С.А., Горбатов Р.О., Илларионова Т.В. Результаты ревизионного эндопротезирования коленного сустава с применением индивидуальных имплантатов	21
Митрофанов В.Н., Королёв С.Б., Преснов Д.В., Комаров Р.Н., Акулов М.М. Результаты применения артикулирующего спейсера при лечении перипротезной инфекции коленного сустава.....	31
Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносоев М.И. Связь полиморфизма генов <i>LYPLAL1</i> и <i>TGFA</i> с прогрессированием остеоартроза коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России	42
Богопольский О.Е., Трачук П.А., Специальный Д.В., Серeda А.П., Тихилов Р.М. Результаты артроскопического лечения фемороацетабулярного импинджмента.....	54
Пронских А.А., Романова С.В., Лукинов В.Л., Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Корыткин А.А., Павлов В.В. Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями вертлужной впадины.....	66
Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Барсуков Д.Б., Поздниккин И.Ю. Оценка травматичности хирургических доступов при выполнении тройной остеотомии таза у детей с диспластической нестабильностью тазобедренного сустава	79
Барсуков Д.Б., Бортулёв П.И., Басков В.Е., Поздниккин И.Ю., Мурашко Т.В., Баскаева Т.В. Тактика хирургического лечения пациентов с юношеским эпифизолизом головки бедренной кости при хроническом смещении эпифиза легкой степени.....	90
Кольцов А.А., Аксёнов А.Ю., Джомардлы Э.И. Сравнительная характеристика кинематических параметров ходьбы детей с ДЦП в зависимости от типа фиксации стопы и голеностопного сустава	102

Медведчиков А.Е., Анастасиева Е.А., Корыткин А.А., Лукинов В.Л., Кирилова И.А. Результаты консервативного и хирургического лечения пациентов с разрывом дистального сухожилия двуглавой мышцы плеча	114
Лычагин А.В., Богатов В.Б., Целищева Е.Ю., Музыченков А.В. Результаты лечения адгезивного капсулита плечевого сустава с применением обогащенной тромбоцитами плазмы и нуклеотидных препаратов: сравнительное исследование	126
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
Хоминец В.В., Михайлов С.В., Жумагазиев С.Е., Щукин А.В., Иванов Д.В. Сравнительный биомеханический анализ способов артрорезирования голеностопного сустава: экспериментальное исследование	136
Салихов М.Р., Мидаев А.И., Фомин Н.Ф. Безопасные артроскопические доступы к локтевому суставу при эпикондилитах: топографо-анатомическое обоснование.....	148
Косимов А.А., Ходжанов И.Ю., Кононович Н.А. Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного переломов длинных костей: эксперимент <i>in vivo</i>	159
КОММЕНТАРИИ	
Мироманов А.М. К вопросу о репаративной регенерации у детей <i>Редакционный комментарий к статье А.А. Косимова с соавторами «Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного перелома длинных костей: эксперимент in vivo»</i>	170
ОБЗОРЫ	
Серeda А.П., Шубняков И.И., Джавадов А.А., Маметов М.В., Тихилов Р.М. Экономика эндопротезирования тазобедренного сустава: обзор литературы	175
Волкова Ю.С., Родоманова Л.А. Современное состояние проблемы лечения повреждений типа "mallet finger": обзор литературы.....	183
ЮБИЛЕИ	
Хоминец Владимир Васильевич К 60-летию со дня рождения.....	193
Родоманова Любовь Анатольевна К 65-летию со дня рождения.....	195



Артроскопическая менискэктомия у больных гонартрозом: разрыв между доказательной медициной и мнением практикующего специалиста

А.В. Сараев¹, Н.Н. Корнилов^{1,2}, Т.А. Куляба¹, М.И. Шубняков¹, А.С. Демин¹,
А.А. Столяров⁴, А.П. Середа^{1,3}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им Р.Р. Вредена»,
г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»,
г. Санкт-Петербург, Россия

³ Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов
медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия

⁴ ФГБОУ «Ставропольский государственный университет», г. Ставрополь, Россия

Актуальность. Артроскопия многие десятилетия считалась наименее инвазивным из всех существующих хирургических методов лечения больных гонартрозом, однако проведенные в начале XXI в. рандомизированные клинические исследования (РКИ) продемонстрировали бесполезность изолированного лаважа и дебридмента у данной категории пациентов. В отношении частичной менискэктомии при гонартрозе существующая доказательная база остается весьма разнородной, что отражается в противоречивости или неопределенности клинических рекомендаций большинства профессиональных сообществ, посвященных данной проблеме.

Целью исследования стало проведение критического анализа публикаций высокого уровня доказательности и актуальных клинических рекомендаций, посвященных частичной менискэктомии у пациентов с гонартрозом для сравнения с мнением практикующих специалистов по данной проблеме.

Материал и методы. Нами были проанализированы РКИ и метаанализы РКИ в базах данных eLIBRARY и PubMed, а также действующие клинические рекомендации ведущих профессиональных сообществ, посвященные частичной менискэктомии у больных гонартрозом. Для детализации понимания процесса принятия решений в реальной клинической практике и оценки роли мнения эксперта в иерархии доказательной медицины был произведен анонимный опрос 60 практикующих травматологов-ортопедов, специализирующихся на лечении пациентов с данной патологией.

Результаты. Актуальные научные исследования высокого уровня доказательности демонстрируют, что более 2/3 больных гонартрозом с повреждением мениска достигают купирования симптомов в результате комплексного консервативного лечения, поэтому показания к артроскопии при дегенеративных заболеваниях коленного сустава носят весьма ограниченный характер. Большинство действующих клинических рекомендаций склоняются к артроскопической менискэктомии в качестве метода выбора лечения второго уровня после неэффективности неоперативного подхода и только у пациентов с минимальными клинико-рентгенологическими проявлениями гонартроза. В то же время проведенный нами опрос свидетельствует об отсутствии единого мнения о данной проблеме среди практикующих отечественных специалистов.

Заключение. Основываясь на полученных данных, следует констатировать необходимость проведения качественных многоцентровых исследований, которые позволят выявить конкретную группу пациентов с определенным фенотипом гонартроза, у которых артроскопическая менискэктомия может быть эффективной в долгосрочной перспективе, не ускоряя прогрессирование заболевания с последующей необходимостью эндопротезирования.

Ключевые слова: гонартроз, остеоартрит, коленный сустав, артроскопия, дегенеративный разрыв мениска, резекция мениска.

📖 Сараев А.В., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Шубняков М.И., Демин А.С., Столяров А.А., Середа А.П. Артроскопическая менискэктомия у больных гонартрозом: разрыв между доказательной медициной и мнением практикующего специалиста. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):5-20. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2019>.

✉ Сараев Александр Викторович; e-mail: saraev@drkoleno.ru

Рукопись получена: 30.10.2022. Рукопись одобрена: 05.12.2022. Статья опубликована: 16.12.2022.

© Сараев А.В., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Шубняков М.И., Демин А.С., Столяров А.А., Середа А.П., 2022



Arthroscopic Meniscectomy for Knee Osteoarthritis: the Gap Between Evidence Based Medicine and Expert Opinion

Aleksandr V. Saraev¹, Nikolai N. Kornilov^{1,2}, Taras A. Kuliaba¹, Maxim I. Shubnyakov¹, Aleksandr S. Demin¹, Aleksey A. Stolyarov⁴, Andrei P. Sereda^{1,5}

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

³ Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

⁴ Stavropol State University, Stavropol, Russia

Background. For many decades arthroscopy considered to be the least invasive procedure among all surgical interventions for treatment of knee osteoarthritis (OA). In the beginning of XXI century several randomized clinical studies (RCS) demonstrated inefficiency of lavage and debridement for knee OA. The evidence regarding partial meniscectomy for this category of patients remained uncertain. Therefore the published clinical guidelines are either controversial or inconclusive.

The aim of this study was to critically review the current RCS and meta-analyses of RCS as well as actual clinical guidelines of international orthopedic societies and compare them to expert opinions.

Methods. We searched PubMed and eLIBRARY databases for high evidence research and analyzed the current clinical guidelines dedicated to partial meniscectomy for knee OA. Sixty orthopedic surgeons specialized in this field interviewed anonymously to clarify the decision making process in real clinical practice.

Results. More than patients with knee 2/3 OA of with degenerative meniscal tear benefit from non-surgical treatment therefore indication for arthroscopic partial meniscectomy is limited. The majority of current clinical guidelines consider surgery as an second option if conservative treatment failed and only for non-advanced knee OA. On the contrary experts interview demonstrated the lack of standardized approach as well as a lot of controversies in clinical decision making.

Conclusion. The future research dedicated to partial meniscectomy in knee OA should be appropriately designed to clearly differentiate the sub-population of patient who may benefit from arthroscopy in the long-term without carrying the risk of rapid disease progression with premature conversion to arthroplasty.

Keywords: knee osteoarthritis, arthroscopy, degenerative meniscal tear, meniscectomy.

Cite as: Saraev A.V., Kornilov N.N., Kuliaba T.A., Shubnyakov M.I., Demin A.S., Stolyarov A.A., Sereda A.P. [Arthroscopic Meniscectomy for Knee Osteoarthritis: the Gap Between Evidence Based Medicine and Expert Opinion]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):5-20. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2019>.

✉ Aleksandr V. Saraev; e-mail: saraev@drkoleno.ru

Submitted: 30.10.2022. Accepted: 05.12.2022. Published: 16.12.2022.

© Saraev A.V., Kornilov N.N., Kuliaba T.A., Shubnyakov M.I., Demin A.S., Stolyarov A.A., Sereda A.P., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит коленного сустава (гонартроз) — весьма распространенное и актуальное как с медицинской, так и социально-экономической точки зрения заболевание: около 25% людей старше 50 лет испытывают боль ввиду дегенеративного поражения коленного сустава [1, 2, 3].

В многочисленных монографиях, рекомендациях и руководствах представлены, как правило, четыре стратегии лечения, которые часто комбинируются:

- консервативное немедикаментозное,
- консервативное медикаментозное,
- инъекционная терапия,
- хирургическое: органосохраняющие и органозамещающие (эндопротезирование) операции.

Мы специально не приводим здесь ссылки на конкретные клинические рекомендации, поскольку они варьируют в точном названии стратегии лечения и составе ее компонентов.

В реальности существует еще и пятая стратегия — стратегия взвешенного наблюдения и разумного решения об операции. Даже не разумного, а хотя бы сколь-нибудь научно обоснованного решения о переходе от нехирургического к оперативному лечению. В профессиональном сообществе все чаще обсуждается именно эта проблема — критериев перехода. Однако мы полностью лишены возможности сослаться хоть на какие-нибудь публикации в этом вопросе, потому что проблема выбора между консервативным и оперативным лечением существует, но исследований на этот счет обнаружить не удается.

Наиболее сложен выбор врача в части безвозвратного эндопротезирования и попытки выполнения суставосохраняющей операции (корректирующая остеотомия, артроскопия). Абсолютно понятно желание хирурга сохранить сустав и выполнить, например, артроскопию. Но помогает ли артроскопия при остеоартрите коленного сустава?

Артроскопическая попытка помочь пациенту с остеоартритом коленного сустава включает в себя лаваж, дебридмент (с лаважем) и/или частичную менискэктомию. В этой статье мы попытаемся провести критический анализ существующей доказательной базы и актуальных рекомендаций именно по частичной менискэктомии как более проблемной, так как неэффективность изолированного лаважа и дебридмента в профессиональной среде травматологов-ортопедов практически не вызывает сомнений [3].

Нами были проанализированы РКИ и метаанализы РКИ в базах данных eLIBRARY и PubMed, а также действующие клинические рекомендации ведущих профессиональных сообществ, посвященные частичной менискэктомии у больных гонартрозом.

Дегенеративное заболевание коленного сустава

Традиционно к остеоартриту подходят как к рентгенологическому диагнозу, отождествляя остеоартроз или остеоартрит с дегенеративным заболеванием. Впервые этот термин именно в таком понимании (синонимичность дегенеративного заболевания и рентгенологического артроза) предложили J. Puranen и H. Rönty в 1978 г. [4].

Однако развитие магнитно-резонансной томографии (МРТ) и артроскопии меняет эту парадигму: существует именно дегенеративное заболевание коленного сустава, которое может и не иметь рентгенологическую форму. Нельзя сказать, что «дорентгенологическая» форма артроза обязательно переходит в «рентгенологическую» — в клинической практике весьма часто встречаются пациенты преклонного возраста с дегенеративными повреждениями мягкотканых структур без каких-либо рентгенологических изменений в коленном суставе. В этом аспекте мы абсолютно согласны с мнением R.A.C. Siemieniuk с соавторами [2] о том, что корректнее выделять две формы (но не стадии) дегенеративного заболевания коленного сустава:

- без признаков остеоартрита,
- с признаками остеоартрита.

Дегенеративное заболевание коленного сустава — инклюзивный термин, понимание которого важно для принятия решения о попытке артроскопической помощи. Этот «диагноз» применим для пациентов старше 35–40 лет с болью в коленном суставе с или без (по R.A.C. Siemieniuk с соавторами [2] с изменениями и дополнениями):

- острым и подострым началом болей;
- признаками остеоартрита при визуализационных обследованиях, в первую очередь рентгенологических;
- повреждениями менисков нетравматического или малотравматического генеза;
- механическими симптомами (подзаклинивания, болезненные щелчки) за исключением объективного блока коленного сустава при «больших» повреждениях (разрывы мениска по типу «ручки лейки», блок сустава культей при значительном разрыве мениска или культей передней крестообразной связки и т.д.).

Большинство пациентов с дегенеративным заболеванием коленного сустава имеют как минимум один из перечисленных выше критериев [5]. Термин дегенеративного заболевания коленного сустава, на наш взгляд, малоприменим к пациентам с острым началом симптомов после адекватной травмы вне зависимости от их возраста.

Рекомендации профессиональных сообществ по частичной менискэктомии при дегенеративном заболевании коленного сустава

На вершине доказательной пирамиды находятся метаанализы [6], на основе которых и формулируются гайдлайны или клинические рекомендации. В нашей стране в соответствии с законодательством клинические рекомендации уже практически обязательны к исполнению, в то время как во многих других странах врач гораздо более свободен в выборе лечения. Например, К.Р. Меуарран с соавторами изучили вопрос о том, как строго ортопеды США в своей практике соблюдают рекомендации AAOS [7]. При анализе 1096 визитов пациентов с первичным остеоартритом к ортопедам оказалось, что:

- при первом обращении (впервые установленный диагноз) назначенное лечение соответствовало рекомендациям AAOS в 65% случаев;
 - у обратившихся пациентов к этому врачу в первый раз, но ранее уже получавших терапию, — в 60%;
 - у повторных пациентов — всего лишь в 40%.
- Артроскопические попытки помочь пациентам с остеоартритом были весьма распространены в XX в., но спорность результатов и появление тех или иных гайдлайнов, не рекомендующих артро-

скопию при остеоартрите, в последние два десятилетия стали уменьшать хирургическую активность. Например, в первом шведском национальном руководстве 2012 г. появилась рекомендация о неэффективности артроскопии при остеоартрите коленного сустава [8]. Оказалось, что число артроскопий в Швеции в течение двух лет после выхода данных рекомендаций уменьшилось на 28,6% при остеоартрите и на 34,7% при дегенеративных повреждениях мениска [9].

Однако в разных гайдлайнах формулировки по поводу артроскопии несколько варьируют, и в ряде случаев, чаще при рентгенологически недоказанном остеоартрите, артроскопия, особенно частичная менискэктомия, при дегенеративном заболевании коленного сустава допускается.

В 2021 г. вышла очередная, третья редакция клинических рекомендаций AAOS по лечению остеоартрита [10] которая вызвала некоторое удивление и вместе с интересной критикой S.S. Leopold [11] побудила нас написать эту статью.

Таблица 1 содержит эволюцию рекомендаций AAOS по артроскопии при остеоартрите. Остальные рекомендации мы не включили в эту таблицу специально, поскольку пристальный анализ рекомендаций AAOS и ряда других гайдлайнов (см. ниже) выявил некоторую бессмысленность сведения рекомендаций в единую таблицу.

Таблица 1

Эволюция рекомендаций AAOS по артроскопии при остеоартрите (с ориентацией в сторону частичной менискэктомии, а не лаважа/дебридмента — такая детализация была во второй и третьей редакциях гайдлайна)

1-я редакция, 2008 [12]	Артроскопическая частичная менискэктомия или удаление суставной мыши — опция у пациентов с симптоматическим остеоартритом, у которых также имеются признаки разорванного мениска и/или свободного внутрисуставного тела Уровень доказательности — V. Степень рекомендации — C
2-я редакция, 2013 [13]	Мы не можем рекомендовать или не рекомендовать артроскопическую частичную менискэктомию у пациентов с остеоартритом с разрывом мениска Сила рекомендации — неубедительная
3-я редакция, 2021 [10]	Артроскопическая частичная менискэктомия может использоваться для лечения разрывов менисков у пациентов с конкомитантным остеоартритом, которые не получили эффекта от физиотерапии или другого нехирургического лечения Сила рекомендации — умеренная

Итак, другими словами, эволюция рекомендаций AAOS выглядит следующим образом: сначала «иногда да», затем — «нельзя сказать», потом «иногда да, если не помогла консервативная тактика». При этом в третьем случае «иногда» не такое, как в первом, и добавилось утверждение о «после неэффективной консервативной стратегии».

Проведенный нами анализ показал целый ряд важных особенностей, понимание которых, как нам кажется, очень важно для практического врача, интерпретирующего рекомендации и принимаю-

щего вместе со своим пациентом непосредственное решение об операции.

В первой редакции гайдлайна AAOS (2008) рекомендация была не обоснована никакими исследованиями и являлась исключительно экспертным мнением. Как отмечают сами авторы: «Нет исследований, изучавших пользу артроскопической парциальной менискэктомии и/или удаления свободного внутрисуставного тела у пациентов с первичным диагнозом разрыва мениска и/или свободного внутрисуставного тела и вторичным диагнозом остеоартрита...» [12].

Во второй редакции гайдлайна AAOS (2013) рекомендация базировалась только на одном исследовании S. Herrlin с соавторами [14]. Это исследование было опубликовано еще в 2007 г., так что совершенно непонятно, почему оно было проигнорировано авторами первой редакции 2008 г. Ведь никакой трудоемкий метаанализ на основании одной работы не нужен, и включить в таком случае единственную публикацию в обоснование заняло бы буквально несколько минут. В своей работе S. Herrlin с соавторами при анализе 90 пациентов обнаружили, что артроскопическая парциальная менискэктомия при дегенеративном разрыве с послеоперационными упражнениями по эффективности ничем не отличается от консервативного лечения (упражнения) [14]. Стоит отметить, что в исследовании очень много пациентов было потеряно для наблюдения. Формулировка гайдлайна AAOS 2013 г. не давала практическому врачу информации о том, какая стратегия (консервативная или артроскопическая менискэктомия) предпочтительнее [13]. Фактически врачи воспринимали эти стратегии как равные, хотя имевшаяся к тому моменту доказательная база должна была бы склонять к отказу от артроскопии.

Чуть позже вышли другие качественные работы, показавшие равную эффективность артроскопии и консервативной тактики [14, 15, 16, 17, 18]. Были и другие исследования, правда, чуть худшего качества, не позволявшие включить их в рассмотрение экспертами последующих гайдлайнов, но тем не менее аналогично не показавших преимуществ артроскопии [19, 20, 21].

В связи с накапливающейся доказательной базой в 2017 г. в профессиональном сообществе появились обоснованные призывы обновить рекомендации AAOS, изменив формулировку на более конкретную и дающую врачам более четкое понимание бесполезности артроскопии [22]. И вот в 2021 г. вышла третья редакция гайдлайна AAOS [10]. Рекомендация в части частичной менискэктомии уже базировалась на трех исследованиях. Помимо уже упомянутой работы 2007 г. S. Herrlin с соавторами [14], это были публикации J.N. Katz с соавторами 2013 г. [15] и V.A. van de Graaf с соавторами 2018 г. [16].

J.N. Katz с соавторами провели многоцентровое РКИ симптоматических пациентов 45 лет и старше с разрывами менисков и признаками умеренно- и средневыраженного гонартроза. Сравнивались частичная менискэктомия и стандартная консервативная физиотерапия/упражнения. Оказалось, что при intention-to-treat (ITT) анализе (пациент анализируется в той группе, в которую он попал изначально при рандомизации, даже если пациенту из консервативной группы потом была выполнена операция) через 6 и 12 мес. не было достоверных

различий по функциональным исходам. Однако 30% пациентов из группы консервативного лечения были прооперированы в связи с неэффективностью консервативной тактики [15].

V.A. van de Graaf с соавторами выполнили аналогичное многоцентровое РКИ. Критериями исключения являлись: блокада сустава, операции в анамнезе, нестабильность из-за повреждения крестообразных связок, тяжелый гонартроз (4-я стадия по Kellgren–Lawrence) и ИМТ >35 кг/м². Различий между группами также не было обнаружено. В группе консервативного лечения в связи с неэффективностью 29% пациентов была выполнена частичная менискэктомия в периоде наблюдения до 24 мес. [16].

Таким образом, все три исследования не показали разницы между консервативной тактикой и парциальной менискэктомией. Однако эксперты AAOS сформулировали свою рекомендацию, как вполне допускающую частичную менискэктомию [10] (см. табл. 1). Это несколько удивительно.

Кроме того, не совсем понятен тот факт, что эксперты AAOS сформулировали возможность артроскопической менискэктомии после неэффективной консервативной тактики: в настоящее время не существует исследований, в которых бы изучалась эффективность артроскопии после неудачной консервативной тактики. При всей внешней логичности такой постановки вопроса о последовательной смене стратегии на самом деле нужно думать о том, что есть пациенты, у которых артроскопическая менискэктомия была показана изначально, т.е. это не пациенты с остеоартритом, а пациенты с изолированным дегенеративным разрывом мениска без костного остеоартрита. Критерии включения в описанных выше исследованиях не проводят эту границу четко либо не проводят вообще [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Пожалуй, единственная работа, которая показала эффективность артроскопии при остеоартрите, — это публикация H. Gauffin с соавторами [23]. Авторы сравнивали группы «частичная резекция + физиотерапия» и «физиотерапия». Однако критерием включения пациентов являлось наличие механических симптомов и 0 стадия остеоартрита по Ahlbäck (в гайдлайне ESSKA 2017 [24] ошибочно указано, что критерием включения была стадия по Kellgren–Lawrence ≤ 2). Это весьма важная ремарка, поскольку, опять же, это пациенты, подходящие для артроскопии при остеоартрите, который на самом деле не костный остеоартрит, а дегенеративное заболевание коленного сустава с дегенеративным разрывом.

S.S. Leopold считает, что новая редакция гайдлайна AAOS, разрешающая артроскопию при остеоартрите — это шаг в неправильном направлении, а формулировка о применении артроско-

пии после безуспешного консервативного лечения имеет этические проблемы [11]. При этом ни гайдлайн AAOS 2021 г. [10], ни S.S. Leopold [11] не упоминают работу Н. Gauffin с соавторами [23]. Мы склонны думать, что артроскопия не показана при остеоартрите, но необходимо выделять пациентов с дегенеративным заболеванием коленного сустава и механическими симптомами, у которых артроскопия может быть показана, а не группу больных гонартрозом и механическими симптомами, у которых подобная органосохраняющая операция несет только риски.

Помимо этого существуют и другие рекомендации: ESSKA (2017) [24], NICE [25], BASK [26], шведские национальные рекомендации [8], позиции ряда профессиональных сообществ Канады [27], Австралии [28] и метаанализы. Мы обнаружили 13 метаанализов [29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41] и еще 6 метаанализов от наших китайских коллег, которые весьма активно публикуют их в последние два-три года [42, 43, 44, 45, 46, 47]. Во всех этих документах существуют разнообразные вариации формулировок.

Тупик доказательной медицины

Активной эре доказательной медицины уже более четверти века. Предполагалось, что на вершине пирамиды будут метаанализы, обобщающие результаты РКИ. В метаанализе есть раздел рекомендаций о последующих научных исследованиях. На практике получается, что в метаанализах всегда присутствует призыв к необходимости дальнейших РКИ, так как имеющихся — мало, а корректных — еще меньше.

Применительно к частичной менискэктомии при остеоартрите все метаанализы основываются на пяти-шести РКИ [14, 15, 16, 17, 18, 23]. Реже авторы включают менее качественные работы, но их тоже немного [19, 20, 21]. Совсем недавно были опубликованы еще два качественных РКИ [48, 49]. Достаточно много публикаций с сообщением о неэффективности артроскопии при остеоартрите в целом, но мы не будем их приводить, так как в них смешаны лаваж/дебридмент и/или частич-

ная менискэктомия. В целом можно отметить, что качественных РКИ по теме меньше десятка, а метаанализов, рекомендующих выполнять больше качественных работ, как минимум 20, если добавить к уже упомянутым метаанализам работу S.R. Bollen с соавторами [50].

Не может быть устойчивой пирамида доказательной медицины, если ее вершина больше, чем основание. Если метаанализов в два с лишним раза больше, чем самих РКИ, то это тупик. Качественные работы суммарно включают всего 400–700 пациентов в зависимости от строгости отбора РКИ и критериев включения пациентов.

S.R. Bollen с соавторами говорят о настоящем кошмаре для исследователя, пытающегося сделать метаанализ [50]. Мы согласны с ними, так как небольшое количество РКИ просто не позволяет выделить разных пациентов. В клинике все пациенты разные. Идеального пациента из метаанализа не существует. Если бы РКИ было больше, то мы бы получали более детализированную картину, но этого не происходит: на стройке архитекторов в два раза больше, чем рабочих. А если добавить официальные позиции профессиональных сообществ, гайдлайны, национальные рекомендации, то архитекторов будет больше, чем рабочих как минимум в три-четыре раза. Такая пирамида не может быть устойчивой — она перевернется сама, либо мы будем жить (точнее, уже живем) в королевстве кривых зеркал. А значит, в 2022 г. по-прежнему на вершине доказательной медицины находится личное мнение.

Часто при составлении гайдлайнов одни и те же исследования сначала включаются в рассмотрение экспертами, а в последующей редакции они исключаются [51], либо меняется их сила, как произошло с работой S. Herrlin с соавторами [14] при составлении рекомендаций AAOS.

Часто на конференциях можно увидеть следующий прием: авторы, обосновывая актуальность изучаемой темы, приводят как доказательство увеличивающееся число публикаций по теме. По любой теме. При этом на слайде демонстрируется красивый график числа публикаций по годам в PubMed, устремленный ввысь. К сожалению, этот рост числа публикаций обусловлен не актуальностью, а просто ростом числа публикаций в целом. Чтобы убедиться в этом, достаточно задать любой ключ поиска: будь то дегенеративный мениск, надколенник, остеоартрит коленного сустава, пиявки или гомеопатия (рис. 1).



Рис. 1. Неуклонный рост числа публикаций в PubMed практически по любой тематике

Fig. 1. Exponential increase of publication in PubMed irrespective of research

За последние 10 лет число публикаций по любой теме удвоилось-утроилось. И экспоненциальная тенденция жива. Если, например, в 2000-х гг. для понимания проблемы факторов риска перипротезной инфекции исследователь находил всего 250 работ за десятилетие, то только за два года (2020–2021) таких публикаций было уже 1397, т.е. по две публикации каждый день, включая выходные и праздники. Во многом такой взрывной рост числа публикаций происходит не за счет качественных исследований, РКИ, а за счет сборников, «хищных» журналов и обилия метаанализов. В общем, эта вселенная уже давно живет своей жизнью, и мы не можем на нее влиять. В выдаче результатов поиска нет никакой фильтрации: «показывать только в любимых журналах» или «показывать только в журналах с импакт-фактором выше». Таким образом, вся стратегия развития доказательной медицины и стимуляции публикационной деятельности привела к тому, что в практическом смысле ничего не изменилось по сравнению с концом XX в., его серединой, началом, да даже XIX в.: точно так же успех можно обрести, читая избранный журнал, а во главе — личное мнение.

Впрочем, в последние пять лет действительно появилось что-то совершенно новое, о чем стоит сказать отдельно. Да, личное мнение — сильно, как всегда. Обычно под этим понимают личное мнение эксперта. А эксперт — это врач. Но лечим мы пациента. И пациент — такой же эксперт, чье мнение ничуть не менее важно. R.A.C. Siemieniuk с соавторами выпустили гайдлайн по артроскопии при остеоартрите [2]. Решение принималось панелью экспертов путем голосования. В состав панели экспертов с равной силой голоса вошло три пациента, которым была выполнена артроскопия при остеоартрите. Рекомендация гайдлайна: артроскопия не рекомендована (рис. 2).

Личное мнение специалистов

Роль личного мнения в иерархии доказательной медицины ничуть не умаляется, а фактически находится на самой вершине пирамиды доказательности, и, чтобы оценить его, нами был разработан оригинальный опросник, состоящий из 7 вопросов, на которые было предложено от 4 до 6 вариантов ответов (табл. 2).

В анонимном опросе приняло участие 46 специалистов, занимающихся артроскопией коленного сустава нашей клиники и 14 слушателей вебинара, посвященного данной тематике, из других медицинских учреждений РФ. Выполняя оценку результатов опроса, нами был выявлен тот факт, что некоторые врачи предпочли отвечать не на все вопросы.

Результаты опроса

Обсуждая показания к артроскопии коленного сустава при гонартрозе (вопрос № 1), большая часть специалистов как нашей клиники, так и из других клиник РФ, склоняется к тому, что показанием является начальная стадия, когда комплексное консервативное лечение неэффективно (рис. 3). На сегодняшний день это соответствует выводам зарубежных руководящих принципов и клиническим рекомендациям РФ [52]. Но при этом надо отметить, что единого мнения на этот счет нет даже среди профессиональных сообществ (табл. 3, 4), хотя исследования последних лет свидетельствуют о том, что исходы консервативного лечения не уступают результатам после артроскопии при гонартрозе [14, 15, 16, 53].

Мнение большинства врачей нашей клиники и других врачей РФ о противопоказаниях к артроскопии при гонартрозе (вопрос № 2) едино и сводится к тому, что у пациентов с полнослойными дефектами хряща на сочленяющихся поверхностях (стадия «кость на кость») с патологическими изменениями в субхондральной кости различной степени выраженности вплоть до остеонекроза, с умеренной деформацией нижней конечности в коленном суставе, подтвержденными рентгенологически или на МРТ, артроскопия не способна продемонстрировать положительный исход (рис. 4, табл. 4).

В XX в. исследователи считали, что эффект от артроскопии при гонартрозе достигается за счет лаважа, удаления нестабильных участков хряща и применения микрофрактуринга и, как видно из результатов опроса на вопрос теста № 3, практически половина опрошенных до сих пор считают точно так же, хотя исследования последних лет убедительно доказывают обратное (рис. 5).

РКИ демонстрируют, что частота артроскопической резекции мениска среди пациентов из групп неоперативного лечения вследствие ее неэффективности составляет лишь 30% и менее, то есть 2/3 больных, которым была рекомендована артроскопическая резекция мениска при гонартрозе, достигают купирования симптомов после комплексного консервативного лечения [15, 16]. Объяснить это можно строением и функцией мениска. Иннервация мениска локализуется только в периферической зоне (паракапсулярная часть). В аваскулярной зоне мениска нервных окончаний нет, следовательно, ее повреждение не приводит к возникновению боли в коленном суставе [54]. Основными функциями мениска являются улучшение конгруэнтности бедренно-большеберцового сочленения и перераспределение/поглощение механических нагрузок, а также стабилизация сустава [55].

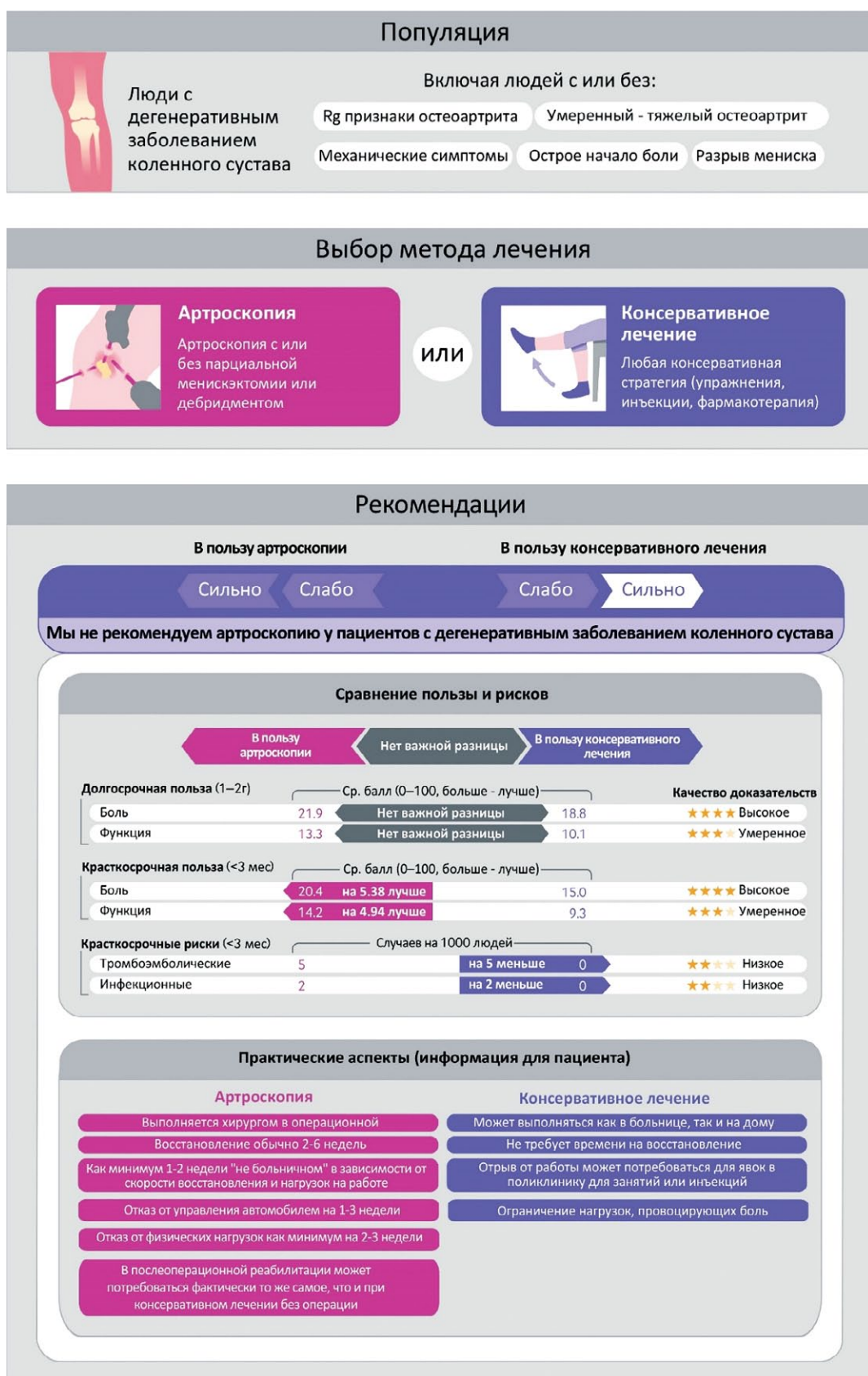


Рис. 2. Рекомендации R.A.C. Siemieniuk с соавторами [2] с русскоязычной адаптацией, изменениями и дополнениями авторов текущей статьи

Fig. 2. Russian adaptation of recommendations from original paper of Siemieniuk et al. [2] with changes and additions of current authors

Таблица 2

Оригинальный опросник

Вопрос	Вариант ответа
1. Показана ли артроскопия больным гонартрозом?	Нет Да, при начальной стадии артроза, когда консервативное лечение неэффективно Да, при начальной стадии артроза, когда консервативное лечение неэффективно и сформировалась умеренная контрактура Да, при любой стадии, если есть механические симптомы/контрактура, а от эндопротезирования пациент отказывается Другое
2. Когда артроскопия при гонартрозе противопоказана?	Стадия «кость-на-кости» Экструзия мениска к периферии Фронтальная деформация конечности более 5° Остеонекроз Перечисленные критерии не имеют значения Никогда, только соматические противопоказания
3. При артроскопии у больных гонартрозом лечебный эффект достигается за счет:	Лаважа (промывания) Удаления нестабильных фрагментов хряща и мениска, остеофитов Обработки обнаженной субхондральной кости Не достигается
4. Если у больного с начальным гонартрозом на МРТ выявляется дегенеративное повреждение мениска Stoller III, то:	Показано консервативное лечение Показана резекция поврежденного участка мениска Показана реконструкция (шов) мениска Решение о тактике с мениском определяется интраоперационно
5. Продолжительность клинического эффекта после артроскопии у больных гонартрозом составляет:	Нисколько 0–3 мес. 3–6 мес. 6–12 мес. Год и более Нет правильного ответа
6. Артроскопия у больных гонартрозом может провоцировать:	Ускорение прогрессирования заболевания Развитие остеонекроза Хронический постхирургический болевой синдром Не провоцирует
7. Что для Вас является определяющим (наиболее важным) в назначении артроскопии пациенту с гонартрозом?	Личный опыт выполнения подобных операций Мнение более опытных коллег Рандомизированные клинические исследования и метаанализы Клинические рекомендации профессиональных сообществ Желание пациента сохранить сустав Ваше желание спасти сустав



Рис. 3. Распределение ответов на вопрос № 1: показана ли артроскопия больным гонартрозом?

Fig. 3. Distribution of the answers to the question 1: Is arthroscopy indicated in knee OA?

Таблица 3

Мнение ведущих профессиональных сообществ относительно лаважа и дебрідмента при остеоартрите коленного сустава

Сообщество	Лаваж или дебрідмент		
	Рентгенологически подтвержденный OA	Рентгенологически не подтвержденный OA	Механические симптомы
ESSKA	Против	За	За
AAOS	Против	Возможно	Возможно
AOA	Против	no comments	no comments
NICE	Против	Против	За
РФ	Против	Возможно	Возможно

ESSKA — European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy [24]; AAOS — American Academy of Orthopaedic Surgeons [10]; AOA — Australian Orthopaedic Association [28]; NICE — National Institute of Health and Care Excellence [25]; РФ — Российская Федерация [52]; За — явное утверждение, что артроскопия показана этим пациентам; Против — явное утверждение, что артроскопия не показана этим пациентам; Возможно — артроскопия рекомендована по отдельным показаниям.

Таблица 4

Рекомендации ведущих ортопедических сообществ по выполнению менискэктомии при остеоартрите коленного сустава

Сообщество	Менискэктомия	
	Доказанный OA	Недоказанный OA
ESSKA	Против	За
AAOS	Возможно	Возможно
AOA	Против	За
NICE	no comments	no comments
РФ	Против	Возможно

ESSKA — European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy [24]; AAOS — American Academy of Orthopaedic Surgeons [10]; AOA — Australian Orthopaedic Association [28]; NICE — National Institute of Health and Care Excellence [25]; РФ — Российская Федерация [52]; За — явное утверждение, что артроскопия показана этим пациентам; Против — явное утверждение, что артроскопия не показана этим пациентам; Возможно — возможная поддержка артроскопии в определенных условиях.

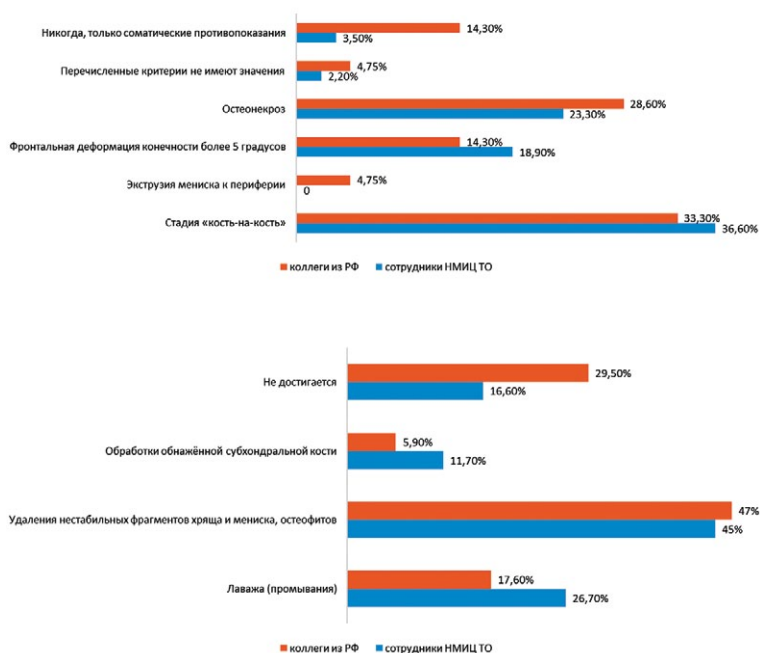


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос № 2: когда артроскопия при гонартрозе противопоказана?

Fig. 4. Distribution of the answers to the question 2: When arthroscopy is contraindicated in knee OA?

Рис. 5. Распределение ответов на вопрос № 3: при артроскопии у больных гонартрозом лечебный эффект достигается за счет...

Fig. 5. Distribution of the answers to the question 3: The clinical effect after arthroscopy in knee OA develops due to ...

Механизм возникновения боли в коленном суставе при повреждении мениска понятен, если оно распространяется до капсулы (рис. 6).

Происходит нарушение целостности циркулярных волокон мениска, которые удерживают его между бедренно-большеберцовым сочленением. Это приводит к его экструзии кнаружи (выдавливание мениска) и вследствие этого к увеличению механической нагрузки на хрящ и субхондральную кость, что в свою очередь приводит к возникновению боли [56, 57].

Поэтому консервативное лечение дегенеративных разрывов мениска оказывает клинический эффект за счет уменьшения перегрузки

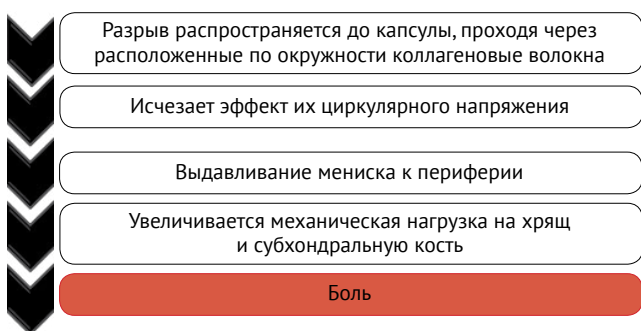


Рис. 6. Механизм появления боли в коленном суставе при повреждении мениска

Fig. 6. Pain pathway after meniscus degenerative tear

субхондральной кости путем улучшения функционального состояния мышц нижней конечности и снижения воспаления после приема НПВП. Как видно из ответов на вопрос № 4, 50% участников из медицинских учреждений РФ считают так же, в отличие от сотрудников нашей клиники, которые все-таки склоняются к резекции поврежденной аваскулярной части мениска, вероятно, руководствуясь рекомендациями профессиональных сообществ, которые обсуждались нами ранее (рис. 7).

Широкая разнородность мнений была продемонстрирована при ответе на вопрос №5 о потенциальной продолжительности клинического эффекта после артроскопии у больных гонартрозом (рис. 8). Большинство исследователей склоняется к тому, что если больной гонартрозом и испытывает улучшение после артроскопии, то продолжается оно не более 3 мес. Видно, что по личному опыту каждого из респондентов стабильного эффекта от артроскопического лечения гонартроза также не наблюдалось, т.е. были как пациенты, у которых эффект отсутствовал полностью, так и те, у которых он сохранялся в течение нескольких месяцев или даже более года. Открытым в этом случае остается вопрос, насколько детализированно отслеживали опрошенные врачи результаты артроскопии у больных гонартрозом и пользовались ли они какими-либо инструментами оценки функции коленного сустава (субъективные и объективные шкалы, рентгенография, МРТ и т.п.), что является обязательным при проведении научных исследований.

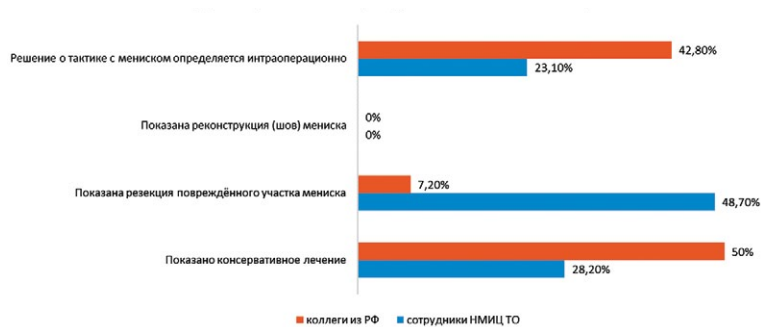


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос № 4: если у больного с начальным гонартрозом на МРТ выявляется дегенеративное повреждение мениска Stoller III, то...

Fig. 7. Distribution of the answers to the question 4: If the patient with early OA demonstrates degenerative meniscus tear Stoller type III on MRI, then ...

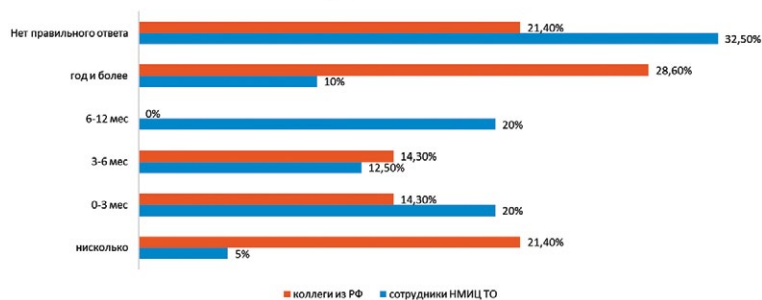


Рис. 8. Распределение ответов на вопрос № 5: продолжительность клинического эффекта после артроскопии у больных гонартрозом составляет...

Fig. 8. Distribution of the answers to the question 5: After knee arthroscopy in OA patient the clinical effect continues...

Практически все опрошенные были единогласны в том, что артроскопия при гонартрозе приводит к ускорению прогрессирования заболевания (вопрос № 6) и может провоцировать остеонекроз мыщелков бедренной и большеберцовой костей, что также доказано научными исследованиями высокого уровня доказательности (рис. 9). В частности, J.N. Katz с соавторами показали, что частота ТЭП в 4,9 раза выше после артроскопии с частичной резекцией мениска [58].

Отвечая на последний, 7-й вопрос, большинство респондентов сошлись в том, что в основе выбора артроскопии должны лежать РКИ и основанные на них рекомендации профессиональных клинических сообществ (рис. 10). Таким образом,

важно использовать МРТ для определения картины повреждения мениска в совокупности с симптомами гонартроза; различать те симптомы, которые не будут улучшены в результате артроскопии, и первоначально лечить консервативно. Выполнение менискэктомия должно рассматриваться, если сохраняются симптомы в течение 3 мес. на фоне продолжающегося консервативного лечения при условии подтвержденного на МРТ повреждения мениска. Также хирургическое лечение показано при разрыве мениска по типу «ручки лейки» и неустраняющейся блокаде коленного сустава. Пациент должен быть информирован о возможных, хоть и редких осложнениях, которые могут возникнуть после артроскопии.

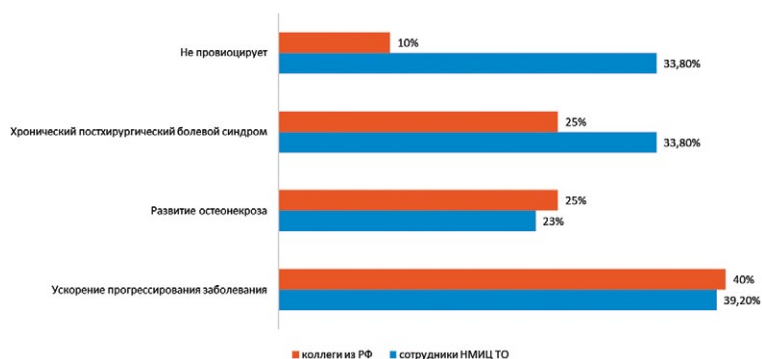


Рис. 9. Распределение ответов на вопрос № 6: артроскопия у больных гонартрозом может провоцировать...

Fig. 9. Results of the vote to the question 6: Arthroscopy in knee OA may leads to development of...



Рис. 10. Распределение ответов на вопрос № 7: что для Вас является определяющим (наиболее важным) в назначении артроскопии пациенту с гонартрозом?

Fig. 10. Distribution of the answers to the question 7: What is the most important when you consider offering arthroscopy to patient with knee OA?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Артроскопия как метод выбора лечения терминального гонартоза исчерпал себя: большинство исследований доказывают неэффективность лаважа, дебридмента, микрофрактуринга субхондральной кости и частичной менискэктомии. Выводы работ, в которых выполнено сравнение результатов консервативного лечения и артроскопии при легко или умеренно выраженном гонартрозе, даже с признаками повреждения или выдавливания мениска по МРТ, указывают на неоднозначную эффективность хирургического подхода. У 2/3 пациентов, которым была рекомендована артроскопическая резекция мениска при начальном гонартрозе, боль купируется после комплексного консервативного лечения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Сараев А.В. — поиск публикаций, написание статьи, редактирование статьи, мнение эксперта.

Корнилов Н.Н. — поиск публикаций, редактирование статьи, мнение эксперта.

Куляба Т.А. — редактирование статьи, мнение эксперта.

Шубняков М.И. — статистическая обработка данных.

Демин А.С. — поиск публикаций.

Столяров А.А. — редактирование статьи, мнение эксперта.

Середа А.П. — поиск публикаций, написание статьи, редактирование статьи, мнение эксперта.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Таким образом, хотя с точки зрения доказательной медицины в настоящее время показания для артроскопии коленного сустава при дегенеративных заболеваниях коленного сустава носят весьма ограниченный характер, проведенный нами опрос свидетельствует об отсутствии единого клинического подхода среди травматологов-ортопедов даже в рамках одной клиники. Поэтому требуется проведение качественных многоцентровых исследований, которые позволят выявить конкретную группу пациентов с определенным фенотипом гонартроза, у которых артроскопия коленного сустава может быть эффективной.

DISCLAIMERS

Author contribution

Saraev A.V. — search for publications, writing an article, editing an article, expert opinion.

Kornilov N.N. — search for publications, editing an article, expert opinion.

Kuliaba T.A. — editing of the article, expert opinion.

Shubnyakov M.I. — statistical data processing.

Demin A.S. — search for publications.

Stolyarov A.A. — editing of the article, expert opinion.

Sereda A.P. — search for publications, writing an article, editing an article, expert opinion.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Turkiewicz A., Gerhardsson de Verdier M., Engström G., Nilsson P.M., Mellström C., Lohmander L.S. et al. Prevalence of knee pain and knee OA in southern Sweden and the proportion that seeks medical care. *Rheumatology (Oxford)*. 2015;54(5):827-835. doi: 10.1093/rheumatology/keu409.
- Siemieniuk R.A.C., Harris I.A., Agoritsas T., Poolman R.W., Brignardello-Petersen R., Van de Velde S. et al. Arthroscopic surgery for degenerative knee arthritis and meniscal tears: a clinical practice guideline. *BMJ*. 2017;357:j1982. doi: 10.1136/bmj.j1982.
- Сараев А.В., Куляба Т.А., Расулов М.Ш., Корнилов Н.Н. Артроскопия при гонартрозе в XXI веке: систематический обзор актуальных исследований высокого уровня доказательности и рекомендаций профессиональных сообществ. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):150-162. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-150-162. Saraev A.V., Kulyaba T.A., Rasulov M.Sh., Kornilov N.N. [Arthroscopy for Knee Osteoarthritis in the XXI Century: a Systematic Review of Current High Quality Researches and Guidelines of Professional Societies]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(4):150-162. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-150-162.
- Puranen J., Rönty H. A new anti-inflammatory drug, proquazone, and ibuprofen in the treatment of degenerative joint disease of the knee (gonarthrosis). A double-blind comparative study. *Scand J Rheumatol Suppl*. 1978;(21):21-24.
- Englund M., Guermazi A., Gale D., Hunter D.J., Aliabadi P., Clancy M. et al. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons. *N Engl J Med*. 2008;359(11):1108-1115. doi: 10.1056/NEJMoa0800777.
- Murad M.H., Asi N., Alsawas M., Alahdab F. New evidence pyramid. *Evid Based Med*. 2016;21(4):125-127. doi: 10.1136/ebmed-2016-110401.
- Meiyappan K.P., Cote M.P., Bozic K.J., Halawi M.J. Adherence to the American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guidelines for Nonoperative Management of Knee Osteoarthritis. *J Arthroplasty*. 2020;35(2):347-352. doi: 10.1016/j.arth.2019.08.051.
- The National Board of Health and Welfare Nationella riktlinjer för rörelseorganens sjukdomar 2012 (national guideline for musculoskeletal disorders 2012). Sweden, 2012. Available from: <https://www.socialstyrelsen.se/globalassets/sharepoint-dokument/artikelkatalog/nationella-riktlinjer/2012-5-1.pdf>. (Updated 10.01.2022).
- Kiadaliri A., Bergkvist D., Dahlberg L.E., Englund M. Impact of a national guideline on use of knee arthroscopy: An interrupted time-series analysis. *Int J Qual Health Care*. 2019;31(9):G113-G118. doi: 10.1093/intqhc/mzz089.
- American Academy of Orthopaedic Surgeons Management of Osteoarthritis of the Knee (NonArthroplasty) Evidence-Based Clinical Practice Guideline. Available from: <https://www.aaos.org/oak3cpg> Published 08/31/2021. (Updated 10.01.2022).
- Leopold S.S. Editorial: The New AAOS Guidelines on Knee Arthroscopy for Degenerative Meniscus Tears are a Step in the Wrong Direction. *Clin Orthop Relat Res*. 2022;480(1):1-3. doi: 10.1097/CORR.0000000000002068.
- Richmond J., Hunter D., Irrgang J., Jones M.H., Levy B., Marx R. et al. Treatment of osteoarthritis of the knee (nonarthroplasty). *J Am Acad Orthop Surg*. 2009;17(9):591-600. doi: 10.5435/00124635-200909000-00006.
- Jevsevar D.S. Treatment of osteoarthritis of the knee: evidence-based guideline, 2nd edition. *J Am Acad Orthop Surg*. 2013;21(9):571-576. doi: 10.5435/JAAOS-21-09-571.
- Herrlin S., Hallander M., Wange P., Weidenhielm L., Werner S. Arthroscopic or conservative treatment of degenerative medial meniscal tears: a prospective randomised trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(4):393-401.
- Katz J.N., Brophy R.H., Chaisson C.E., de Chaves L., Cole B.J., Dahm D.L. et al. Surgery versus physical therapy for a meniscal tear and osteoarthritis. *N Engl J Med*. 2013;368(18):1675-1684. doi: 10.1056/NEJMoa1301408.
- van de Graaf V.A., Noorduyn J.C.A., Willigenburg N.W., Butter I.K., de Gast A., Mol B.W. et al. Effect of Early Surgery vs Physical Therapy on Knee Function Among Patients With Nonobstructive Meniscal Tears: The ESCAPE Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018;320(13):1328-1337. doi: 10.1001/jama.2018.13308.
- Yim J.H., Seon J.K., Song E.K., Choi J.I., Kim M.C., Lee K.B. et al. A comparative study of meniscectomy and nonoperative treatment for degenerative horizontal tears of the medial meniscus. *Am J Sports Med*. 2013;41(7):1565-1570. doi: 10.1177/0363546513488518.
- Sihvonen R., Paavola M., Malmivaara A., Itälä A., Joukainen A., Nurmi H. et al. Arthroscopic partial meniscectomy versus sham surgery for a degenerative meniscal tear. *N Engl J Med*. 2013;369(26):2515-2524. doi: 10.1056/NEJMoa1305189.
- Kise N.J., Risberg M.A., Stensrud S., Ranstam J., Engebretsen L., Roos E.M. Exercise therapy versus arthroscopic partial meniscectomy for degenerative meniscal tear in middle aged patients: randomised controlled trial with two year follow-up. *BMJ*. 2016;354:i3740. doi: 10.1136/bmj.i3740.
- Moseley J.B., O'Malley K., Petersen N.J., Menke T.J., Brody B.A., Kuykendall D.H. et al. A controlled trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the knee. *N Engl J Med*. 2002;347(2):81-88. doi: 10.1056/NEJMoa013259.
- Vermesan D., Prejbeanu R., Laitin S., Damian G., Deleanu B., Abbinante A. et al. Arthroscopic debridement compared to intra-articular steroids in treating degenerative medial meniscal tears. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2013;17(23):3192-3196.
- Leopold S.S. Guidelines on Arthroscopic Surgery for Degenerative Meniscus Tears Need Updating. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(5):1283-1286. doi: 10.1007/s11999-017-5296-7.
- Gauffin H., Tagesson S., Meunier A., Magnusson H., Kvist J. Knee arthroscopic surgery is beneficial to middle-aged patients with meniscal symptoms: A prospective, randomised, single-blinded study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2014;22:1808-1816. doi: 10.1016/j.joca.2014.07.017.
- Beaufils P., Becker R., Kopf S., Englund M., Verdonk R., Ollivier M. et al. Surgical management of degenerative meniscus lesions: the 2016 ESSKA meniscus consensus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(2):335-346. doi: 10.1007/s00167-016-4407-4.
- National Institute for Health and Clinical Excellence. Osteoarthritis: care and management (clinical guideline CG177). 2014. Available from: www.nice.org.uk/guidance/cg177.

26. Price A.J., Haddad F.S., Beard D.J. New guidelines for the use of arthroscopic meniscal knee surgery. *Bone Joint J.* 2019;101-B(6):625-626. doi: 10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2019-0550.
27. Wong I., Hiemstra L., Ayeni O.R., Getgood A., Beavis C., Volesky M. et al. Position Statement of the Arthroscopy Association of Canada (AAC) Concerning Arthroscopy of the Knee Joint-September 2017. *Orthop J Sports Med.* 2018;6(2):2325967118756597. doi: 10.1177/2325967118756597.
28. Australian Knee Society on Arthroscopic Surgery of the Knee. Position statement from the Australian Knee Society on Arthroscopic Surgery of the Knee, including reference to the presence of osteoarthritis or degenerative joint disease. 2016. Available from: www.kneesociety.org.au/resources/aks-arthroscopy-position-statement.pdf. (Updated 10.01.2022).
29. Thorlund J.B., Juhl C.B., Roos E.M., Lohmander L.S. Arthroscopic surgery for degenerative knee: systematic review and meta-analysis of benefits and harms. *BMJ.* 2015;350:h2747. doi: 10.1136/bmj.h2747.
30. Lien-Iversen T., Morgan D.B., Jensen C., Risberg M.A., Engebretsen L., Viberg B. Does surgery reduce knee osteoarthritis, meniscal injury and subsequent complications compared with non-surgery after ACL rupture with at least 10 years follow-up? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2020;54(10):592-598. doi: 10.1136/bjsports-2019-100765.
31. Palmer J.S., Monk A.P., Hopewell S., Bayliss L.E., Jackson W., Beard D.J. et al. Surgical interventions for symptomatic mild to moderate knee osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;7(7):CD012128. doi: 10.1002/14651858.CD012128.pub2.
32. Charlesworth J., Fitzpatrick J., Perera N.K.P., Orchard J. Osteoarthritis – a systematic review of long-term safety implications for osteoarthritis of the knee. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):151. doi: 10.1186/s12891-019-2525-0.
33. Karpinski K., Müller-Rath R., Niemeyer P., Angele P., Petersen W. Subgroups of patients with osteoarthritis and medial meniscus tear or crystal arthropathy benefit from arthroscopic treatment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(3):782-796. doi: 10.1007/s00167-018-5086-0.
34. Liebs T.R., Ziebarth K., Berger S. Randomized Controlled Trials for Arthroscopy in Degenerative Knee Disease: Was Conservative Therapy Appropriately Tried Prior to Arthroscopy? *Arthroscopy.* 2018;34(5):1680-1687.e6. doi: 10.1016/j.arthro.2017.12.016.
35. Brignardello-Petersen R., Guyatt G.H., Buchbinder R., Poolman R.W., Schandelmaier S., Chang Y. et al. Knee arthroscopy versus conservative management in patients with degenerative knee disease: a systematic review. *BMJ Open.* 2017;7(5):e016114. doi: 10.1136/bmjopen-2017-016114.
36. van de Graaf V.A., Wolterbeek N., Mutsaerts E.L., Scholtes V.A., Saris D.B., de Gast A. et al. Arthroscopic Partial Meniscectomy or Conservative Treatment for Nonobstructive Meniscal Tears: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy.* 2016;32(9):1855-1865.e4. doi: 10.1016/j.arthro.2016.05.036.
37. Lamplot J.D., Brophy R.H. The role for arthroscopic partial meniscectomy in knees with degenerative changes: a systematic review. *Bone Joint J.* 2016; 98-B(7):934-938. doi: 10.1302/0301-620X.98B7.37410.
38. Barlow T., Downham C., Griffin D. Arthroscopy in knee osteoarthritis: a systematic review of the literature. *Acta Orthop Belg.* 2015;81(1):1-8.
39. Khan M., Evaniew N., Bedi A., Ayeni O.R., Bhandari M. Arthroscopic surgery for degenerative tears of the meniscus: a systematic review and meta-analysis. *CMAJ.* 2014;186(14):1057-1064. doi: 10.1503/cmaj.140433.
40. Evidence Development and Standards Branch, Health Quality Ontario. Arthroscopic Debridement of the Knee: An Evidence Update. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2014;14(13):1-43.
41. Spahn G., Hofmann G.O., Klinger H.M. The effects of arthroscopic joint debridement in the knee osteoarthritis: results of a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(7):1553-1561. doi: 10.1007/s00167-012-2169-1.
42. Lee S.H., Lee O.S., Kim S.T., Lee Y.S. Revisiting Arthroscopic Partial Meniscectomy for Degenerative Tears in Knees With Mild or No Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Clin J Sport Med.* 2020;30(3):195-202. doi: 10.1097/JSM.0000000000000585.
43. Yang X., Liang W., Li J., Liu P. A meta-analysis and systematic review of the therapeutic effects of arthroscopy combined with intra-articular injection of sodium hyaluronate in the treatment of knee osteoarthritis. *Ann Palliat Med.* 2021;10(9):9859-9869. doi: 10.21037/apm-21-2145.
44. Tian J., Wang Z., An J., Dong L. Arthroscopic debridement combined with proximal fibular osteotomy in medial tibial articular genu osteoarthritis treatment: systematic review and meta-analysis. *Ann Palliat Med.* 2021;10(7):7894-7904. doi: 10.21037/apm-21-1381.
45. Ma J., Chen H., Liu A., Cui Y., Ma X. Medical exercise therapy alone versus arthroscopic partial meniscectomy followed by medical exercise therapy for degenerative meniscal tear: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):219. doi: 10.1186/s13018-020-01741-3.
46. Pan H., Zhang P., Zhang Z., Yang Q. Arthroscopic partial meniscectomy combined with medical exercise therapy versus isolated medical exercise therapy for degenerative meniscal tear: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg.* 2020;79:222-232. doi: 10.1016/j.ijssu.2020.05.035.
47. Li J., Zhu W., Gao X., Li X. Comparison of Arthroscopic Partial Meniscectomy to Physical Therapy following Degenerative Meniscus Tears: A Systematic Review and Meta-analysis. *Biomed Res Int.* 2020;2020:1709415. doi: 10.1155/2020/1709415.
48. Başar B., Başar G., Büyükkuşçu M.Ö., Başar H. Comparison of physical therapy and arthroscopic partial meniscectomy treatments in degenerative meniscus tears and the effect of combined hyaluronic acid injection with these treatments: A randomized clinical trial. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2021;34(5):767-774. doi: 10.3233/BMR-200284.
49. Sihvonen R., Paavola M., Malmivaara A., Itälä A., Joukainen A., Kalske J. et al. Arthroscopic partial meniscectomy for a degenerative meniscus tear: a 5 year follow-up of the placebo-surgery controlled FIDELITY (Finnish Degenerative Meniscus Lesion Study) trial. *Br J Sports Med.* 2020;54(22):1332-1339. doi: 10.1136/bjsports-2020-102815.
50. Bollen S.R. Is arthroscopy of the knee completely useless? Meta-analysis – a reviewer's nightmare. *Bone Joint J.* 2015;97-B:1591-1592. doi: 10.1302/0301-620X.97B12.37456.

51. Середа А.П. Ацетилсалициловая кислота для профилактики тромбоэмболических осложнений. Реально работает или гримаса доказательной медицины? *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(1):144-154. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-1-144-154. Sereda A.P. [Acetylsalicylic Acid for Thromboembolism Prophylaxis. Does It Really Work or it's a Grimace of the Evidence-Based Medicine?]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(1):144-154. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-1-144-154.
52. Гонартроз: клинические рекомендации. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/667_1 Gonarthrosis: clinical recommendations. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/667_1. (In Russian).
53. Migliorini F., Oliva F., Eschweiler J., Cuozzo F., Hildebrand F., Maffulli N. No evidence in support of arthroscopic partial meniscectomy in adults with degenerative and nonobstructive meniscal symptoms: a level I evidence-based systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022. doi: 10.1007/s00167-022-07040-0. Epub ahead of print.
54. Brian D., Mackenzie W.G., Shim S.S., Leung G. The vascular and nerve supply of the human meniscus. *Arthroscopy*. 1985;1(1):58-62.
55. Bae J.Y., Park K.S., Seon J.K., Kwak D.S., Jeon I., Song E.K. Biomechanical analysis of the effects of medial meniscectomy on degenerative osteoarthritis. *Med Biol Eng Comput.* 2012;50(1):53-60. doi: 10.1007/s11517-011-0840-1.
56. Beaufils P., Becker R., Kopf S., Englund M., Verdonk R., Ollivier M. et al. Surgical Management of Degenerative Meniscus Lesions: The 2016 ESSKA Meniscus Consensus. *Joints*. 2017;5(2):59-69. doi: 10.1055/s-0037-1603813.
57. Krych A.J., Johnson N.R., Mohan R., Dahm D.L., Levy B.A., Stuart M.J. Partial meniscectomy provides no benefit for symptomatic degenerative medial meniscus posterior root tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(4):1117-1122. doi: 10.1007/s00167-017-4454-5.
58. Katz J.N., Shrestha S., Losina E., Jones M.H., Marx R.G., Mandl L.A. et al. Five-Year Outcome of Operative and Nonoperative Management of Meniscal Tear in Persons Older Than Forty-Five Years. *Arthritis Rheumatol.* 2020;72(2):273-281. doi: 10.1002/art.41082.

Сведения об авторах

✉ Сараев Александр Викторович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<http://orcid.org/0000-0002-9223-6330>
e-mail: saraev@drkoleno.ru

Корнилов Николай Николаевич — д-р мед. наук
<http://orcid.org/0000-0001-6905-7900>
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Куляба Тарас Андреевич — д-р мед. наук
<http://orcid.org/0000-0003-3175-4756>
e-mail: taraskuliaba@mail.ru

Шубняков Максим Игоревич — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0002-4774-4272>
e-mail: Drshubnyakov@gmail.com

Демин Александр Сергеевич
<http://orcid.org/0000-0001-9415-0023>
e-mail: demin-medic@mail.ru

Столяров Алексей Александрович — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0002-0301-8439>
e-mail: drstolyarov1@gmail.com

Середа Андрей Петрович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
e-mail: drsereda@gmail.com

Authors' information

✉ Aleksandr V. Saraev — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<http://orcid.org/0000-0002-9223-6330>
e-mail: saraev@drkoleno.ru

Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0001-6905-7900>
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Taras A. Kuliaba — Dr. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0003-3175-4756>
e-mail: taraskuliaba@mail.ru

Maxim I. Shubnyakov — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0002-4774-4272>
e-mail: Drshubnyakov@gmail.com

Aleksandr S. Demin
<http://orcid.org/0000-0001-9415-0023>
e-mail: demin-medic@mail.ru

Aleksey A. Stolyarov — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0002-0301-8439>
e-mail: drstolyarov1@gmail.com

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>
e-mail: drsereda@gmail.com



Results of Revision Knee Arthroplasty With Individual Implants

Andrey A. Zykin, Sergei A. Gerasimov, Roman O. Gorbatov, Tat'yana V. Illarionova

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

Background. The presence of extensive bone defects significantly complicates the possibility of stable fixation and correct spatial positioning of the revision endoprosthesis components. The primary task of revision surgery is to restore the lost bone. The use of modern implants makes it possible to replace large metaphyseal defects of the tibia and femur, including AORI type 2B и 3 bone defects.

The aim of the study was to evaluate the long-term results of surgical treatment of patients with extensive bone defects (2B and 3 according to AORI) of the proximal tibia and/or distal femur using custom-made implants for revision knee arthroplasty.

Methods. A retrospective clinical study was performed in 24 patients who underwent revision arthroplasty using individual implants (9 femoral and 18 tibial) made on a 3D printer in the period from 2017 to 2021. T3 defect according to AORI classification was diagnosed in 12 patients (50%), F3 defect – in 1 (4.17%), F2B – in 8 (33.3%), T2B – in 6 (25%). All patients before surgery and 3, 6, 12 months after surgery were surveyed according to the international scales VAS, KSS, WOMAC and SF-36.

Results. At the follow-up examination 12 months after the surgery, 9 out of 24 patients (37.5±10%) walked without additional means of support, 10 out of 24 (41.7±10%) with a cane, 4 out of 24 (16,7±8%), walkers – 1 out of 24 (4.2±10%). There were no periprosthetic fractures during surgery and in the postoperative period. When evaluating the functional state of the knee joint, an excellent result was registered in 45.8±10% and 33.3±10%; good – in 37.5±10% and 54.2±10%; satisfactory – in 16.67±8% and 12.5±7% according to the KSS and WOMAC scales, respectively. When assessed on the VAS scale, there was a positive trend in the form of statistically significant decrease in pain in all patients ($p<0.01$).

Conclusion. The use of individual implants made using additive 3D printing technologies in revision knee arthroplasty in the presence of extensive bone defects (2B and 3 according to AORI) allows to perform an organ-preserving surgery without loss of the statodynamic function of the lower limb. This study has limitations due to the small sample size. We believe that it is promising to study the long-term results of surgical treatment of patients with extensive bone defects (2B and 3 AORI) of the proximal tibia and /or distal femur using individually manufactured implants for revision knee replacement and a comparative analysis of these results with those using conventional implants.

Keywords: knee, revision arthroplasty, bone defect, individual implant, additive technologies, 3D printing.

Cite as: Zykin A.A., Gerasimov S.A., Gorbatov R.O., Illarionova T.V. [Results of Revision Knee Arthroplasty With Individual Implants]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):21-30. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1995>.

✉ Tat'yana V. Illarionova; e-mail: tatianaillarionov4@yandex.ru

Submitted: 08.09.2022. Accepted: 05.12.2022. Published Online: 13.12.2022.

© Zykin A.A., Gerasimov S.A., Gorbatov R.O., Illarionova T.V., 2022

Результаты ревизионного эндопротезирования коленного сустава с применением индивидуальных имплантатов

А.А. Зыкин, С.А. Герасимов, Р.О. Горбатов, Т.В. Илларионова

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия

Актуальность. Наличие обширных костных дефектов существенно осложняет возможность стабильной фиксации и корректного пространственного позиционирования ревизионных компонентов эндопротеза. Первостепенной задачей ревизионного вмешательства является восполнение объема утраченной костной ткани. Использование современных имплантатов позволяет замещать большие по объему метафизарные дефекты большеберцовой и бедренной костей, включая дефекты костной ткани AORI-типа 2B и 3.


Цель исследования — представить клинико-рентгенологические результаты оперативного лечения пациентов с обширными костными дефектами (2B и 3 по AORI) проксимального отдела большеберцовой и/или дистального отдела бедренной костей с использованием индивидуально изготовленных имплантатов для ревизионного эндопротезирования коленного сустава.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное исследование 24 пациентов, которым в период с 2017 по 2021 г. было выполнено ревизионное эндопротезирование с использованием индивидуальных имплантатов (9 бедренных и 18 большеберцовых), изготовленных на 3D-принтере. Дефект типа T3 по классификации AORI диагностирован у 12 больных (50%), T2B — у 6 (25%), дефект F3 — у 1 (4,17%), F2B — у 8 (33,3%). Всем пациентам до операции и через 3, 6, 12 мес. после операции выполнялось анкетирование по международным шкалам VAS, KSS, WOMAC и SF-36.

Результаты. На контрольном осмотре через 12 мес. после операции без дополнительных средств опоры передвигались 9 из 24 пациентов (37,5%), с помощью трости — 10 из 24 (41,7%), костылей — 4 из 24 (16,7%), ходунков — 1 из 24 (4,2%). Перипротезных переломов во время операции и в послеоперационном периоде не зарегистрировано. При оценке функционального состояния коленного сустава отличный результат был зарегистрирован у 45,8% и 33,3%; хороший — у 37,5% и 54,2%; удовлетворительный — у 16,67% и 12,5% по шкалам KSS и WOMAC соответственно. При оценке по шкале VAS отмечалась положительная динамика в виде статистически значимого уменьшения болевого синдрома у всех больных ($p < 0,01$).

Заключение. У всех пациентов в послеоперационном периоде произошло улучшение показателей по SF-36, KSS, WOMAC и VAS. При рентгенологическом исследовании у 23 из 24 больных отсутствовало расшатывание компонентов эндопротеза. У всех пациентов было достигнуто прецизионное соответствие имплантата костному дефекту. Использование индивидуальных имплантатов, изготовленных с помощью аддитивных технологий 3D-печати, в ревизионном эндопротезировании коленного сустава при наличии обширных дефектов костной ткани (2B и 3 по AORI) позволяет выполнить органосохранную операцию без потери статодинамической функции нижней конечности.

Ключевые слова: коленный сустав, ревизионное эндопротезирование, костный дефект, индивидуальный имплантат, аддитивные технологии, 3D-печать.

 Зыкин А.А., Герасимов С.А., Горбатов Р.О., Илларионова Т.В. Результаты ревизионного эндопротезирования коленного сустава с применением индивидуальных имплантатов. *Травматология и ортопедия России*. 2022; 28(4):21-30. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1995>.

 Илларионова Татьяна Владимировна; e-mail: tatianailarionov4@yandex.ru

Рукопись получена: 08.09.2022. Рукопись одобрена: 05.12.2022. Статья опубликована онлайн: 13.12.2022.

© Зыкин А.А., Герасимов С.А., Горбатов Р.О., Илларионова Т.В., 2022

BACKGROUND

Total knee arthroplasty (TKA) is an effective method of treatment of grade 3 knee osteoarthritis (according to the Kellgren-Lawrence classification) [1]. More than 400.000 TKAs are performed in the USA annually [2]. The number of revision arthroplasties increase along with the rise in primary knee arthroplasties. The main reasons of this fact are periprosthetic joint infection (PJI), aseptic loosening of prosthetic components and prosthesis instability, periprosthetic fractures and joint contracture [3]. PJI takes places in 0.5-2.0% of cases after the primary TKA and in 15-20% after the revision knee arthroplasty [4].

Two-stage revision arthroplasty is a gold standard for chronic PJI treatment [5]. The first stage includes the removal of infected prosthetic components with further vast debridement of devitalized tissues and the radical necrectomy. As a result of these procedures, the defects form in the area of the distal part of the femur and proximal part of the tibia [6]. Infectious process having been stopped, the revision knee arthroplasty is performed at the second stage in combination with the implantation of prosthetic components which enable to replace existing defects of the bone tissue.

Extensive bone defects significantly complicate the possibility of stable fixation and correct spatial positioning of revisional prosthetic components. The primary goal of revision arthroplasty is to restore the volume of lost bone tissue [7]. It is considered necessary to fix the prosthesis at least in two anatomic zones of the femur and the tibia in order to achieve its stable fixation and to increase its lifetime. This concept is described by R. Morgan-Jones [8, 9].

Scientific search for the variants of replacement of lost bone tissues still continue. Tantalum cones, bone cement, modular metal augments, auto- and allotransplants are used to replace bone defects nowadays [10]. Modern implants allow to substitute large metaphyseal tibial and femoral defects including bone tissue damages of types 2B and 3 according to the AORI (Anderson Orthopaedic Research Institute) classification [8, 11, 12].

However, officinal implants have significant limitations in case of vast bone tissue defects. In that cases, mega-arthroplasty with replacement of the proximal part of the tibia or distal part of the femur, arthrodesis or amputation are the most frequent. With advances in additive technologies,

it has become possible to create implants using computed tomography (CT) data that can be applied for bone defect replacement of almost any complexity, form and size [10]. 3D printing enables to produce implants taking into account individual characteristics of patients that improves postoperative treatment results [13].

Thus, basing on foreign publications, we suppose that individual implants enable to replace severe bone tissue deficit in case of revision arthroplasty. Thereby, we performed an analysis of treatment results of patients with vast bone defects (AORI types 2B and 3) of the proximal part of the tibia and/or distal part of the femur with custom-made implants.

Aim of the study. To present clinical and radiological results of surgical treatment of patients with vast bone defects (AORI types 2B and 3) of the proximal part of the tibia and/or distal part of the femur which underwent revision knee arthroplasty with custom-made implants.

METHODS

Study design

A single-center retrospective study was performed basing on the treatment results of patients of the Research Medical University Hospital that enrolled 24 patients which had undergone surgical treatment concerning the loosening of knee joint spacer from 2017 to 2021.

Inclusion criteria: AORI types 2B and 3 bone defects, antibacterial spacer loosening.

Exclusion criteria: signs of decompensation of severe concomitant diseases (hematologic, immunologic, urogenital, endocrine, psychiatric, cardiovascular, dermatovenerologic, neurologic etc.).

All patients underwent revision knee arthroplasty with custom-made implants (9 femoral and 18 tibial), produced on 3D printing device. Among them were 20 (83%) women and 4 (17%) men aged from 35 to 79 years (68.5 [62; 73.5]). Ten (42%) patients had surgeries on the right knee, 14 (58%) patients on the left one.

Twenty-three (96%) patients had revision arthroplasty with custom-made implants concerning antibacterial spacer loosening, 1 (4%) patient – concerning aseptic spacer loosening associated with periimplant fracture. All patients had vast bone defects that were measured in X-rays and CT scans at the stage of preoperative planning. Bone defects were classified according to AORI [14].

Defects of the proximal part of the tibia were diagnosed in 15 (62.5%) out of 24 patients, of the distal part of the femur – in 6 (25%) patients, of the distal part of the femur and the proximal part of the tibia – in 3 (12.5%) patients. AORI type T3 defect was identified in 12 (50%) patients, F3 defect – in 1 (4.17%) patient, F2B defect – in 8 (33.3%) patients.

All patients had 1 to 6 (2 [2; 3.5]) prior knee surgeries in their medical history (Tab. 1).

Patients' follow-up period after the surgery was 5 months to 4.3 years (28 [8; 38] mths.). Surgery duration was 110 [92.5; 143] minutes,

blood loss – 250 [225; 300] ml, post-operative bed-days – 7 [5; 10] days.

All patients had knee X-rays in the anteroposterior and lateral views before the surgery, immediately after the surgery and in 1, 5, 6 and 12 months in the postoperative period. Evaluation of range of motions was performed at the preoperative stage as well as 3, 6 and 12 months after the surgical intervention.

At the stage of preoperative planning all patients underwent knee puncture with the following bacterial culture test of the punctate taken 3 times at 1-month intervals.

Table 1

Clinical characteristics of patients

ID	Age, y.o.	VAS before surgery	Defect type	Number of prior surgeries	Cause of surgery
1	71	8	F3	3	2
2	35	6	T2B	3	1
3	69	4	T3	3	1
4	69	10	T3	2	1
5	65	7	F2B; T2B	3	1
6	72	5	T3	4	1
7	61	8	T2B	2	1
8	67	4	F2B	3	1
9	58	6	F2B	4	1
10	68	6	T3	5	1
11	79	5	T3	5	1
12	67	7	T2B	2	1
13	67	6	T3	2	1
14	76	8	T3	4	1
15	71	7	T2B	2	1
16	77	7	F2B	1	1
17	47	6	T3	6	1
18	75	5	T3	2	1
19	79	6	T3; F2B	2	1
20	70	8	T2B	2	1
21	76	7	T3; F2B	2	1
22	53	6	T3	2	1
23	63	8	F2B	2	1
24	51	7	F2B	2	1
Mean value	66.1	6.2	–	2.8	–

1 – loosening of antibacterial knee joint spacer; 2 – aseptic loosening of knee prosthesis associated with periimplant fracture.

Preoperative planning and implant production

Multislice spiral computed tomography (CT) with 1 mm-thick slices and full-length X-rays of lower extremities (Full Leg Full Spine – FLFS) were taken at the first stage in order to produce custom-made implants. Then a three-dimensional computer model of the knee joint was created. It was followed by the simulation of the bone defect surface with the use of cut and crop tools that allowed to remove artifacts and hypertrophic scars visualized as bone structures. Afterwards the 3D model of the proximal part of the tibia and/or distal part of the femur of the intact (contralateral) joint was mirrored with its following precision positioning to the place of the bone defect in order to replace the latter. Then the Boolean subtraction operation was carried out to produce 3D model of the custom-made implant. Pores were made on the implant surface for better osteointegration. The following topologic 3D implant refinement was performed using the SIMP method (Fig. 1). Finally, the implant was 3D printed using Titanium-Aluminium-Vanadium (Ti6Al4V) alloy and sterilized.

Surgical technique

Surgical intervention was performed under spinal anesthesia in supine position of a patient. Knee arthrotomy was carried out over the old postoperative scar, spacer components were removed, marginal modeling resection and patella denervation, if necessary, were performed (Fig. 2). Then the synovial fluid was aspirated and soft tissue fragments were recovered from 5 different parts for the following bacteriological study.

Implant bed modeling for the components of semiconstrained and fully constrained prostheses was carried out using standard instruments. The sizes of femoral and tibial components were chosen according to CT scans. Bone defects were replaced by custom-made 3D implant depending on their localization (proximal part of the tibia or distal part of the femur) (Fig. 3).

Finally, prosthetic components were implanted using the bone cement (Fig.4). Two doses of bone cement in combination with thermoresistant antibiotics were applied to prevent infectious complications. Then the range of motions was checked, the joint stability was evaluated, the wound was sutured layer-by-layer and knee X-rays in two views were taken (Fig. 5).

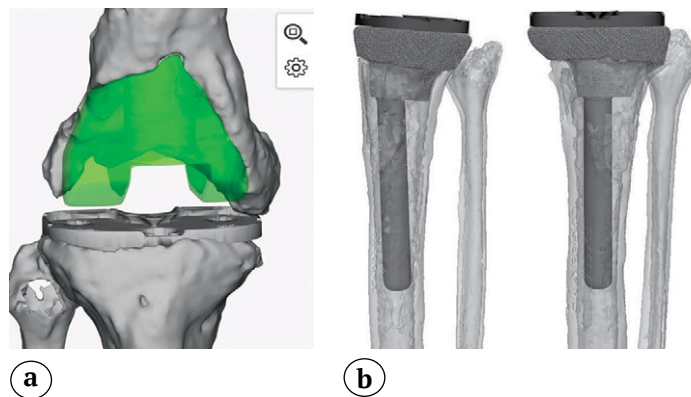


Fig. 1. The stage of computer modeling of an individual implant for the replacement of the distal femur (a) and proximal tibia (b) bone defect



Fig. 2. Defects of the distal femur and proximal tibia



Fig. 3. An individual implant made on a 3D printer

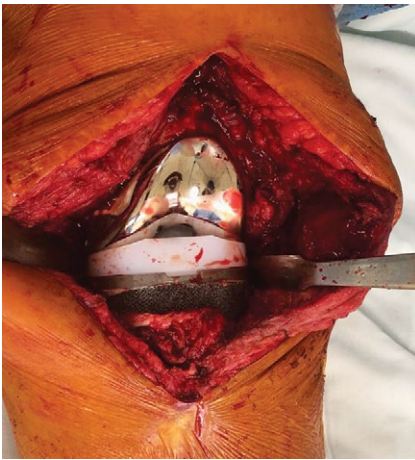


Fig. 4. The implanted individual endoprosthesis components



Fig. 5. Postoperative X-rays of the right knee in direct and lateral projections

Evaluation of results

All patients completed questionnaire survey before the surgery and 3, 6 and 12 months after the surgery. Their results were evaluated according to VAS, KSS, WOMAC and SF-36 international scales. In KSS questionnaire the points from 80 to 100 corresponded to excellent results, from 70 to 79 – to good results, from 60 to 69 – to satisfactory results and under 60 – to unsatisfactory ones. In case of WOMAC questionnaire 0-14 points meant excellent results, 15-28 points – good results, 29-38 points – satisfactory results and more than 38 points – unsatisfactory results. SF-36 questionnaire evaluated physical and mental health. The higher was the score, the better was the quality of life.

Postoperative patient management

All patients had antibiotic prophylaxis (before the surgery, during the surgery and 8 hours after the end of the surgery) and thromboprophylaxis (anticoagulants) in the postoperative period. Since the 2nd day after the surgery the patients were allowed to walk with partial weight bearing on the operated knee using crutches. They were discharged from the hospital within 4-14 days (7.7 ± 3.5). In case of pain syndrome, analgesics were administered. Sutures were removed 18-21 days after the surgery. Walking with full-weight bearing was allowed 6 weeks after the surgery according to examination results and X-rays.

Statistical analysis

Statistical analysis of study results was performed using Statistica 10.0 software (StatSoft, USA). Descriptive statistics were presented as Me [25p;75p] (where Me stands for median [25p;75p] – 25th and 75th percentiles) and/or relative value (%). Wilcoxon test was applied to compare the variables in the dependent groups. The differences were statistically significant in case of $p < 0.05$.

RESULTS

There were no signs of individual implant loosening in 23 out of 24 (96%) patients in the postoperative period. One patient had deep periprosthetic infection that required revision surgery. In all cases, precision positioning of prosthetic components was achieved in accordance with the parameters of preoperative planning.

Follow-up examination 12 months after the surgery showed that 9 out of 24 patients (37.5%)

was able to walk without additional support, 10 out of 24 patients (41.7%) – with cane, 4 out of 24 (16.7%) – with crutches, 1 out of 24 (4.2%) – with walkers. No periprosthetic fractures occurred intra- and postoperatively.

Eleven out of 24 (45.8%) patients had excellent results according to KSS, 9 (37.5%) patients – good results, 4 (16.67%) patients – satisfactory results. Evaluation of the results according to WOMAC scale showed that 8 out of 24 (33.3%) patients had excellent results, 13 (54.2%) patients – good and 3 (12.5%) patients – satisfactory. Statistically significant pain syndrome decrease was observed in all patients ($p < 0.01$) that was evident by positive dynamics according to VAS.

All patients also showed positive dynamics in both physical and mental health according to the SF-36 questionnaire ($p < 0.01$) (Tab. 2).

Range of motions in the operated joint increased in all patients in comparison with preoperative values ($p < 0.05$) (Tab. 3).

Table 2

Patient survey results in 12 months, Me [25p; 75p]

Scale		Before surgery	After surgery	p
VAS		6.0 [5.5; 70]	1.0 [0; 2]	0.01
KSS		40 [34; 42]	84 [79; 88]	0.01
WOMAC		50.5 [46.5; 56.5]	17.5 [13; 25]	0.01
SF-36	Physical health	31 [19; 43]	77 [67; 82]	0.01
	Mental health	43 [34; 50]	91 [87; 93]	0.01

Table 3

Change of knee joint function values after revision arthroplasty with individual implants, Me [25p; 75p]

Parameter	Follow-up period, months			
	0	3	6	12
Range of motions in the knee joint, deg	15 [13; 20]	75 [70; 80]*	85 [70; 95]*	90 [85; 95]*
Flexion angle, deg	20 [15; 25]	75 [70; 80]*	85 [70; 95]*	90 [85; 95]*
Extension angle, deg	5 [3; 5]**	0 [0; 0]*	0 [0; 0]*	0 [0; 0]*

* – statistical significance of differences comparing to preoperative values ($p < 0.05$);

** – extension deficit in the knee joint

DISCUSSION

Custom-made implants for treating patients with vast bone defects are used more and more often in surgical practice nowadays [15]. However, as a rule, the choice of method is determined by surgeon's preferences and availability of each of technologies at a certain health care facility [16]. Lower extremity amputation is one of the treatment options if there is no possibility to replace the bone defect using standard implants [17].

G. Burastero et al. reported clinical and biomechanical results of treating patients with bone defects of the femur and the tibia using custom-made porous metaphyseal cones. Good and excellent results according to KSS were obtained in all patients, that corresponds to our findings. Authors also showed that custom-made implants provided more even load distribution upon the bone in comparison with standard cement or cementless prosthesis stems [4].

M.W. Tetreault et al. presented the data on survivability of 202 (134 tibial, 68 femoral) porous custom-made titanium metaphyseal cones in 139 patients. All patients had AORI types 2B and 3 metaphyseal defects of the femur and the tibia. Authors reported good clinical and radiological outcomes. Patients' mean score according to KSS significantly increased from 50 (range 0-94) to 87 (range 72-94) points ($p < 0.001$), and that corresponds to our study findings [18]. Evaluating postoperative results, PJI was noticed in 3 patients, one patient had periprosthetic fracture, and one – aseptic loosening of the tibial prosthetic component. Only one patient in our study developed complication (PJI). In our opinion, possible causes of that were three surgeries in his previous medical history (two of them – antibacterial spacer implantation concerning PJI), comorbidities (type II diabetes mellitus, rheumatoid arthritis, postphlebotic syndrome), muscular hypo- and atrophy, multiple hypertrophic scars at the surgical site.

A.A. Chernyi et al. present results of surgical treatment of 26 patients with 30 custom-made implants (12 femoral and 18 tibial) used during revision knee arthroplasty. Similar to our study,

the authors reported no technical difficulties in positioning and implantation of custom-made titanium cones [17].

E.A. Remily et al. reported that 51 (98.1%) out of 52 implants had no radiological signs of prosthetic component loosening. Mean KSS scores were statistically significantly ($p < 0.001$) higher comparing to preoperative ones (52.0 before the surgery; 80.4 after the surgery) [19]. Our study also revealed positive dynamics and increase of KSS scores in the postoperative period in comparison with preoperative values.

G. Piovan et al. presented in their study the results of using custom-made metaphyseal tibial cone with holes on its anterior surface that had allowed the surgeon to achieve precision fixation of the tibial tuberosity with screws when performing osteotomy during TKA [20]. However, patients in our study had no indications for such surgery. We suppose that this way of using custom-made implants can become further tendency towards 3D modelling of prosthetic components of the knee.

Limitations

This study has limitations due to a small sample. We consider it promising to study long-term results of surgical treatment of patients with vast bone defects (AORI types 2B and 3) of the proximal part of the tibia and/or distal part of the femur with the use of custom-made implants for revision knee arthroplasty and to perform the comparative analysis of these results in comparison with official implants.

CONCLUSION

All patients had significant improvement in SF-36, KSS, WOMAC and VAS scores in the postoperative period. X-rays of 23 out of 24 patients showed no prosthetic components' loosening. The implants precisely matched the bone defects in all patients. Using custom-made implants produced by the means of additive technologies enables to preserve the lower extremity and its static and dynamic function in case of revision knee arthroplasty concerning vast bone tissue defects.

DISCLAIMERS

Author contribution

Zykin A.A. — study design, data collection and analysis, literature review, manuscript writing and editing.

Gerasimov S.A. — study design, manuscript editing.

Gorbatov R.O. — study concept, data collection and analysis, manuscript editing.

Illarionova T.V. — literature review, manuscript writing and editing, data statistical processing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budgetary funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Privolzhsky Research Medical University, protocol No 6, 26.03.2021.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Price A.J., Alvand A., Troelsen A., Katz J.N., Hooper G., Gray A. et al. Knee replacement. *Lancet*. 2018;392(10158):1672-1682. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32344-4.
- Guo E.W., Sayeed Z., Padela M.T., Qazi M., Zekaj M., Schaefer P. et al. Improving Total Joint Replacement with Continuous Quality Improvement Methods and Tools. *Orthop Clin North Am*. 2018;49(4):397-403. doi: 10.1016/j.ocl.2018.05.002.
- van den Kieboom J., Tirumala V., Xiong L., Klemm C., Kwon Y.M. Periprosthetic joint infection is the main reason for failure in patients following periprosthetic fracture treated with revision arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(12):3565-3574. doi: 10.1007/s00402-021-03948-3.
- Burastero G., Pianigiani S., Zanvettor C., Cavagnaro L., Chiarlone F., Innocenti B. Use of porous custom-made cones for meta-diaphyseal bone defects reconstruction in knee revision surgery: a clinical and biomechanical analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(12):2041-2055. doi: 10.1007/s00402-020-03670-6.
- Cochran A.R., Ong K.L., Lau E., Mont M.A., Malkani A.L. Risk of Reinfection After Treatment of Infected Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(9 Suppl):156-161. doi: 10.1016/j.arth.2016.03.028.
- Lu J., Han J., Zhang C., Yang Y., Yao Z. Infection after total knee arthroplasty and its gold standard surgical treatment: Spacers used in two-stage revision arthroplasty. *Intractable Rare Dis Res*. 2017;6(4):256-261. doi: 10.5582/iridr.2017.01049.
- Lee Y.S., Chen A.F. Two-Stage Reimplantation in Infected Total Knee Arthroplasty. *Knee Surg Relat Res*. 2018;30(2):107-114. doi: 10.5792/ksrr.17.095.
- Divano S., Cavagnaro L., Zanirato A., Basso M., Felli L., Formica M. Porous metal cones: gold standard for massive bone loss in complex revision knee arthroplasty? A systematic review of current literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(6):851-863. doi: 10.1007/s00402-018-2936-7.
- Morgan-Jones R., Oussedik S.I., Graichen H., Haddad F.S. Zonal fixation in revision total knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2015;97-B(2):147-149. doi: 10.1302/0301-620X.97B2.34144.
- Lei P.F., Hu R.Y., Hu Y.H. Bone Defects in Revision Total Knee Arthroplasty and Management. *Orthop Surg*. 2019;11(1):15-24. doi: 10.1111/os.12425.
- Barnett S.L., Mayer R.R., Gondusky J.S., Choi L., Patel J.J., Gorab R.S. Use of stepped porous titanium metaphyseal sleeves for tibial defects in revision total knee arthroplasty: short term results. *J Arthroplasty*. 2014;29(6):1219-1224. doi: 10.1016/j.arth.2013.12.026.
- Kim H.J., Lee O.S., Lee S.H., Lee Y.S. Comparative Analysis between Cone and Sleeve in Managing Severe Bone Defect during Revision Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Knee Surg*. 2018;31(7):677-685. doi: 10.1055/s-0037-1606564.
- McNamara C.A., Gösthe R.G., Patel P.D., Sanders K.C., Huaman G., Suarez J.C. Revision total knee arthroplasty using a custom tantalum implant in a patient following multiple failed revisions. *Arthroplast Today*. 2016;3(1):13-17. doi: 10.1016/j.artd.2016.08.003.
- Engh G.A., Parks N.L. The management of bone defects in revision total knee arthroplasty. *Instr Course Lect*. 1997;46:227-236.
- Savov P., Tuecking L.R., Windhagen H., Ettinger M. Individual Revision Knee Arthroplasty Is a Safe Limb Salvage Procedure. *J Pers Med*. 2021;11(6):572. doi: 10.3390/jpm11060572.
- Girerd D., Parratte S., Lunebourg A., Boureau F., Ollivier M., Pasquier G. et al. Total knee arthroplasty revision with trabecular tantalum cones: Preliminary retrospective study of 51 patients from two centres with a minimal 2-year follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016;102(4):429-433. doi: 10.1016/j.otsr.2016.02.010.
- Cherny A.A., Kovalenko A.N., Bilyk S.S., Denisov A.O., Kazemirskiy A.V., Kulyaba T.A. et al. [Early Outcomes of Patient-Specific Modular Cones for Substitution of Methaphysial and Diaphysial Bone Defects in Revision Knee Arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(2):9-18. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-9-18.
- Tetreault M.W., Perry K.I., Pagnano M.W., Hanssen A.D., Abdel M.P. Excellent two-year survivorship of 3D-printed metaphyseal cones in revision total knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2020;102-B(6 Supple_A):107-115. doi: 10.1302/0301-620X.102B6.BJJ-2019-1544.R1.

19. Remily E.A., Dávila Castrodad I.M., Mohamed N.S., Wilkie W.A., Kelemen M.N., Delanois R.E. Short-term Outcomes of 3D-Printed Titanium Metaphyseal Cones in Revision Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics*. 2021;44(1):43-47. doi: 10.3928/01477447-20201202-04.
20. Piovan G., Farinelli L., Screpis D., Povegliano L., Gigante A.P., Zorzi C. Tibial Tubercle Screw Fixation on Custom Metaphyseal Cone: Surgical Tip in Severe Metaphyseal Tibia Bone Loss. *Arthroplast Today*. 2022;15:93-97. doi: 10.1016/j.artd.2022.03.019.

Authors' information

✉ Tat'yana V. Illarionova

Address: 10/1, Minin and Pozharsky sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-7746-4987>

e-mail: tatianaillarionov4@yandex.ru

Andrey A. Zykin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>

e-mail: dr.zykin@mail.ru

Sergei A. Gerasimov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-3179-9770>

e-mail: gerasimoff@list.ru

Roman O. Gorbatov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-6964-1015>

e-mail: gorbatov.ro@yandex.ru



Results of the Articular Spacer Application in Treatment of Knee Periprosthetic Infection

Vyacheslav N. Mitrofanov, Svyatoslav B. Korolev, Dmitrii V. Presnov,
Roman N. Komarov, Mikhail M. Akulov

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

Background. Currently, on the general background the number of primary total knee arthroplasties (TKA) increasing, so does the revisions. Among all the causes of revisions, periprosthetic joint infection occupies one of the leading positions. The generally accepted tactics of two-stage revisions, along with the infection suppression, implements other tasks: reducing pain, preserving and/or restoring joint function. Articular antibacterial spacers allow you to complete all the tasks and preserve/restore the quality of patients' life on staged treatment. However, studies demonstrating the results of periprosthetic joint infection treatment and the use of various articular spacers still do not clear its optimal design.

The aim of the study was to improve the intermediate treatment results of periprosthetic knee joint infection using articular spacer implantation.

Methods. A single-center retrospective cohort study was performed. At the first stage of the study, the results of surgical treatment of 420 patients with periprosthetic knee joint infection treated at the clinic in 2011–2019 were analyzed. At the second stage, after applying the inclusion and exclusion criteria, 182 patients were included in the analysis. Two representative groups are identified among them. In the comparison group, hand-made cement liner with articulating surface was used, in the main group – conventional one.

Results. The implantation of the endoprosthesis components with the restoration of anatomical relationships in the joint and the ligamentous balance, the replacement of the cement liner with conventional one made of ultra-high molecular weight polyethylene led to reduction in the surgery duration, intraoperative blood loss and period of hospitalization, an increase in the range of motions in the joint, greater stability of the components and suppression of infection in 94.6% of patients.

Conclusion. The use of various spacers did not significantly affect the probability of infection suppression; however, the number of infection relapses was lower in the group where the liner made of ultra-high molecular weight polyethylene was used. Optimization of surgical treatment techniques and the use of articular spacer based on a three-component conventional endoprosthesis has significantly improved the treatment results of patients with periprosthetic infection of the knee joint.

Keywords: total knee arthroplasty, periprosthetic joint infection, two-stage revision, articular spacer.

Cite as: Mitrofanov V.N., Korolev S.B., Presnov D.V., Komarov R.N., Akulov M.M. [Results of the Articular Spacer Application in Treatment of Knee Periprosthetic Infection]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):31-41. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1750>.

✉ Dmitrii V. Presnov; e-mail: p.d-07@list.ru

Submitted: 02.03.2022. Accepted: 15.09.2022. Published Online: 08.12.2022.

© Mitrofanov V.N., Korolev S.B., Presnov D.V., Komarov R.N., Akulov M.M., 2022



Результаты применения артикулирующего спейсера при лечении перипротезной инфекции коленного сустава

В.Н. Митрофанов, С.Б. Королёв, Д.В. Преснов, Р.Н. Комаров, М.М. Акулов

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия

Актуальность. В настоящее время на фоне роста числа операций первичного эндопротезирования коленного сустава увеличивается частота ревизионных оперативных вмешательств. Среди всех причин ревизионных операций перипротезная инфекция занимает одну из лидирующих позиций. Общепринятая тактика двухэтапного реэндопротезирования, наряду с купированием инфекционного процесса, реализует и другие задачи: снижение болевого синдрома, сохранение и/или восстановление функции сустава. Имплантируемые артикулирующие антибактериальные спейсеры позволяют выполнить все поставленные задачи и сохранить/восстановить уровень качества жизни пациентов на этапном лечении. Однако исследования, демонстрирующие результаты лечения перипротезной инфекции и применение различных вариантов артикулирующих спейсеров, по настоящее время не позволяют определить оптимальную конструкцию.

Цель исследования — улучшить межэтапные результаты лечения пациентов с перипротезной инфекцией коленного сустава при имплантации артикулирующего спейсера.

Материал и методы. Проведено одноцентровое ретроспективное когортное исследование открытого характера. На первом этапе исследования изучены результаты оперативного лечения 420 пациентов с перипротезной инфекцией коленного сустава, проходивших лечение в клинике в 2011–2019 гг. На втором этапе, после применения критериев включения и исключения, в анализ вошли 182 пациента. Среди них выделены две репрезентативные группы. В группе сравнения использовался изготовленный вручную цементный вкладыш с артикулирующей поверхностью, в основной группе — официальный.

Результаты. Установка компонентов эндопротеза с восстановлением анатомических взаимоотношений в суставе и баланса связочного аппарата, замена цементного вкладыша на официальный из сверхвысокомолекулярного полиэтилена привели к снижению длительности оперативного вмешательства и интраоперационной кровопотери, сокращению сроков госпитализации, увеличению объема движений в суставе, большей стабильности компонентов и купированию инфекционного процесса у 94,6% пациентов.

Заключение. Применение различных вариантов спейсера значимо не повлияло на вероятность купирования инфекции, однако количество рецидивов инфекции меньше в группе, где применялся вкладыш из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Оптимизация техники оперативного лечения и применение артикулирующего спейсера на основе трехкомпонентного официального эндопротеза позволило значительно улучшить результаты лечения пациентов с перипротезной инфекцией коленного сустава.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава, перипротезная инфекция, двухэтапное реэндопротезирование, артикулирующий спейсер.

Митрофанов В.Н., Королёв С.Б., Преснов Д.В., Комаров Р.Н., Акулов М.М. Результаты применения артикулирующего спейсера при лечении перипротезной инфекции коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):31-41. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1750>.

Преснов Дмитрий Владимирович; e-mail: p.d-07@list.ru

Рукопись получена: 02.03.2022. Рукопись одобрена: 15.09.2022. Статья опубликована онлайн: 08.12.2022.

© Митрофанов В.Н., Королёв С.Б., Преснов Д.В., Комаров Р.Н., Акулов М.М., 2022

BACKGROUND

Total knee replacement is one of the main surgical methods of treatment of severe knee osteoarthritis, dysplastic and posttraumatic knee deformities [1, 2]. The number of arthroplasties performed in Russia and in the world has been constantly growing every year, moreover, the rate of revision arthroplastic surgeries has also increased significantly [3, 4]. According to foreign authors, by 2030 the quantity of primary and revision knee arthroplasties might reach 1.2-2.48 millions cases [5, 6].

The hardest and most difficult-to-treat complication is periprosthetic joint infection (PJI) that represents deep purulent process in the surgical site developing after prosthesis implantation. Its complication rate after primary surgeries reaches 5% [7, 8, 9]. As for revision surgeries, PJI is diagnosed in 35.9% of cases according to foreign authors and in 50% of cases according to Russian authors [10, 11, 12, 13, 14].

Two-stage tactics of treatment with the use of cement spacer impregnated with antibiotics at the first stage still remains the gold standard [15, 16, 17, 18]. The main task of articulating spacers' implantation is to manage infection process. Moreover, they enable to avoid big amount of wear products, restore joint anatomy, preserve range of motions, that all totaled will subsequently facilitate the last stage of revision arthroplasty and help to achieve the best functional result [19, 20].

There are several technical decisions of articulating spacer implantation, among them are constructions that are made manually and intraoperatively with cement-on-cement bearings or femoral and tibial officinal prosthesis components with cement insert containing thermoresistant antibiotics instead of polyethylene liner. This cement-on-metal bearing is considered more promising as it has less wear products. At the same time the wear of contact surface allows to release antibacterial substances from deeper layers of cement component, enhancing and prolonging antibacterial impact on surrounding tissues [21]. However, despite being fewer, the grits formed due to joint movement still create favorable conditions for persisting cells that contribute to purulent process [22].

Thus, at the first stage of revision arthroplasty we face an acute problem of choosing the most

suitable type of spacer to minimize complications, decrease pain syndrome and improve postoperative functional results.

Aim of study – to evaluate the impact of bearing type of articulating spacer construction on first stage results of treatment of patients with periprosthetic infection of the knee.

METHODS

Study design

Single-center retrospective cohort open study was performed. Results of surgical treatment of 420 patients with PJI who underwent hospital therapy in 2011-2019 were studied at the first stage of our research. At the second stage 182 patients were enrolled in the study after inclusion and exclusion criteria had been applied. These patients formed two representative groups. Handmade cement liner with articulating surface was used in the control group and officinal liner in the main group.

Patients who met inclusion and exclusion criteria were divided into two groups depending on the used articulating spacer components.

Group 1 (control group) included 89 patients (19 men and 70 women). Intraoperatively fabricated articulating spacer made of antibacterial cement liner and officinal prosthesis components with cement-on-metal bearing was used in group 1 patients at the first stage of revision arthroplasty.

Group 2 (main group) included 93 patients (22 men and 71 women). Officinal prosthesis components with metal-on-polyethylene bearing were used in this group of patients.

The following criteria were developed in order to perform comparative analysis of study groups where different techniques were used.

Study inclusion criteria:

- age from 18 to 79 years;
- confirmed PJI after primary total arthroplasty;
- use of knee articulating spacer at the first stage of the treatment.

Study exclusion criteria:

- types IIb-III bone defects of tibia and femur according to AORI classification;
- soft tissue defects of the knee area requiring reconstruction surgery;
- decompensated comorbidities (diabetes

mellitus, cardiovascular diseases, severe anemia, gastroduodenal ulcer, etc.);

- signs of systemic inflammation (sepsis);
- positive HIV, syphilis, hepatitis A, B, C tests.

Patients' examination

All patients underwent identical clinical and instrumental examination: interview (complaints, anamnesis, VAS), physical examination (including muscles, scars, fistulas, peripheral innervation, range of motions), laboratory tests (clinical blood analysis and biochemical blood test), instrumental diagnostics (ECG, ultrasonography of lower extremities' vessels, knee X-ray in two views).

At prehospital stage the bacteriological examination of synovial fluid or fistulous drainage was performed in the polyclinic of traumatology institute or less often in other health care facility. Second verification of infectious agent and antibiotic sensitivity test were carried out after patient's admission to the hospital at preoperative preparation stage. Scraping of the wound tract and knee joint aspirate were the materials for analysis in case of fistula. If there was no fis-

tula, bacteriological examination of arthrocentesis material was performed.

Surgery technique and postoperative patient management

For 6 years since 2011 we have been using the following technique for implantation of articulating spacer in our clinic. The prosthesis been removed and focus of purulence been debrided, new official components of prosthesis were installed on bone cement with thermoresistant antibiotic in accordance with bacteriological tests. Their positioning and alignment in reference to extremity axis were performed under visual control. One more dose of cement was fixed to the tibial plate due to adhesion, creating prosthesis liner. Then the femoral test component was covered with white petrolatum to avoid adhesion of cement to its surface. After the start of polymerization phase the extremity was extended with correct axial alignment (Fig. 1).

At the final stage official femoral prosthesis component was implanted. Produced articulating spacer construction provided sufficient stability, joint motions and required antibacterial effect on surrounding tissues (Fig. 2).

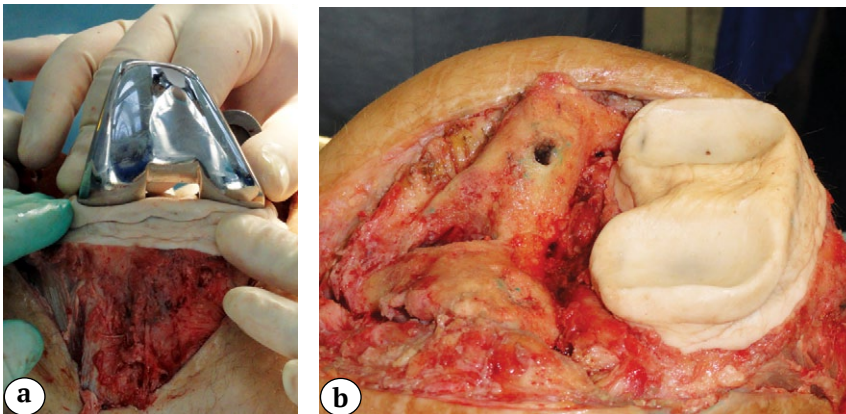


Fig. 1. The cement liner making:
a – articular surface of the cement liner modeling before the polymerization stage;
b – hand-made liner is implanted



Fig. 2. The articular spacer is implanted

Number of disadvantages of used construction were revealed analyzing the results of stage treatment of patients. Albeit in small quantities, wear products were generated when using metal-on-cement bearing, that was the basis of inflammation recurrence. Additionally, cement liner modelling and components installation under visual control not always allowed to acquire anatomically correct axial alignment and proper ligament balance of the joint. This technique implied at least two bone cement exposures, which increased the duration of surgery and blood loss. Moreover, constructions required obligatory interchange due to incorrect axial alignment and ligament imbalance, that reduced the durability.

Since 2017 we have abandoned this technique in favor of “temporary-permanent” prosthesis. We use officinal three-component prosthesis, that is retained with bone cement together with 4 grams of thermoresistant antibiotic. We place the prosthesis with correct axial alignment and with restored ligament balance of the joint. Along with that we reduce the volume of antibacterial depot.

The first stage of surgical treatment of majority of patients was performed within a year after the primary arthroplasty (Tab. 1). There was no statistically significant difference between the groups in terms of time of treatment ($\chi^2 = 0.938$; $p = 0.626$).

The prevalence of late patients' admission to the hospital was mainly caused by delayed PJI diagnostics and unreasonable attempts of conservative treatment.

Surgeries in both groups were carried out under spinal anesthesia with controlled hypotension.

Incision was made over the old scar with fistulectomy (if fistula was present). Purulence focus debridement was performed and included resection of compromised synovium with adjacent capsule, scars, granulations and necrotic tissues. At least three tissue fragments bordering on femoral, tibial and patellar prosthesis components were sampled for bacteriological examination. Then the implants were removed and sparing resection of compromised bone tissue of femur and tibia was performed avoiding formation of large bone defects. One of the main steps of surgical debridement is to remove all fragments of old bone cement (in case of cement fixation). Next, tissues were conditioned with ultrasound cavitation device (AUZH-100-“FOTEK”) and pulse lavage system with 0.1% solution of Lavasept. Volume of fluid used for irrigation of wound surfaces equaled 4 liters. Exposure of solutions in the wound including the time of ultrasound conditioning was ~10 minutes. New femoral and tibial prosthesis components were implanted in all patients and fixed with bone cement with gentamycin, adding thermoresistant antibiotics according to antibiogram results.

In the group 1 intraoperatively fabricated cement liner was installed between the officinal femoral and tibial implants (Fig. 3).

Remodeling of articular surfaces was performed in the group 2 with the use of intramedullary guides and cutting blocks. Stability tests were used to evaluate collateral ligaments tension and flexion/extension of the knee with trial implants in order to determine optimal thickness of officinal liner (Fig. 4).

Table 1

Time from infection onset to patient's admission to hospital

Term	Group 1 (n=89)		Group 2 (n=93)		Total	
	n	%	n	%	n	%
< 1 months	7	7,9	5	5,4	12	6,6
1–12 months	59	66,3	59	63,5	126	69,2
> 1 year	23	25,8	29	31,1	44	24,2
Total	89	100,0	93	100,0	182	100,0

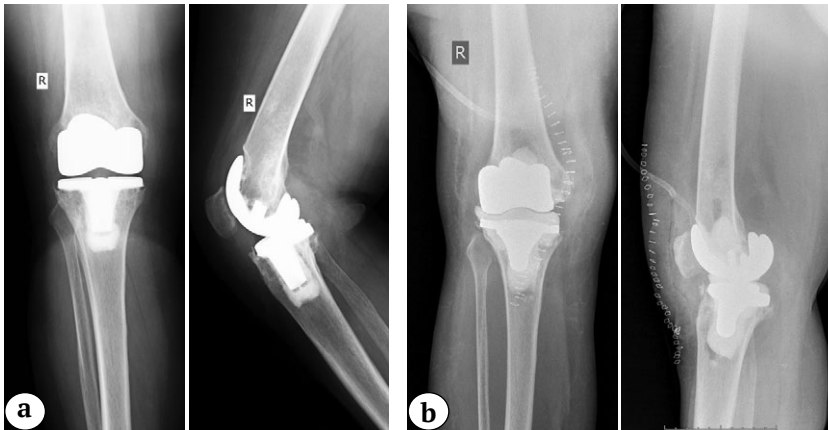


Fig. 3. X-rays of a 52-year-old patient (2014):
a — before surgery;
b — after the articular spacer implantation

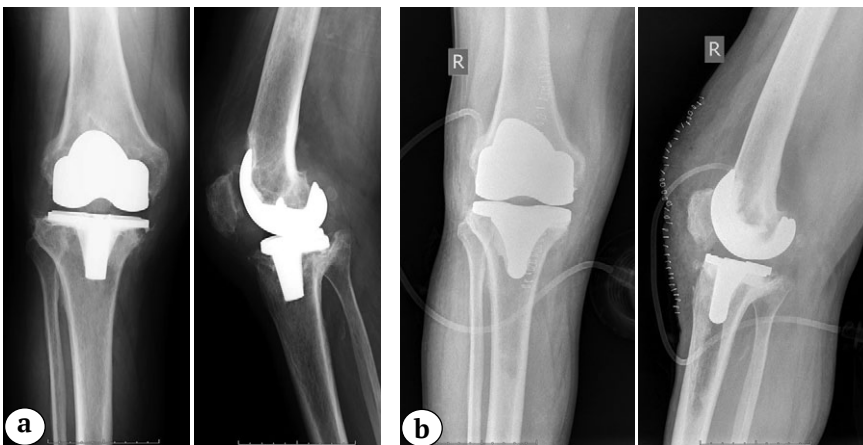


Fig. 4. X-rays of a 55-year-old patient (2017):
a — before surgery;
b — after the articular spacer implantation

Selected officinal polyethylene liner was installed in the chamfers of tibial plate after the end of cement polymerization. Redon drainage system was used in all patients, the wound was sutured layer-by-layer.

Joint immobilization was performed with rigid fixation brace on the operating table. Intravenous antibacterial therapy was administered according to the results of preoperative antibiogram. If there was difference in the results of pre- and intraoperative bacteriological tests, the latter was deciding. Low-molecular-weight heparins in preventive dose (enoxaparine 0.4 subcutaneously 1 time a day for no less than 10 days) were administered to prevent thromboembolic complications. In postoperative period all patients rested in bed till the drain tube was removed on the 2nd or the 3rd day depending on amount of wound discharge. The next day after drainage removal the patients were verticalized. They were allowed to walk with weight-bearing on operated limb up to 20% of body weight. Conditioning exercises were administered and individual rehabilitation

program was recommended in cooperation with exercise physiologist in order to restore range of motions and strengthen muscles of operated limb.

Intravenous antibiotic therapy lasted until patient's discharge, following which the medications were prescribed in tablets at the outpatient treatment stage. Maximum authorized drug course was administered in case of using antibiotics with increased toxicity. It was recommended to gradually increase partial weight-bearing to full by the 4th week after the surgery. Patients temporarily took off their knee brace to allow joint motions. Been discharged from the hospital, 4 weeks later they were invited for follow-up examination with joint function assessment and monthly bacteriological analysis of knee joint aspirate. Also, it was decided whether the further immobilization was needed.

If there was no bacterial growth in 3 months, patients were referred to the second stage of revision arthroplasty. If pathogenic microflora was detected in the joint aspirate, suppressive anti-

biotic therapy was administered. After the end of the course the second aspirate examination was performed. In case of bacterial growth, the first stage of revision arthroplasty was carried out.

Assessment of results

Active knee motions were evaluated in patients right before spacer implantation and 3 months after the surgery. Null method of examination was applied. Stability of spacer components was evaluated analyzing x-rays. Resorption at the cement-on-bone (metal-on-bone) borderline and axial alignment of components in anteroposterior and lateral views were assessed in comparison with postoperative x-rays. Visual analogue 10-point scale (VAS) was used to measure pain intensity. The survey took place on the 1st and the 7th days and on the day of discharge.

Statistical analysis

Statistical analysis of data summarized in Microsoft Excel table was performed with IBM SPSS Statistics 26 (software for Windows 10). Lilliefors modification of Kolmogorov-Smirnov normality test was used for quantitative values. Student's t-test for independent samples was applied in case of normal distribution. Mann-Whitney U test was used to compare quantitative values in experimental groups if distribution was non-normal. Nominal data comparison was carried out using Pearson χ^2 test. Yates' correction was applied in case of analysis of two dichotomous variables. Level of $p < 0.05$ was considered as a criterion of statistical significance.

RESULTS

No statistically significant differences were identified between patient groups on the basis of gender status and age ($p = 0.099$). Average patient age of the first and the second group was 61.0 ± 10.4 and 63.4 ± 8.4 years respectively.

Active knee motions were evaluated with the use of fleximeter before implantation and 3 months after the first stage of surgical treatment. Range of motions in patients of the first group before surgery was on average $54.0 \pm 5.4^\circ$, in 3 months — $95.5 \pm 5.8^\circ$; in the second group it was $57.8 \pm 5.0^\circ$ and $71.0 \pm 5.2^\circ$ respectively (Fig. 5).

After the first stage of the treatment all patients were examined concerning stability of spacer components (Tab. 2).

Data analysis showed that the second group had significantly more stable tibial ($\chi^2 = 5.623$; $p = 0.018$) and femoral ($\chi^2 = 4.199$; $p = 0.040$) components before starting the second stage of the treatment.

Joint aspirate analysis showed that the main infectious agent in both groups was staphylococcus-dominated gram-positive flora. The percent of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) was 20.9%, the percent of coagulase-negative methicillin-resistant *Staphylococcus epidermidis* (MRSE) was 55.7% (Tab. 3).

Analysis of gram-negative agents' structure showed the prevalence of nonfermentative gram-negative bacilli over enterobacteria. *Ps. Aeruginosa* was identified more often among the nonfermentative bacteria. *K. pneumoniae* prevailed among enterobacteria in patients with PJI. Great number of strains of nonfermentative gram-negative bacilli had resistance to various antibiotics. There were no statistically significant differences concerning types of infectious agents in patients of both groups ($\chi^2 = 0.940$; $p = 0.967$).

Average duration of surgery, as well as average volume of intraoperative blood loss in the second group were significantly lower ($p = 0.001$). Period of hospital stay of patients who underwent two-stage revision arthroplasty with the use of spacer with officinal liner was shorter by 5.4 days than in patients of the second group (Tab. 4).

On the first day after the surgery the pain level in both patient groups differed insignificantly. Pain syndrome decrease in the second group was noticed in 7 days, being significantly lower than in the first group before patients' discharge ($p = 0.001$) (Tab. 5).

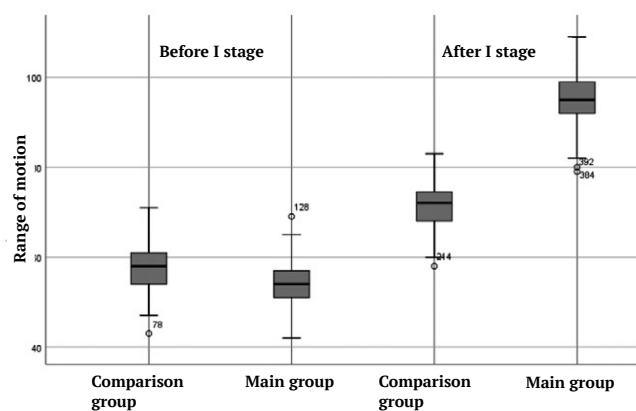


Fig. 5. The range of knee motions before and after the first stage of surgical treatment

Table 2

Stability of components before II stage of the treatment

Stability	Group 1			Group 2				
	Tibial component		Femur component	Tibial component		Femur component		
	n	%	n	%	n	%	n	%
Stable	47	52.8	60	67.4	66	71.0	76	81.7
Unstable	42	47.2	29	32.6	27	29.0	17	12.3
Total	89	100	89	100	93	100	93	100

Table 3

Structure of identified infectious agents

Infectious agent	Group 1		Group 2		Total	
	n	%	n	%	n	%
<i>S. Aureus</i>	27 (5*)	27.3	30 (7*)	30.6	57	28.9
<i>S. Epidermalis</i>	21 (11*)	21.2	22 (13*)	22.5	43	21.8
Gram(+)	19	19.2	17	17.3	36	18.3
Gram(-)	6	6.1	4	4.1	10	5.1
Polymicrobial flora	10	10.1	8	8.2	18	9.1
Microbial growth not found	16	16.1	17	17.3	33	16.8

* methicillin-resistant strains.

Table 4

Surgical time, blood loss and of hospital stay in treatment stage I

Parameters	Group 1 (n = 89)	Group 2 (n = 93)
Surgical time, min	191±22	127±12
Intraoperative blood loss, mm	493.4±68.0	341.8±72.4
Length of hospital stay, days	26.10±9.58	20.70±6.69

Table 5

Pain syndrome severity scores (VAS)

Day after surgery	Group 1	Group 1
First	8.4±1.5	8.1±1.8
Seventh	5.3±2.1	3.9±2.0
Day of discharge	4.6±1.9	2.3±1.3

Infection process recurrence was noticed in 10 (11.2%) patients in the first group and 5 (5.4%) patients in the second one. In both cases it was managed after redoing the first stage. No other complications connected with the first stage of the treatment were noticed in both groups.

DISCUSSION

According to the Second International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection, the choice of treatment method depends on infectious process onset and clinical severity. [23]. Suppressive antibiotic therapy, open debridement with the substitution of all removable prosthesis components, one- or two-stage revision arthroplasty are possible [24, 25]. Two-stage revision arthroplasty remains frontline and highly-efficient method of chronic PJI treatment due to the use of cement antibacterial spacers that produce enough antibiotic concentration in surrounding tissues [26].

Two types of spacers (articulating and static) are applied in case of two-stage PJI treatment of the knee. Systematic literature review published by foreign authors included treatment results of

1526 patients and showed no significant difference in managing infection process (88% in case of static spacers and 92 in case of articulating ones). However, there was a great difference in average range of motions after the second stage of the treatment (91° for static spacers and 101° for articulating) [27].

There are multiple structural designs of articulating spacers. The most popular of them are cement-on-cement, cement-on-polyethylene and metal-on-polyethylene bearings. Thus, nowadays there are some splits over the best bearing of articulating spacer [21].

Results of our comparative study revealed that application of officinal polyethylene liner instead of cement one containing antibacterial agent had not increased infection rate. In our opinion, using metal-on-polyethylene bearing seem to be the most optimal that is confirmed by surgical treatment results of 182 patients with periprosthetic knee joint infection. Moreover, officinal prosthesis component made of ultra-high-molecular-weight polyethylene instead of cement liner as well as joint anatomy and ligament balance restoration proved their efficacy. 94.6% of patients of prospective group were noticed infection process reversal, increase of range of motions, reduction of surgery and hospitalization duration as well as intraoperative blood loss. According to several authors, recurrence rate is within 9-33% [28, 29].

Introduced technical decision and algorithms of perioperative patient management appeared to be reasonable and became basic for improving short- and long-term results of treating patients with periprosthetic knee joint infection. Implantation of temporary-permanent prosthesis potentially allows patients to accomplish treatment without revision arthroplasty in case of meeting conditions for one-stage surgery, that are:

- antibiotic-sensitive microbial agent;
- local inflammation process (no leakage, phlegmon or soft tissue defect);
- normal bone density and intact ligament apparatus;
- no vast bone defects.

Our study enabled to review the tactics of surgical treatment of patients with chronic infection. In 2020 we managed to preserve prostheses in 17.6% of all patients that had undergone surgeries in clinics. In 2017 J.M. Cancienne et al.

published meta-analysis of treatment results of 18533 patients. In 12.5% of cases the spacers remained permanent [30].

Indications' update and expansion is considered perspective as it allows to reduce surgical complication rate, decrease duration of inpatient stay, increase quality of life and life time, speed up the return to daily activities and reduce financial expenses on treatment opposed to two-stage revision arthroplasty.

CONCLUSION

Including comparative data analysis of surgical treatment of two groups of patients with periprosthetic knee joint infection, our study enabled to make conclusion of significant impact of articulating spacer bearing on results of the first stage of two-stage revision arthroplasty. Using officinal knee joint prosthesis components allowed to reach higher functional results before the second stage of the treatment, as well as to decrease pain syndrome and risk of infection recurrence. Implantation of articulating spacer according to the principle of clean replacement enabled to significantly decrease the number of unstable components and, as a consequence, the number of infectious complications.

DISCLAIMERS

Author contribution

Mytrofanov V.N. — study concept and design, data statistical processing, manuscript writing and editing.

Korolev S.B. — analysis and statistical processing of data, text editing.

Presnov D.V. — data collection and analysis, manuscript writing, text editing.

Komarov R.N. — analysis and statistical processing of data, text editing

Akulov M.M. — analysis and statistical processing of data, text editing

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

REFERENCES

- Kirpichyov I.V., Berezhkov I.V. [The efficacy of knee joint function restoration after primary joint arthroplasty in medical rehabilitation department]. *Vestnik Ivanovskoi meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Ivanovo Medical Academy]. 2017;(2):30-33. (In Russian).
- Garkaviy N.G., Vereschagin N.A., Zhiltsov A.A., Vereschagina E.N. [Endoprosthetics in post trauma alterations of acetabulum]. *Vestnik Ivanovskoi meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Ivanovo Medical Academy]. 2017;(4):15-19. (In Russian).
- Patel A., Pavlou G., Mújica-Mota R.E., Toms A.D. The epidemiology of revision total knee and hip arthroplasty in England and Wales: a comparative analysis with projections for the United States. A study using the National Joint Registry dataset. *Bone Joint J.* 2015;97-B(8):1076-1081. doi: 10.1302/0301-620X.97B8.35170.
- Delanois R.E., Mistry J.B., Gwam C.U., Mohamed N.S., Choksi U.S., Mont M.A. Current Epidemiology of Revision Total Knee Arthroplasty in the United States. *J Arthroplasty.* 2017;32(9):2663-2668. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.066.
- Kurtz S., Ong K., Lau E., Mowat F., Halpern M. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222.
- Bozhkova S.A., Kasimova A.R., Tikhilov R.M., Polyakova E.M., Rukina A.N., Shabanova V.V. et al. [Adverse Trends in the Etiology of Orthopedic Infection: Results of 6-Year Monitoring of the Structure and Resistance of Leading Pathogens]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(4):20-31. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31.
- Baitov V.S., Ganchukov E.B. [Infectious complications in total knee replacement]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2017;(5). Available from: <https://science-education.ru/en/article/view?id=27110>. (In Russian).
- Culliford D., Maskell J., Judge A., Cooper C., Prieto-Alhambra D., Arden N.K. Future projections of total hip and knee arthroplasty in the UK: results from the UK Clinical Practice Research Datalink. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015;23(4):594-600. doi: 10.1016/j.joca.2014.12.022.
- Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Fil A.S., Muravyeva Yu.V. [Data of knee arthroplasty register of Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics for period 2011-2013]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2015;(1):136-151. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-136-151.
- Norwegian National Advisory Unit on Arthroplasty and Hip Fractures. The Norwegian Arthroplasty Register. Report, June 2020. Available from: https://www.researchgate.net/publication/344101825_Annual_report_2020_Norwegian_National_Advisory_Unit_on_Arthroplasty_and_Hip_Fractures_Norwegian_Arthroplasty_Register_Norwegian_Cruciate_Ligament_Register_Norwegian_Hip_Fracture_Register_Norwegian_Pae.
- Australian orthopaedic association national joint replacement registry, 2020. Hip, knee and shoulder arthroplasty: 2020 Annual report. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2020>.
- The New Zealand Joint Registry – Twenty-one-year Report January 1999 to December 2019. 2020. Available from: <https://nzoa.org.nz/nzoa-joint-registry>.
- Hip and knee replacements in Canada, CJRR revision risk curves 2019-2020. Canadian Arthroplasty Register: Report, 2021. Available from: <https://www.cihi.ca/en/canadian-joint-replacement-registry-cjrr>.
- Parvizi J., Adeli B., Zmistowski B., Restrepo C., Greenwald A.S. Management of periprosthetic joint infection: the current knowledge: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(14):e104. doi: 10.2106/JBJS.K.01417.
- Artyukh V.A., Bozhkova S.A., Boyarov A.A., Muravyova J.V., Kochish A.A. [Efficiency of the One-Stage Revision Hip Arthroplasty in Chronic Periprosthetic Joint Infection with Sinus Tract]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(2):9-22. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-2-9-22.
- Ermakov A.M., Kliushin N.M., Ababkov Ju.V., Triapichnikov A.S., Koiushkov A.N. [Efficiency of two-stage revision arthroplasty in management of periprosthetic knee and hip joint infection]. *Genij Orthopedii* [Orthopaedic Genius]. 2018;24(3):321-326. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-321-326.
- Shpinyak S.P., Barabash A.P., Lyasnikova A.V. [The use of spacers in the treatment of infectious complications in total knee replacement]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2015;(5). Available from: <https://science-education.ru/en/article/view?id=21443>. (In Russian).
- Lichstein P., Su S., Hedlund H., Suh G., Maloney W.J., Goodman S.B., Huddleston J.I. 3rd. Treatment of Periprosthetic Knee Infection With a Two-stage Protocol Using Static Spacers. *Clin Orthop Relat Res.* 2016;474(1):120-125. doi: 10.1007/s11999-015-4443-2.
- Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V., Goncharov M.Yu. [Results of Two-Stage Reimplantation in Patients with Periprosthetic Joint Infection after Total Knee Arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):98-107. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107.
- Lu J., Han J., Zhang C., Yang Y., Yao Z. Infection after total knee arthroplasty and its gold standard surgical treatment: Spacers used in two-stage revision arthroplasty. *Intractable Rare Dis Res.* 2017;6(4):256-261. doi: 10.5582/irdr.2017.01049.

21. Goodman S.B., Gallo J., Gibon E., Takagi M. Diagnosis and management of implant debris-associated inflammation. *Expert Rev Med Devices*. 2020;17(1):41-56. doi: 10.1080/17434440.2020.1702024.
22. Proceedings of the Second International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection. Brooklandville, Maryland; 2018.
23. Komarov R.N., Novikov A.V., Mitrofanov V.N., Akulov M.M., Korytkin A.A. [The spacers application in the treatment of peri-implant infection after hip arthroplasty]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2014;(5). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14954>.
24. Schwarz E.M., Parvizi J., Gehrke T., Aiyer A., Battenberg A., Brown S.A. et al. 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. *J Orthop Res*. 2019;37(5):997-1006. doi: 10.1002/jor.24293.
25. Fink B., Vogt S., Reinsch M., Büchner H. Sufficient release of antibiotic by a spacer 6 weeks after implantation in two-stage revision of infected hip prostheses. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(11):3141-3147. doi: 10.1007/s11999-011-1937-4.
26. Voleti P.B., Baldwin K.D., Lee G.C. Use of static or articulating spacers for infection following total knee arthroplasty: a systematic literature review. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(17):1594-1599. doi: 10.2106/JBJS.L.01461.
27. Yagmour K.M., Chisari E., Khan W.S. Single-Stage Revision Surgery in Infected Total Knee Arthroplasty: A PRISMA Systematic Review. *J Clin Med*. 2019;8(2):174. doi: 10.3390/jcm8020174.
28. Pangaud C., Ollivier M., Argenson J.N. Outcome of single-stage versus two-stage exchange for revision knee arthroplasty for chronic periprosthetic infection. *EFORT Open Rev*. 2019;4(8):495-502. doi: 10.1302/2058-5241.4.190003.
29. Cancienne J.M., Granadillo V.A., Patel K.J., Werner B.C., Browne J.A. Risk Factors for Repeat Debridement, Spacer Retention, Amputation, Arthrodesis, and Mortality After Removal of an Infected Total Knee Arthroplasty With Spacer Placement. *J Arthroplasty*. 2018;33(2):515-520. doi: 10.1016/j.arth.2017.08.037.

Authors' information

✉ Dmitrii V. Presnov

Address: 10/1, Minin and Pozharsky sq., Nizhny Novgorod, 603005, Russia

e-mail: p.d-07@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3905-7958>

Vyacheslav N. Mitrofanov — Cand. Sci. (Med.)

e-mail: slavasm08@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2046-3865>

Svyatoslav B. Korolev — Dr. Sci. (Med.), Professor

e-mail: svyatos.korolev070@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0286-8404>

Roman N. Komarov — Cand. Sci. (Med.)

e-mail: bagsnn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2705-8224>

Mikhail M. Akulov

e-mail: brisben@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4383-9370>



Связь полиморфизма генов *LYPLAL1* и *TGFA* с прогрессированием остеоартроза коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России

В.Б. Новаков^{1,2}, О.Н. Новакова¹, М.И. Чурносков¹

¹ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, г. Белгород, Россия

² ОГБУЗ «Городская больница № 2», г. Белгород, Россия

Актуальность. Остеоартроз (ОА) коленного сустава является многофакторным заболеванием, в развитии которого важная роль отводится генетическим факторам. Доля наследственной компоненты в развитии ОА, по данным разных литературных источников, составляет от 40 до 65%. ОА коленного сустава является прогрессирующим заболеванием, приводящим к снижению качества жизни, потере трудоспособности.

Цель исследования — оценить роль полиморфных маркеров генов-кандидатов rs2820436 и rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*, rs11177 *GNL3*, rs6976 *GLT8D1* в прогрессировании остеоартроза коленного сустава у населения Центрального Черноземья России.

Материал и методы. Исследование выполнено в дизайне «случай-контроль» на выборке из 500 больных с ОА коленного сустава. «Случай» — больные с III–IV стадиями заболевания по Kellgren–Lawrence ($n = 325$), «контроль» (индивидуумы, не имеющие анализируемого признака — с III–IV стадиями заболевания) — пациенты с II стадией заболевания ($n = 175$). Методом ПЦР-синтеза ДНК выполнено генотипирование пяти однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) генов-кандидатов в изучаемых группах больных. Изучение ассоциаций исследуемых полиморфных локусов, расчет частот гаплотипов и анализ их связей с прогрессированием ОА коленного сустава проведено методом логистической регрессии в программе PLINK v. 2.050.

Результаты. Значимые ассоциации с прогрессированием ОА коленного сустава установлены для аллельного варианта А rs2820436 гена *LYPLAL1* согласно аллельной (ОШ = 1,48; $p = 0,010$; $p_{\text{perm}} = 0,012$), аддитивной (ОШ = 1,58; $p = 0,009$; $p_{\text{perm}} = 0,010$), доминантной (ОШ = 1,61; $p = 0,024$; $p_{\text{perm}} = 0,030$) генетическим моделям и генотипа А/А этого же полиморфизма (ОШ = 2,53; $p = 0,041$). Протективную роль в прогрессировании заболевания имеют генотипы С/С rs2820436 *LYPLAL1* (ОШ = 0,67; $p = 0,043$), А/Г rs3771501 *TGFA* (OR = 0,67; $p = 0,042$). Установлено, что частота гаплотипа АС гаплоглоба rs2820436-rs2820443 в группе больных с III–IV стадиями заболевания статистически значимо выше, чем у пациентов со II стадией (ОШ = 1,83; $p = 0,002$; $p_{\text{perm}} = 0,002$).

Заключение. Генетическими факторами риска развития ОА коленного сустава III–IV рентгенологических стадий являются аллельный вариант А и генотип А/А rs2820436 гена *LYPLAL1*, гаплотип АС гаплоглоба rs2820436-rs2820443 у населения Центрального Черноземья России. Генотипы С/С rs2820436 гена *LYPLAL1* и А/Г rs3771501 гена *TGFA* имеют протективное значение в прогрессировании заболевания.

Ключевые слова: остеоартроз коленного сустава, *LYPLAL1*, *TGFA*, полиморфный локус, ассоциации, гены-кандидаты.

📖 Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И. Связь полиморфизма генов *LYPLAL1* и *TGFA* с прогрессированием остеоартроза коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):42-53. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1979>.

✉ Новакова Ольга Николаевна; e-mail: litovkina@bsu.edu.ru

Рукопись получена: 04.08.2022. Рукопись одобрена: 14.10.2022. Статья опубликована онлайн: 26.10.2022.

© Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И., 2022



Polymorphism of *LYPLAL1* and *TGFA* Genes Associated With Progression of Knee Osteoarthritis in Residents Central Chernozem Region of Russia

Vitaly B. Novakov^{1,2}, Olga N. Novakova¹, Mikhail I. Churnosov¹

¹ Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

² City Hospital No. 2, Belgorod, Russia

Background. Knee osteoarthritis (OA) is a multifactorial disease in which genetic factors play an important role. The share of the hereditary component in the development of OA, according to various literature sources, ranges from 40 to 65%. Knee OA is a progressive disease that leads to a decrease in the quality of life and disability.

The study aimed to evaluate the role of polymorphic markers of candidate genes rs2820436 and rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*, rs11177 *GNL3*, rs6976 *GLT8D1* in the progression of knee OA in the population of the Central Chernozem Region of Russia.

Methods. The study was performed in a case-control design on a sample of 500 patients with knee OA. Case – patients with III-IV stages of the disease according to Kellgren–Lawrence (n = 325), control (individuals who do not have the analyzed sign – III-IV stages of the disease) – patients with stage II (n = 175). Genotyping of five single nucleotide polymorphisms (SNPs) of candidate genes was performed using the polymerase chain reaction method for DNA synthesis. The study of the associations of the studied polymorphic loci, the calculation of haplotype frequencies and the analysis of their relationship with the progression of knee OA was carried out by the method of logistic regression in the program PLINK v 2.050.

Results. Significant associations with the progression of OA of the knee were established for allelic variant A rs2820436 of *LYPLAL1* gene according to allelic (OR = 1.48, p = 0.010, p_{perm} = 0.012), additive (OR = 1.58, p = 0.009, p_{perm} = 0.010), dominant (OR = 1.61, p = 0.024, p_{perm} = 0.030) genetic models and A/A genotype of the same polymorphism (OR = 2.53, p = 0.041). The genotypes C/C rs2820436 *LYPLAL1* (OR = 0.67, p = 0.043), A/G rs3771501 *TGFA* (OR = 0.67, p = 0.042) have a protective role in the progression of the disease. It was found that the frequency of the AC haplotype of haploblock rs2820436-rs2820443 in the group of patients with III-IV stages of the disease was significantly higher than in patients with stage II (OR = 1.83, p = 0.002, p_{perm} = 0.002). The identified molecular genetic markers rs2820436 and rs2820443 of *LYPLAL1* gene, rs3771501 of *TGFA* gene are associated both with the risk of developing OA according to previous genome-wide studies and, according to our data, are associated with the progression of knee OA.

Conclusions. Genetic risk factors for the development of knee OA of III-IV radiological stages are allelic variant A and genotype A/A rs2820436 of *LYPLAL1* gene, haplotype AC of haploblock rs2820436-rs2820443 in the population of the Central Chernozem Region of Russia. Genotypes C/C rs2820436 of *LYPLAL1* gene and A/G rs3771501 of *TGFA* gene have a protective value in the progression of this disease.

Keywords: knee osteoarthritis, *LYPLAL1*, *TGFA*, polymorphic locus, associations, candidate genes.

Cite as: Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I. [Polymorphism of *LYPLAL1* and *TGFA* Genes Associated With Progression of Knee Osteoarthritis in Residents Central Chernozem Region of Russia]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):42-53. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1979>.

✉ Olga N. Novakova; e-mail: litovkina@bsu.edu.ru

Submitted: 04.08.2022. Accepted: 14.10.2022. Published Online: 26.10.2022.

© Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Под остеоартрозом (ОА) понимают хроническое заболевание опорно-двигательного аппарата, которое характеризуется разрушением суставного хряща, воспалением синовиальной оболочки, ремоделированием кости [1]. Остеоартрозом страдает более 240 млн человек во всем мире [2]. Распространенность ОА коленного сустава колеблется в достаточно широких диапазонах, зависит от популяции, пола, возраста [3, 4]. В работе Л.И. Алексеевой с соавторами приведены обобщенные данные нескольких эпидемиологических исследований гонартроза, которые свидетельствуют о том, что частота встречаемости данного заболевания может варьировать в диапазоне от 2,0 до 42,4% при условии применения для диагностики исключительно клинических критериев, от 16,3 до 33,0% — только рентгенологических критериев и от 1,5 до 15,9% — при комбинации клинических и рентгенологических критериев [3]. В России ОА коленного и/или тазобедренного суставов страдает 13% населения старше 18 лет [5]. ОА коленного сустава приводит к снижению качества жизни, потере трудоспособности, ограничению переносимости физической нагрузки, а прогрессирование заболевания может стать причиной инвалидности [6].

Данные по факторам риска прогрессирования ОА коленного сустава остаются весьма противоречивыми [7]. Согласно литературным данным, в развитии/прогрессировании ОА значимая роль отводится наследственным (генетическим) факторам [1, 3, 8, 9]. Однако проведенные молекулярно-генетические исследования ОА коленного сустава позволили установить сравнительно небольшое количество полиморфных вариантов генов-кандидатов (*ADAM12*, *CILP*, *OPG*, *TNA*, *IL-1*, *GDF5*), ассоциированных с прогрессированием данной патологии [10, 11, 12, 13, 14]. Стоит отметить малочисленность выполненных исследований, посвященных данной проблеме, и их отсутствие в отечественной литературе. Вышеизложенные факты диктуют необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на поиск полиморфных генетических маркеров прогрессирования ОА коленного сустава в различных популяциях мира, в том числе и в России.

Цель исследования — оценить роль полиморфных маркеров генов-кандидатов rs2820436 и rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*, rs11177 *GNL3*, rs6976 *GLT8D1* в прогрессировании остеоартроза коленного сустава у населения Центрального Черноземья России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование выполнено в дизайне «случай-контроль» на выборке из 500 больных ОА коленного сустава. «Группа случаев» — больные с III–IV рентгенологическими стадиями заболевания по Kellgren–Lawrence, «группа контроля» (индивидуумы, не имеющие анализируемого признака — III–IV стадий заболевания) — пациенты со II стадией заболевания. Выборка для исследования была сформирована в период с февраля 2016 г. по декабрь 2018 г.

Критерии включения: 1) русская национальность, территория рождения и проживания — Центральное Черноземье России; 2) возраст от 40 лет; 3) диагностированный первичный ОА коленного сустава II–IV стадий по Kellgren–Lawrence; 4) наличие болевого синдрома по ВАШ более 40 баллов; 5) наличие добровольного информированного согласия на исследование.

Критерии исключения: 1) не русская национальность, проживание и/или рождение вне Центрально-Черноземного региона России; 2) наличие тяжелых форм артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, сахарного диабета, почечно-печеночной недостаточности, онкологических заболеваний, системных заболеваний соединительной ткани, травм суставов в анамнезе, воспалительных заболеваний суставов, врожденных пороков развития опорно-двигательной системы; 3) отказ от участия в исследовании.

У всех больных, включенных в исследование, был диагностирован первичный ОА коленного сустава на основе клинического осмотра, лабораторного и рентгенологического исследований согласно Федеральным клиническим рекомендациям по диагностике и лечению остеоартроза [15]. У 175 (39,0%) больных была установлена II рентгенологическая стадия ОА коленного сустава по шкале Kellgren–Lawrence, у 230 (46,0%) пациентов — III стадия, у 95 (19,0%) больных — IV стадия заболевания.

Для исследования ассоциаций полиморфных маркеров генов-кандидатов с прогрессированием ОА коленного сустава изучаемая выборка пациентов была разделена на две группы. Первая группа пациентов ($n = 325$) представляла собой объединенную выборку больных с III и IV рентгенологическими стадиями, во вторую группу ($n = 175$) были включены больные с II рентгенологической стадией. Объединение групп пациентов с III–IV стадиями заболевания было выполнено с целью повышения мощности проводимого анализа ассоциаций.

В качестве объекта генетического исследования использовалась геномная ДНК, выделенная из периферической венозной крови методом фенол-хлороформной экстракции. Полиморфные маркеры генов-кандидатов были отобраны для исследования на основании следующих критериев: 1) наличие ассоциаций с ОА по данным ранее проведенных полногеномных исследований (GWAS) в европейских популяциях [16, 17, 18, 19, 20]; 2) выраженное функциональное значение полиморфизма (регуляторный потенциал, связь с экспрессией, альтернативным сплайсингом генов [21]) согласно онлайн ресурсам GTEx Portal* и HaploReg (v4.1)**; 3) частота полиморфизма не менее 5%.

В соответствии с данными критериями в исследование были включены пять SNPs четырех генов-кандидатов: rs2820436 и rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*, rs11177 *GNL3*, rs6976 *GLT8D1*. Все полиморфные локусы ассоциированы с ОА по данным GWAS в европейских популяциях [16, 17, 18, 19, 20], имеют выраженный регуляторный потенциал (rs2820443, rs3771501, rs11177 расположены в эволюционно-консервативном регионе ДНК; rs2820443, rs11177, rs6976 находятся в регионе связывания с регуляторными белками и в участках повышенной чувствительности к DNКазе; rs2820443, rs11177 локализуются в области гистоновых белков, маркирующих промоторы; все пять SNPs расположены в регионе гистонов, маркирующих энхансеры). Стоит отметить, что сильно сцепленные SNPs ($r^2 \geq 0,8$) с изучаемыми полиморфными локусами также демонстрируют значимые эпигенетические эффекты. Все пять SNPs и сильно сцепленные с ними SNPs имеют ассоциации с уровнем экспрессии и альтернативного сплайсинга генов в патогенетически значимых для развития ОА культурах клеток, тканях и органах (щитовидная железа, большеберцовые артерии и нервы, скелетная мускулатура, жировая ткань, фибробласты и др.). Частоты минорных аллелей исследуемых полиморфных маркеров генов-кандидатов составили более 5%.

Образцы ДНК были генотипированы на амплификаторе Real-Time CFX96 (США) методом TaqMan зондов.

Статистический анализ

Распределение анализируемых количественных показателей (возраст, рост, ИМТ), оцененное с помощью критерия Шапиро–Уилка, не соответствует закону нормального распределения ($p < 0,05$). Для их описания применяли медиану (Me) и интерквартильный размах (Q25–Q75), максимальное (Max) и минимальное (Min) значения, а также рассчитывали среднее значение и стан-

дартное отклонение $M(\sigma)$. Для качественных показателей в изученных группах определяли их абсолютные значения и проценты. Для сравнения количественных показателей применяли критерий Манна–Уитни, для качественных признаков — χ^2 . Статистически значимым считали результат при $p < 0,05$.

Проводили оценку наблюдаемого распределения генотипов для пяти SNPs, включенных в исследование, и его соответствие ожидаемому распределению согласно закону равновесия Харди–Вайнберга (отклонения принимались за статистически значимые при $p_{HWE} \leq 0,05$). При сравнительном анализе частот аллелей и генотипов между двумя группами больных ОА коленного сустава применяли критерий χ^2 с поправкой Йетса на непрерывность, использовали таблицы сопряженности 2×2 . Все вычисления выполнялись в программе STATISTICA for Windows 10.0. За статистически значимый уровень принимали $p < 0,05$. Изучение ассоциаций исследуемых полиморфных локусов с прогрессированием ОА коленного сустава проводили с использованием метода логистической регрессии (рассматривали четыре генетические модели: аллельная, аддитивная, рецессивная и доминантная) с поправками на ковариаты — возраст, ИМТ в программе PLINK v. 2.050. Для оценки ассоциаций полиморфных маркеров генов-кандидатов с прогрессированием заболевания использовали отношение шансов (ОШ) и 95% ДИ (95% доверительный интервал для ОШ). Проводилась коррекция на множественные сравнения с использованием пермутационных процедур. За статистически значимый уровень принимали $p_{perm} < 0,05$.

Изучение неравновесия по сцеплению между рядом расположенными SNPs, расчет частот гаплотипов и анализ их ассоциаций с прогрессированием ОА коленного сустава проводили в программе PLINK v. 2.050. Блочная структура определялась посредством алгоритма Confidence intervals ($r^2 \geq 0,2$) [22]. Частоты гаплотипов определялись с помощью EM-алгоритма. Оценку характера ассоциации гаплотипов с прогрессированием заболевания осуществляли с использованием показателя ОШ. В исследование включались ковариаты (возраст, ИМТ, распределение по полу), проводилась коррекция на множественные сравнения при помощи пермутационного теста [23]. За статистически значимый уровень принимали $p_{perm} < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Медико-биологические и клинико-анамнестические характеристики пациентов изучаемых групп представлены в таблице 1.

* <http://www.gtportal.org/>

** <http://archive.broadinstitute.org/mammals/haploreg/haploreg.php>

Таблица 1

Характеристика пациентов исследуемых групп

Показатель		Больные ОА III–IV стадии (n = 325)	Больные ОА II стадии (n = 175)	p
Мужчины/женщины, n (%)		133/192 (40,92/59,08)	75/100 (42,86/57,14)	0,75
Средний возраст, лет	Me (Q25–Q75)	59,0 (57,0–62,0)	52,0 (49,0–54,0)	<0,001
	Min/Max	40,0/75,0	41,0/61,0	
	M (σ)	59,71 (6,27)	51,53 (4,31)	
Рост, см	Me (Q25–Q75)	169,0 (163,0–175,0)	169,0 (163,0–176,0)	0,34
	Min/Max	149,0/191,0	157,0/193,0	
	M (σ)	168,94 (7,89)	169,68 (7,85)	
ИМТ, кг/м ²	Me (Q25–Q75)	31,60 (28,39–35,99)	30,48 (27,29–34,31)	0,01
	Min/Max	20,20/48,28	21,22/46,06	
	M (σ)	32,39 (5,49)	31,06 (4,69)	
<i>Сопутствующая патология, n (%)</i>				
Сердечно-сосудистая система		123 (37,84)	61 (34,85)	0,57
Пищеварительная система		39 (12,00)	21 (12,00)	1
Мочеполовая система		23 (7,08)	6 (3,43)	0,14
Центральная нервная система		37 (11,38)	15 (8,57)	0,41
Эндокринные органы		35 (10,77)	16 (9,14)	0,66
Дыхательная система		42 (11,20)	17 (9,71)	0,36
Прочие		22 (6,77)	7 (4,00)	0,29

Жирным шрифтом выделены статистически значимые значения.

Сформированные группы больных не отличались по росту и наличию сопутствующей соматической патологии ($p > 0,05$). Однако в объединенной выборке больных с III–IV стадиями наблюдался статистически значимо более высокий показатель индекса массы тела (ИМТ) по сравнению с группой пациентов, имеющих II рентгенологическую стадию, также данные группы пациентов отличались по возрасту ($p < 0,05$).

Популяционно-генетический анализ показал, что для всех рассматриваемых полиморфных локусов генов-кандидатов (rs2820436 и rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*, rs11177 *GNL3*, rs6976 *GLT8D1*) в группе больных с II стадией и объединенной группе пациентов с III–IV стадиями наблюдаемое распределение генотипов соответствовало ожидаемому согласно закону равновесия Харди–Вайнберга ($p_{HWE} > 0,05$).

Сравнительный анализ частот аллелей и генотипов изучаемых полиморфных маркеров генов-кандидатов показал, что среди больных с III–IV стадиями частота аллельного варианта A rs2820436 статистически значимо больше, чем в группе больных с II стадией заболевания ($p = 0,013$). Также установлено, что встречаемость генотипа A/A rs2820436 в группе больных с III–IV стадиями в 2,38 раза больше и частота генотипа C/C этого же локуса в 1,21 раза меньше, чем среди пациентов с II стадией ОА коленного сустава ($p < 0,05$). Статистически значимые различия по частоте генотипа A/G выявлены для локуса rs3771501 гена *TGFA*: встречаемость данного генотипа в объединенной группе больных с III–IV стадиями была меньше, чем среди пациентов с II стадией, в 1,22 раза ($p = 0,042$).

Полученные в рамках четырех генетических моделей показатели ассоциации изучаемых SNPs с прогрессированием ОА представлены в таблице 2.

Таблица 2

Частоты аллелей и генотипов полиморфных локусов генов-кандидатов в исследуемых группах больных

Полиморфизм	Аллель, генотип	Больные ОА III–IV стадий n (%)	Больные ОА II стадии n (%)	ОШ (95% ДИ)	p
rs2820436	C	447 (68,98)	267 (76,72)	0,68 (0,50–0,92)	0,013
	A	201 (31,02)	81 (23,28)	1,48 (1,09–2,02)	
	A/A	31 (9,57)	7 (4,02)	2,53 (1,03–6,44)	0,041
	A/C	139 (42,90)	67 (38,51)	1,20 (0,81–1,78)	0,394
	C/C	154 (47,53)	100 (57,47)	0,67 (0,45–0,99)	0,043
	H _o /H _e (p _{HWE})	0,429/0,428 (1,000)	0,385/0,357 (0,397)	–	–
	Минорный аллель A (модель аллельная)	–	–	1,48 (1,10–2,00)	0,010
	A/A vs. A/C vs. C/C (модель аддитивная)	–	–	1,58 (1,12–2,23)	0,009
	C/C vs. A/C + A/A (модель доминантная)	–	–	1,61 (1,06–2,44)	0,024
	A/C + C/C vs. A/A (модель рецессивная)	–	–	2,50 (0,99–6,26)	0,052
rs2820443	T	466 (71,69)	266 (76,00)	0,80 (0,59–1,09)	0,164
	C	184 (28,31)	84 (24,00)	1,25 (0,92–1,71)	
	C/C	27 (8,30)	13 (7,43)	1,13 (0,54–2,38)	0,864
	C/T	130 (40,00)	58 (33,14)	1,35 (0,90–2,01)	0,158
	T/T	168 (51,70)	104 (59,43)	0,73 (0,50–1,08)	0,118
	H _o /H _e (p _{HWE})	0,400/0,406 (0,785)	0,331/0,365 (0,218)	–	–
	Минорный аллель C (модель аллельная)	–	–	1,25 (0,93–1,68)	0,142
	C/C vs. C/T vs. T/T (модель аддитивная)	–	–	1,37 (0,98–1,09)	0,064
	T/T vs. C/C + C/T (модель доминантная)	–	–	1,54 (1,01–2,33)	0,043
	C/T + T/T vs. C/C (модель рецессивная)	–	–	1,28 (0,59–2,81)	0,533
rs3771501	G	367 (56,46)	199 (57,18)	0,97 (0,74–1,27)	0,880
	A	283 (43,54)	149 (42,82)	1,03 (0,79–1,35)	
	A/A	69 (21,23)	27 (15,52)	1,47 (0,88–2,47)	0,155
	A/G	145 (44,62)	95 (54,59)	0,67 (0,46–0,99)	0,042
	G/G	111 (34,15)	52 (29,89)	1,22 (0,80–1,85)	0,386
	H _o /H _e (p _{HWE})	0,446/0,492 (0,092)	0,546/0,490 (0,164)	–	–
	Минорный аллель A (модель аллельная)	–	–	1,03 (0,79–1,34)	0,826
	A/A vs. A/G vs. G/G (модель аддитивная)	–	–	0,95 (0,71–1,28)	0,749
	G/G vs. A/A + A/G (модель доминантная)	–	–	0,73 (0,47–1,13)	0,160
	A/G + G/G vs. A/A (модель рецессивная)	–	–	1,37 (0,79–2,36)	0,258

Полиморфизм	Аллель, генотип	Больные ОА III–IV стадий <i>n</i> (%)	Больные ОА II стадии <i>n</i> (%)	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>
rs11177	G	375 (57,69)	189 (54,00)	1,16 (0,89–1,52)	0,292
	A	275 (42,31)	161 (46,00)	0,86 (0,66–1,13)	
	A/A	61 (18,77)	36 (20,57)	0,89 (0,55–1,45)	0,713
	A/G	153 (47,08)	89 (50,86)	0,86 (0,59–1,26)	0,476
	G/G	111 (34,15)	50 (28,57)	1,30 (0,85–1,97)	0,241
	H_o/H_e (p_{HWE})	0,471/0,488 (0,570)	0,509/0,497 (0,879)	–	–
	Минорный аллель A (модель аллельная)	–	–	0,86 (0,66–1,12)	0,261
	A/A vs. A/G vs. G/G (модель аддитивная)	–	–	0,83 (0,62–1,12)	0,226
	G/G vs. A/A + A/G (модель доминантная)	–	–	0,72 (0,46–1,12)	0,147
	A/G + G/G vs. A/A (модель рецессивная)	–	–	0,89 (0,53–1,43)	0,655
rs6976	C	262 (57,28)	187 (54,68)	0,80 (0,61–1,07)	0,134
	T	270 (42,72)	155 (45,32)	1,24 (0,94–1,65)	
	T/T	62 (19,62)	35 (20,47)	0,95 (0,58–1,55)	0,918
	C/T	146 (46,20)	85 (49,71)	0,87 (0,59–1,28)	0,520
	C/C	108 (34,18)	51 (29,82)	1,22 (0,80–1,86)	0,382
	H_o/H_e (p_{HWE})	0,462/0,489 (0,357)	0,497/0,496 (1,000)	–	–
	Минорный аллель T (модель аллельная)	–	–	0,90 (0,69–1,17)	0,435
	T/T vs. C/T vs. C/C (модель аддитивная)	–	–	0,88 (0,65–1,19)	0,401
	C/C vs. T/T + C/T (модель доминантная)	–	–	0,76 (0,48–1,21)	0,247
C/T + C/C vs. T/T (модель рецессивная)	–	–	0,96 (0,57–1,63)	0,888	

H_o/H_e — наблюдаемая/ожидаемая гетерозиготность; p_{HWE} — уровень значимости отклонения от закона Харди–Вайнберга. Жирным шрифтом выделены статистически значимые значения.

В рамках аллельной генетической модели выявлено, что частота минорного аллеля A rs2820436 в группе больных с III–IV стадиями статистически значимо выше, чем в группе пациентов с II стадией ($p = 0,010$; $p_{perm} = 0,012$). Значимые ассоциации с прогрессированием ОА коленного сустава установлены для аллеля A rs2820436 гена *LYPLAL1* также согласно аддитивной ($p = 0,009$; $p_{perm} = 0,010$) и доминантной ($p = 0,024$; $p_{perm} = 0,030$) генетическим моделям. Стоит отметить, что в рамках доминантной генетической модели установлена связь аллельного варианта C rs2820443 гена *LYPLAL1* с прогрессированием заболевания ($p = 0,043$), однако при проведении пермутационных процедур выявленный уровень ассоциаций не достиг статистически значимого ($p_{perm} = 0,076$).

Установлено неравновесие по сцеплению между парами SNPs, расположенными на одной хромосоме: rs2820436–rs2820443 ($r^2 = 0,47$) и rs11177 и rs6976 ($r^2 = 0,93$). Эти пары SNPs образуют соответственно два гапблока — H1 и H2. Поэтому на следующем этапе работы проведено изучение ассоциаций гаплотипов двух установленных нами гапблоков полиморфных маркеров генов-кандидатов с прогрессированием ОА коленного сустава (табл. 3). Выявлено, что частота гаплотипа AC гапблока H1 в группе больных с III–IV стадиями заболевания статистически значимо в 1,49 раза выше, чем у пациентов с II стадией ($p = 0,002$; $p_{perm} = 0,002$). По гапблоку H2 значимых ассоциаций с прогрессированием ОА коленного сустава не обнаружено.

**Частоты гаплотипов полиморфных локусов генов-кандидатов
в исследуемых группах больных**

Гапоблок (хромосома)	Полиморфизмы	Гаплотип	Частота гаплотипа		ОШ	<i>p</i>
			Больные ОА III–IV стадий (<i>n</i> = 325)	Больные ОА II стадии (<i>n</i> = 175)		
Н1 (1-я хромосома)	rs2820436-rs2820443	АС	0,240	0,161	1,83	0,002
		СС	0,041	0,078	0,59	0,094
		АТ	0,071	0,072	0,89	0,684
		СТ	0,649	0,690	0,77	0,109
Н2 (3-я хромосома)	rs11177-rs6976	АТ	0,413	0,450	0,85	0,284
		ГТ	0,014	0,003	2,06	0,342
		АС	0,008	0,015	0,43	0,118
		ГС	0,565	0,532	1,21	0,214

Жирным шрифтом выделены статистически значимые значения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании установлены ассоциации полиморфных маркеров генов-кандидатов (rs2820436 и rs2820443 *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA*) с прогрессированием ОА коленного сустава у населения Центрально-Черноземного региона России. Нами выявлено, что аллельный вариант А rs2820436 гена *LYPLAL1* является рисковым в прогрессировании заболевания (ОШ = 1,48–1,61), как и генотип А/А данного полиморфизма (ОШ = 2,53). Однако генотип С/С rs2820436 имеет протективную направленность в прогрессировании ОА коленного сустава (ОШ = 0,67). Полученные нами результаты согласуются с литературными данными по этой проблеме. Согласно результатам GWAS исследования, выполненного на европейцах, противоположный аллель С rs2820436 гена *LYPLAL1* определяет протективную направленность в развитии ОА (ОШ = 0,93; $p = 2,01 \times 10^{-09}$) [18]. В GWAS исследовании U. Styrkarsdottir с соавторами также показано, что аллель С полиморфного маркера rs2820436 связан с низким риском развития коксартроза у европейцев (ОШ = 0,93; $p = 9,4 \times 10^{-09}$) [17], при этом с гонартрозом ассоциаций на полногеномном уровне не установлено (ОШ = 0,96; $p = 1,1 \times 10^{-05}$).

Стоит отметить, что имеется ряд исследований, которые демонстрируют связь rs2820436 с признаками, имеющими значимую роль в патогенезе ОА (например, ИМТ). В трансэтническом метаанализе J. Gong с соавторами (изучена выборка из афроамериканцев, латиноамериканцев, азиатов, коренных американцев и американцев европейского происхождения) выявлена связь аллельного варианта А rs2820436 с ИМТ, причем данный аллель определяет повышенный ИМТ ($\beta = 0,0049$;

$p = 3,79 \times 10^{-08}$) [24]. Известно, что повышенный ИМТ и ожирение являются ведущими факторами риска развития и прогрессирования ОА [7, 25, 26]. В работе L. Fernández-Rhodes с соавторами на выборке из более чем 102 000 взрослых африканцев, латиноамериканцев, азиатов и европейцев, напротив, установлена ассоциация аллеля А rs2820436 с более низким ИМТ (ОШ = 0,50; $p = 3,2 \times 10^{-08}$) [27]. В исследовании V. Lundbäck с соавторами [28] показана связь экспрессии rs2820436 гена *LYPLAL1* в жировой ткани с ИМТ ($p = 1,2 \times 10^{-04}$) с уровнем базального липолиза ($p = 0,026$).

Медико-биологической основой выявленных ассоциаций могут быть выраженные функциональные эффекты rs2820436 гена *LYPLAL1*. С помощью онлайн-ресурса HaploReg (v.4.1) установлено, что данный полиморфный маркер расположен в области ДНК, связанной с гистоновыми белками H3K4me1, маркирующими неактивные энхансеры в хондроцитах, фибробластах, остеобластах, жировой ткани, находится в регионе гистона H3K27ac, маркирующего активные энхансеры в лимфоцитах, хондроцитах, а также в области гистона H3K9ac, определяющего активные промоторы в жировой ткани, регионе трех регуляторных мотивов ДНК. Также с применением онлайн-программы GTE Portal выявлено, что аллель А rs2820436 связан с высокой экспрессией гена *RP11-392O17.1* в жировой ткани ($p = 1,9 \times 10^{-06}$) и низкой экспрессией этого же гена в надпочечниках ($p = 4,0 \times 10^{-06}$), определяет пониженный уровень альтернативного сплайсинга транскрипта гена *RP11-392O17.1* в жировой ткани ($p = 4,8 \times 10^{-21}$).

Аллельный вариант С rs2820443 гена *LYPLAL1*, который, согласно нашим данным, в составе га-

плотипа AC гапблока rs2820436-rs2820443 гена *LYPLAL1* является фактором риска прогрессирования ОА коленного сустава у населения европейской части России, в GWAS исследовании имеет рискованное значение для развития ОА коленного и/или тазобедренного сустава у европейцев (ОШ = 1,06; $p = 6 \times 10^{-11}$) [19]. Стоит отметить, что в каталоге GWAS представлены исследования, демонстрирующие на полногеномном уровне связь rs2820443 гена *LYPLAL1* с патогенетически значимыми для ОА коленного сустава признаками (распределение абдоминального жира, окружность бедра). Согласно данным GWAS, аллель C rs2820436 связан с более высоким коэффициентом распределения абдоминальной жировой ткани в организме ($\beta = 0,025$; $p = 8 \times 10^{-20}$ для европейцев) [29] и большей окружностью бедра с поправкой на ИМТ ($\beta = 0,060$; $p = 3 \times 10^{-83}$ для европейской популяции) [30].

Выявленные в рамках нашего исследования ассоциации rs2820443 гена *LYPLAL1* с прогрессированием ОА коленного сустава могут быть обусловлены выраженными регуляторными эффектами данного SNP согласно онлайн-ресурсам *haploReg* (v.4.1) и *GTEx Portal*. Полиморфный локус rs2820443, находящийся на расстоянии 22kb от 3' конца гена *RP11-95P13.2*, расположен в эволюционно консервативном регионе, в регионе гистонов, маркирующих промоторы в жировой ткани и энхансеры в остеобластах, мышечной ткани, фибробластах, в области гиперчувствительности к ДНКазе-1, регионе связывания с двумя регуляторными белками (*STAT3*, *FOXA1*) и регионе 8 регуляторных мотивов ДНК. Минорный аллель C rs2820443, который, согласно нашим данным, в составе гаплотипа AC гапблока rs2820436-rs2820443 является фактором риска прогрессирования заболевания, повышает аффинность к трансформационному фактору DBP (различия между LOD scores аллелей C(alt) и T(ref) составляют 11,8) и понижает аффинность к 7 транскрипционным факторам (различия между LOD scores аллелей C(alt) и T(ref) = -4...-12). Данный аллельный вариант связан с низкой экспрессией гена *RIMKLBP2* в жировой ткани ($\beta = -0,17$; $p = 3,6 \times 10^{-05}$) и низким уровнем альтернативного сплайсинга транскрипта гена *RP11-392O17.1* в жировой ткани ($\beta = -0,47$; $p = 2,1 \times 10^{-11}$).

Нами установлена связь генотипа A/G rs3771501 гена *TGFA* с прогрессированием ОА коленного сустава (ОШ = 0,67). Ассоциация аллеля G rs3771501 гена *TGFA* с ОА на GWAS уровне впервые была установлена E. Zengini с соавторами в европейской популяции [18]. Авторами показано, что данный аллельный вариант rs3771501 является протективным фактором развития ОА (ОШ = 0,94; $p = 1,66 \times 10^{-08}$). В GWAS исследовании C.G. Воег с соавторами установлена связь rs3771501 гена *TGFA* с ОА сус-

тавов руки у европейцев ($p < 5,8 \times 10^{-4}$) [31]. Еще в двух GWAS исследованиях выявлены ассоциации аллельного варианта A rs3771501 гена *TGFA* с ОА в европейской популяции (ОШ = 1,05; $p = 4,27 \times 10^{-16}$) [19] и на смешанных выборках европейцев, азиатов, американцев европейского происхождения (ОШ = 1,04; $p = 4,05 \times 10^{-15}$) [20].

По данным базы генетической информации *GeneCards*, ген *TGFA* кодирует фактор роста, являющегося лигандом для рецептора эпидермального фактора роста, который активирует сигнальный путь для пролиферации, дифференцировки и развития клеток [32]. Известно, что *TGFA* подавляет анаболические и способствует катаболическим процессам в суставном хряще. *TGFA* является мощным стимулятором дегенерации хряща за счет активации сигнальных путей Rho/ROCK и MEK/ERK [33]. С.Т. Appleton с соавторами установили, что ингибирование сигнального пути *TGFA-CCL2* снижает риск прогрессирования экспериментального посттравматического ОА *in vivo* [34].

Полиморфный маркер rs3771501 гена *TGFA* обладает выраженными регуляторными эффектами: локализован в функционально активном регионе генома, в области ДНК, связанной с гистоновыми белками (*H3K4me1*), маркирующими неактивные энхансеры в клетках хондроцитов, гиппокампе, черной субстанции, височной доле мозга, коре. С помощью онлайн-ресурса *GTEx Portal* выявлено, что аллель G rs3771501 ассоциирован с повышенной экспрессией гена *TGFA* в большеберцовых нервах ($\beta = 0,09$; $p = 1,6 \times 10^{-04}$), в различных отделах головного мозга ($\beta = 0,21-0,31$; $p < 3,1 \times 10^{-06}$).

Таким образом, молекулярно-генетические маркеры rs2820436 и rs2820443 гена *LYPLAL1*, rs3771501 гена *TGFA* связаны как с риском развития ОА, по данным ранее проведенных полногеномных исследований, так и, согласно нашим данным, ассоциированы с прогрессированием ОА коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего исследования установлена связь полиморфных маркеров rs2820436 и rs2820443 гена *LYPLAL1*, rs3771501 *TGFA* с прогрессированием ОА коленного сустава у населения Центрального Черноземья России. Аллельный вариант A и генотип A/A rs2820436 гена *LYPLAL1* (ОШ = 1,48-2,53), гаплотип AC гапблока rs2820436-rs2820443 (ОШ = 1,83) являются факторами риска прогрессирования заболевания. Генотипы C/C rs2820436 гена *LYPLAL1* (ОШ = 0,67) и A/G rs3771501 гена *TGFA* (ОШ = 0,67) имеют протективное значение в прогрессировании ОА коленного сустава.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**Заявленный вклад авторов**

Новаков В.Б. — обзор публикаций по теме статьи, редактирование.

Новакова О.Н. — сбор и обработка материала, обзор публикаций по теме статьи и написание текста рукописи, этапное и заключительное редактирование рукописи.

Чурносков М.И. — разработка дизайна исследования, статистическая обработка полученного материала, анализ полученных результатов.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при Медицинском институте ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, протокол № 2 (7) от 02.02.2016 г.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию медицинских данных.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Reynard L.N., Barter M.J. Osteoarthritis year in review 2019: genetics, genomics and epigenetics. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020;28(3):275-284. doi: 10.1016/j.joca.2019.11.010.
- Katz J.N., Arant K.R., Loeser R.F. Diagnosis and Treatment of Hip and Knee Osteoarthritis: A Review. *JAMA*. 2021;325(6):568-578. doi: 10.1001/jama.2020.22171.
- Алексеева Л.И., Таскина Е.А., Кашеварова Н.Г. Остеоартрит: эпидемиология, классификация, факторы риска и прогрессирования, клиника, диагностика, лечение. *Современная ревматология*. 2019;13(2): 9-21. doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-9-21. Alekseeva L.I., Taskina E.A., Kashevarova N.G. [Osteoarthritis: epidemiology, classification, risk factors and progression, clinic, diagnosis, treatment]. *Sovremennaya revmatologiya* [Modern Rheumatology]. 2019;13(2):9-21. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-9-21.
- Паникар В.И., Щербань Э.А., Павлова И.А. Комплексная гериатрическая оценка остеоартроза коленных суставов в старческом возрасте. *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2019;5(1):131-139. doi: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-10. Panikar V.I., Shcherban E.A., Pavlova I.A. [Complex geriatric assessment of osteoarthrosis of knee joints in the senior age]. *Nauchnye rezultaty biomeditsinskikh issledovaniy* [Research Results in Biomedicine]. 2019;5(1):131-139. (In Russian). doi: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-10.

DISCLAIMERS**Author contribution**

Novakov V.B. — literature review, text editing.

Novakova O.N. — collection and processing of data and writing the text.

Churnosov M.I. — study design, statistical processing of the obtained data, analysis of the results.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee at the Medical Institute of the Belgorod State National Research University, protocol No. 2 (7), 02.02.2016.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish medical data.

- Галушко Е.А., Насонов Е.Л. Распространенность ревматических заболеваний в России. *Альманах клинической медицины*. 2018;46(1):32-39. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39. Galushko E.A., Nasonov E.L. [Prevalence of rheumatic diseases in Russia]. *Al'manakh klinicheskoi meditsiny* [Almanac of Clinical Medicine]. 2018;46(1):32-39. (In Russian). doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39.
- Кавалерский Г., Сметанин С., Лычагин А., Мойсов А. Факторы риска развития остеоартроза коленного сустава. *Врач*. 2017;(3):22-24. Kavalersky G., Smetanin S., Lychagin A., Moysov A. [Risk factors for knee osteoarthritis]. *Vrach* [Doctor]. 2017;(3):22-24. (In Russian).
- Кашеварова Н.Г., Алексеева Л.И. Факторы риска прогрессирования остеоартроза коленных суставов. *Научно-практическая ревматология*. 2014;52(5):553-561. doi: 10.14412/1995-4484-2014-553-561. Kashevarova N.G., Alekseeva L.I. [Risk factors of the knee osteoarthritis progression]. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya* [Rheumatology Science and Practice]. 2014;52(5):553-561. (In Russian). doi: 10.14412/1995-4484-2014-553-561.
- Primorac D., Molnar V., Rod E., Jeleč Ž., Čukelj F., Matišić V. et al. Knee Osteoarthritis: A Review of Pathogenesis and State-Of-The-Art Non-Operative Therapeutic Considerations. *Genes (Basel)*. 2020;11(8):854. doi: 10.3390/genes11080854.

9. Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносоев М.И. Факторы риска и молекулярные основы этиопатогенеза остеоартроза коленного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2021;27(1):112-120. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-112-120. Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I. [Risk factors and molecular entities of the etiopathogenesis of the knee osteoarthritis (literature review)]. *Genij Orthopedii* [Orthopaedic Genius]. 2021;27(1):112-120. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-112-120.
10. Valdes A.M., Hart D.J., Jones K.A., Surdulescu G., Swarbrick P., Doyle D.V. et al. Association study of candidate genes for the prevalence and progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2004;50(8):2497-2507. doi: 10.1002/art.20443.
11. Abd Elazeem M.I., Abdelazeem E.A., Mohamed R.A. Genetic influence of growth and differentiation factor 5 gene polymorphism (+104T/C) on the development of knee osteoarthritis and its association with disease severity. *Eur J Rheumatol*. 2017;4(2):98-103. doi: 10.5152/eurjrheum.2017.160093.
12. Gok K., Cemeroglu O., Cakirbay H., Gunduz E., Acar M., Cetin E.N. et al. Relationship between cytosine-adenine repeat polymorphism of ADAMTS9 gene and clinical and radiologic severity of knee osteoarthritis. *Int J Rheum Dis*. 2018;21(4):821-827. doi: 10.1111/1756-185X.12849.
13. Wu X., Kondragunta V., Kornman K.S., Wang H.Y., Duff G.W., Renner J.B. et al. IL-1 receptor antagonist gene as a predictive biomarker of progression of knee osteoarthritis in a population cohort. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(7):930-938. doi: 10.1016/j.joca.2013.04.003.
14. Chen R., Zhang Y., Xu H., Hu H., Chen M., Shuai Z. Val109Asp Polymorphism of the Omentin-1 Gene and Incidence of Knee Osteoarthritis in a Chinese Han Population: A Correlation Analysis. *Drug Des Devel Ther*. 2021;15:5075-5086. doi: 10.2147/DDDT.S340410.
15. Алексеева Л.И. Обновление клинических рекомендаций по лечению больных остеоартритом 2019 года. *Русский медицинский журнал*. 2019;4:2-6. Alekseeva L.I. [Update of clinical guidelines for the treatment of patients with osteoarthritis 2019]. *Russkiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal]. 2019;4: 2-6. (In Russian)
16. ArcOGEN Consortium; arcOGEN Collaborators, Zeggini E., Panoutsopoulou K., Southam L., Rayner N.W. et al. Identification of new susceptibility loci for osteoarthritis (arcOGEN): a genome-wide association study. *Lancet*. 2012;380(9844):815-823. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60681-3.
17. Styrkarsdottir U., Lund S.H., Thorleifsson G., Zink F., Stefansson O.A., Sigurdsson J.K. et al. Meta-analysis of Icelandic and UK data sets identifies missense variants in SMO, IL11, COL11A1 and 13 more new loci associated with osteoarthritis. *Nat Genet*. 2018;50(12):1681-1687. doi: 10.1038/s41588-018-0247-0.
18. Zengini E., Hatzikotoulas K., Tachmazidou I., Steinberg J., Hartwig F.P., Southam L. et al. Genome-wide analyses using UK Biobank data provide insights into the genetic architecture of osteoarthritis. *Nat Genet*. 2018;50(4):549-558. doi: 10.1038/s41588-018-0079-y.
19. Tachmazidou I., Hatzikotoulas K., Southam L., Esparza-Gordillo J., Haberland V., Zheng J. et al. Identification of new therapeutic targets for osteoarthritis through genome-wide analyses of UK Biobank data. *Nat Genet*. 2019;51(2):230-236. doi: 10.1038/s41588-018-0327-1.
20. Boer C.G., Hatzikotoulas K., Southam L., Stefánsdóttir L., Zhang Y., Coutinho de Almeida R. et al. Deciphering osteoarthritis genetics across 826,690 individuals from 9 populations. *Cell*. 2021;184(18):4784-4818.e17. doi: 10.1016/j.cell.2021.07.038.
21. Полоников А.В., Клёсова Е.Ю., Азарова Ю.Э. Биоинформатические инструменты и интернет-ресурсы для оценки регуляторного потенциала полиморфных локусов, установленных полногеномными ассоциативными исследованиями мультифакториальных заболеваний (обзор). *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2021;7(1): 15-31. doi: 10.18413/2658-6533-2020-7-1-0-2. Polonikov A.V., Klyosova E.Yu., Azarova I.E. [Bioinformatic tools and internet resources for functional annotation of polymorphic loci detected by genome wide association studies of multifactorial diseases (review)]. *Nauchnye rezul'taty biomeditsinskikh issledovaniy* [Research Results in Biomedicine]. 2021;7(1):15-31. (In Russian). doi: 10.18413/2658-6533-2020-7-1-0-2.
22. Gabriel S.B., Schaffner S.F., Nguyen H., Moore J.M., Roy J., Blumenstiel B. et al. The structure of haplotype blocks in the human genome. *Science*. 2002;296(5576): 2225-2229. doi: 10.1126/science.1069424.
23. Che R., Jack J.R., Motsinger-Reif A.A., Brown C.C. An adaptive permutation approach for genome-wide association study: evaluation and recommendations for use. *BioData Min*. 2014;7:9. doi: 10.1186/1756-0381-7-9.
24. Gong J., Nishimura K.K., Fernandez-Rhodes L., Haessler J., Bien S., Graff M. et al. Trans-ethnic analysis of metabochip data identifies two new loci associated with BMI. *Int J Obes (Lond)*. 2018;42(3):384-390. doi: 10.1038/ijo.2017.304.
25. Kulkarni K., Karssiens T., Kumar V., Pandit H. Obesity and osteoarthritis. *Maturitas*. 2016;89:22-28. doi: 10.1016/j.maturitas.2016.04.006.
26. Belluzzi E., El Hadi H., Granzotto M., Rossato M., Ramonda R., Macchi V. et al. Systemic and Local Adipose Tissue in Knee Osteoarthritis. *J Cell Physiol*. 2017;232(8):1971-1978. doi: 10.1002/jcp.25716.
27. Fernández-Rhodes L., Gong J., Haessler J., Franceschini N., Graff M., Nishimura K.K. et al. Trans-ethnic fine-mapping of genetic loci for body mass index in the diverse ancestral populations of the Population Architecture using Genomics and Epidemiology (PAGE) Study reveals evidence for multiple signals at established loci. *Hum Genet*. 2017;136(6):771-800. doi: 10.1007/s00439-017-1787-6.
28. Lundbäck V., Kulyte A., Strawbridge R.J., Ryden M., Arner P., Marcus C. et al. FAM13A and POM121C are candidate genes for fasting insulin: functional follow-up analysis of a genome-wide association study. *Diabetologia*. 2018;61(5):1112-1123. doi: 10.1007/s00125-018-4572-8.
29. Rask-Andersen M., Karlsson T., Ek W.E., Johansson Å. Genome-wide association study of body fat distribution identifies adiposity loci and sex-specific genetic effects. *Nat Commun*. 2019;10(1):339. doi: 10.1038/s41467-018-08000-4.
30. Christakoudi S., Evangelou E., Riboli E., Tsilidis K.K. GWAS of allometric body-shape indices in UK Biobank identifies loci suggesting associations with morphogenesis, organogenesis, adrenal cell renewal and cancer. *Sci Rep*. 2021;11(1):10688. doi: 10.1038/s41598-021-89176-6.

31. Boer C.G., Yau M.S., Rice S.J., Coutinho de Almeida R., Cheung K., Styrkarsdottir U. et al. Genome-wide association of phenotypes based on clustering patterns of hand osteoarthritis identify WNT9A as novel osteoarthritis gene. *Ann Rheum Dis.* 2021;80(3):367-375. doi: 10.1136/annrheumdis-2020-217834.
32. Stelzer G., Rosen N., Plaschkes I., Zimmerman S., Twik M., Fishilevich S. et al. The GeneCards Suite: From Gene Data Mining to Disease Genome Sequence Analyses. *Curr Protoc Bioinformatics.* 2016;54:1.30.1-1.30.33. doi: 10.1002/cpbi.5.
33. Appleton C.T., Usmani S.E., Mort J.S., Beier F. Rho/ROCK and MEK/ERK activation by transforming growth factor- α induces articular cartilage degradation. *Lab Invest.* 2010;90(1):20-30. doi: 10.1038/labinvest.2009.111.
34. Appleton C.T., Usmani S.E., Pest M.A., Pitelka V., Mort J.S., Beier F. Reduction in disease progression by inhibition of transforming growth factor α -CCL2 signaling in experimental posttraumatic osteoarthritis. *Arthritis Rheumatol.* 2015;67(10):2691-2701. doi: 10.1002/art.39255.

Сведения об авторах

✉ *Новакова Ольга Николаевна* — канд. биол. наук
Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
<https://orcid.org/0000-0003-2700-1284>
e-mail: litovkina@bsu.edu.ru

Новаков Виталий Борисович
<https://orcid.org/0000-0001-5337-2156>
e-mail: v.novakov@bk.ru

Чурносов Михаил Иванович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0003-1254-6134>
e-mail: churnosov@bsu.edu.ru

Authors' information

✉ *Olga N. Novakova* — Cand. Sci. (Biol.)
Address: 85, ul. Pobedy, Belgorod, 308015, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-2700-1284>
e-mail: litovkina@bsu.edu.ru

Vitaly B. Novakov
<https://orcid.org/0000-0001-5337-2156>
e-mail: v.novakov@bk.ru

Mikhail I. Churnosov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-1254-6134>
e-mail: churnosov@bsu.edu.ru



Results of Arthroscopic Treatment for Femoroacetabular Impingement

Oleg E. Bogopolskiy¹, Pavel A. Trachuk¹, Denis V. Spetsialnyi¹,
Andrei P. Sereda^{1,2}, Rashid M. Tikhilov¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Background. Femoroacetabular impingement (FAI) is one of the most frequent causes of hip pain and limited hip mobility in young and middle-aged patients. It is a result of repeated injury of hip structures, that leads to degenerative changes in hip labrum, cartilage and subchondral bone and provokes progressive development of hip osteoarthritis.

Aim of study — to analyze own experience of treating patients with femoroacetabular impingement and identify factors affecting its outcomes.

Methods. Retrospective, uncontrolled, single-center clinical study included 128 patients with FAI which had 150 surgeries on 149 joints in the period from 2013 to 2021. All patients underwent physical examination and X-ray diagnostics, their FAI type was identified. The alpha angle of external part of femoral head in anterior-posterior position and in the modified Dunn 45° position, as well as Tonnis angle, lateral central-marginal angle in Ogata modification and the height of articular gap along the lateral (LS) and medial edges (MS) of sclerosed acetabulum part were calculated. The i-HOT-33 and HOS scales were used to assess preoperative status and postoperative results.

Results. The average follow-up period was 3.9 years (SD 1.71; min 1.05 and max 8.16). The study included 55 (43.0%) women and 73 (57.0%) men which underwent 64 (42.7%) and 86 (57.3%) surgeries respectively. The most common types of FAI, according to our data, were mixed type (53% of joints) and cam type (27.5% of joints). Insufficient coverage of the femoral head by the acetabulum (borderline dysplasia) in combination with the cam deformity of the femoral head was observed in 18.1%. Pincer-type FAI was observed in 1.4% of joints. We obtained the worst results with a combination of cam deformity and borderline dysplasia in comparison with cam- and mix-type FAI according to the i-HOT-33 and HOS scales. Patients' age, deep cartilage damage, irreparable labrum damage and height decrease of the lateral part of the articular gap determined negative effect on treatment results according to the i-HOT-33 and HOS scales.

Conclusion. Hip arthroscopy showed good short- and midterm outcomes in patients with FAI. Pain syndrome is most often manifested in patients with pathology of hip soft tissue structures concomitant to FAI. The combination of cam deformity and insufficient femoral head coverage, deep cartilage damage and a height decrease of the articular gap are important predictors of poor treatment results.

Keywords: arthroscopy, femoroacetabular impingement, pincer deformity, cam deformity, hip dysplasia, retroversion.

Cite as: Bogopolskiy O.E., Trachuk P.A., Spetsialnyi D.V., Sereda A.P., Tikhilov R.M. [Results of Arthroscopic Treatment for Femoroacetabular Impingement]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):54-65. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1980>.

✉ Oleg E. Bogopolskiy; e-mail: 9202211@gmail.com

Submitted: 05.08.2022. Accepted: 29.11.2022. Published: 16.12.2022.

© Bogopolskiy O.E., Trachuk P.A., Spetsialnyi D.V., Sereda A.P., Tikhilov R.M., 2022



Результаты артроскопического лечения фемороацетабулярного импинджмента

О.Е. Богопольский¹, П.А. Трачук¹, Д.В. Специальный¹, А.П. Серeda^{1,2}, Р.М. Тихилов¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия

Актуальность. Фемороацетабулярный импинджмент (ФАИ) является одной из наиболее частых причин болевого синдрома и ограничения подвижности в тазобедренном суставе (ТБС) у лиц молодого и среднего возраста в результате повторяющейся травматизации структур сустава, приводящих к дегенеративным изменениям суставной губы, хряща, субхондральной кости и ведущих к прогрессирующему развитию остеоартроза ТБС.

Цель исследования — на основании анализа собственного опыта лечения пациентов с ФАИ выявить факторы, оказывающие влияние на его результат.

Материалы и методы. Выполнено ретроспективное неконтролируемое одноцентровое клиническое исследование. В него вошли 128 пациентов (149 суставов) с ФАИ, которым было выполнено 150 операций в период с 2013 по 2021 г. Из них было 55 (43,0%) женщины и 73 (57,0%) мужчины. Средний период наблюдения составил 3,9 лет (SD 1,71; min 1,05; max 8,16). Всем пациентам проведено физикальное обследование и лучевая диагностика с определением типа ФАИ, выполнен расчет угла α головки бедренной кости в прямой проекции и модифицированной укладке Dunn 45°, угла Tönnis, латерального центрально-краевого угла в модификации Ogata, высоты суставной щели по латеральному (LS) и медиальному краям (MS) склерозированной части вертлужной впадины. Для оценки предоперационного статуса и послеоперационных результатов использованы шкалы i-NOT-33 и NOS.

Результаты. Наиболее часто встречались смешанный тип (53% суставов) ФАИ и sam-тип (27,5%) ФАИ. Недостаточное покрытие вертлужной впадины головки бедренной кости (пограничная дисплазия) в сочетании с sam-деформацией головки бедренной кости выявлено в 18,1% суставов. Pincer-тип ФАИ определен в 1,4% суставов. При сравнении результатов лечения по шкалам i-NOT-33 и NOS нами получены наихудшие результаты при сочетании sam-деформации и пограничной дисплазии в сравнении с sam-типом и mix-типом ФАИ. Также выявлено отрицательное влияние на исход лечения более старшего возраста пациента, глубокого повреждения хряща, невосполнимых повреждений суставной губы и снижения высоты латерального отдела суставной щели.

Заключение. Артроскопия тазобедренного сустава показывает хорошие кратко- и среднесрочные результаты при лечении пациентов с ФАИ. Болевой синдром чаще всего проявляется при сопутствующей ФАИ патологии мягкотканых структур тазобедренного сустава. Сочетание sam-деформации и недостаточного покрытия головки бедренной кости вертлужной впадиной, глубокие повреждения хряща, невосполнимые повреждения суставной губы и снижение высоты суставной щели являются важными предикторами неудовлетворительных исходов лечения.

Ключевые слова: артроскопия, фемороацетабулярный импинджмент, pincer-деформация, sam-деформация, дисплазия, ретроверсия.

Богопольский О.Е., Трачук П.А., Специальный Д.В., Серeda А.П., Тихилов Р.М. Результаты артроскопического лечения фемороацетабулярного импинджмента. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):54-65. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1980>.

✉ Богопольский Олег Евгеньевич; e-mail: 9202211@gmail.com

Рукопись получена: 05.08.2022. Рукопись одобрена: 29.11.2022. Статья опубликована: 16.12.2022.

© Богопольский О.Е., Трачук П.А., Специальный Д.В., Серeda А.П., Тихилов Р.М., 2022

BACKGROUND

Femoroacetabular impingement (FAI) is a pathological process characterized by chronic mechanical damage of articular labrum, cartilage and acetabular rim by femoral head or neck because of their abnormal morphology, accompanied by the pain syndrome and quite often by the limited range of motions in the hip joint [1, 2, 3]. FAI is one of the most frequent causes of joint pain and limited hip mobility in young and middle-aged patients, but still there are no reliable epidemiological data. Repeated injuries of hip joint structures lead to degenerative changes in labrum, cartilage and subchondral bone that provokes progression of hip osteoarthritis [4, 5, 6].

The most popular FAI classification includes three main FAI types: cam-type, pincer-type and mix-type.

Cam-type supposes femoral head and neck deformity with normal acetabulum. Head deformity is most often located in its anterosuperior and external parts, however, dysmorphology of its spherical shape may be located in other parts as well [7].

Pincer-type is characterized by acetabular dysmorphology and can be represented by local or total deformity. Total deformity includes deep acetabulum and acetabular protrusion. Local deformity implies acetabulum retroversion or prominent anterior margin of acetabulum [1].

Mix-type is a combination of cam- and pincer-types.

Different FAI types have various impacts on development of secondary osteoarthritis of the hip joint. It is considered that the cam-type is the most significant osteoarthritis predictor, and its negative effect increases with the α angle increase [3].

FAI surgical treatment is focused on restoration of congruence of articular surfaces and elimination of pathologic changes in articular labrum and cartilage [3, 8]. Arthroscopy is a modern method of FAI surgical treatment.

Aim of study – to analyze our experience of treating patients with femoroacetabular impingement and to identify the factors affecting its outcomes.

METHODS

Study design

Study design: clinical retrospective uncontrolled single-center study.

The study includes patients who underwent hip arthroscopy from June 2013 to January 2021 concerning clinically and radiologically confirmed FAI.

Exclusion criteria:

- prior hip surgeries;
- femoral head chondromatosis and osteonecrosis;
- prior Legg-Calve-Perthes disease;
- impossibility to evaluate results within 12 months minimum.

Exclusion and inclusion criteria been applied, the study enrolled 128 patients (149 joints) who underwent 150 surgeries. One patient (woman) had revision arthroscopy 5.6 months after the primary surgery due to an incorrect choice of cam-deformity resection area. Among 128 patients were 55 (43%) women and 73 (57%) men. Average follow-up period was 3.9 years (SD 1.71; min 1.05; max 8.16), minimum period was 1 year.

Examination of patients

All patients were physically examined, their range of motions in the hip joint was evaluated using diagnostic tests, such as flexion-adduction - internal rotation (FADIR) test, flexion-abduction - external rotation (FABER) test and Thomas test. Age, sex and duration of symptoms' manifestation were also taken into account in our study.

Plain pelvis X-ray in the upright position as well as in the modified Dunn 45° position with external 40° rotation of the femur were performed to all patients before the surgery. Using X-rays, we identified their FAI types and calculated the α angle of external and anterosuperior parts of the femoral head, as well as the Tönnis angle, the lateral central-marginal angle in Ogata modification (LCEA-0) and the height of articular gap along the lateral (LS) and medial edges (MS) of sclerosed part of acetabulum. Methods of calculation based on X-rays are specified in details in our previous publication [9]. All patients had hip MRI before the surgery.

Operative technique

Hip arthroscopy was performed by one surgeon via standard approaches. Surgery tactics and extent depended on morphologic changes in the joint.

The first stage consisted of arthroscopic correction of intraarticular damages without joint

distraction. Modelling resection of femoral head and neck deformity was performed. The state of articular labrum, acetabulum and femoral neck cartilage was evaluated after joint distraction. In case of full-thickness labrum damage the latter was sutured with the use of anchors (Fig. 1).

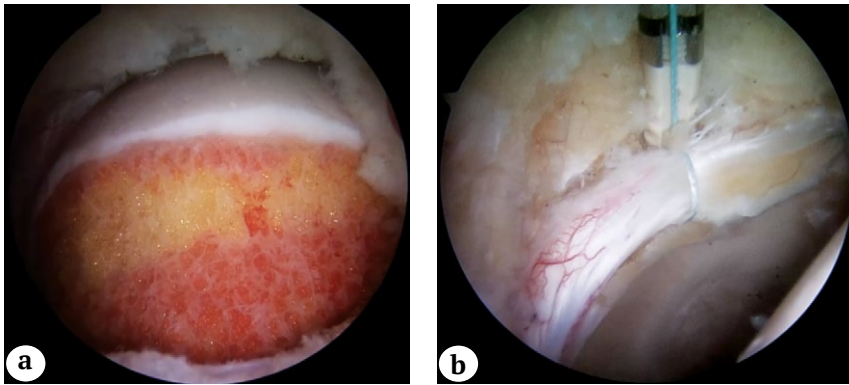


Fig. 1. The main stages of correction of intraarticular damages:
a – modeling resection of cam-deformity;
b – articular labrum refixation

In case of superficial damages of articulating surface, the affected parts of the labrum were resected by shaver preserving its integrity. Full-thickness ossification of specific labrum segments was removed within normal tissues without defect restoration. Identified unstable parts of the cartilage were resected. In some cases, full-thickness cartilage defects of the acetabulum were replaced by the chondral matrix implanted into the cartilage defect area with no additional fixation after the subchondral bone debridement and microfracturing.

Localization of femoral head and neck deformity as well as damage type and extent of articular labrum and cartilage were evaluated during the surgery. Cartilage damage of femoral head was assessed according to the Outerbridge classification, that of acetabulum – according to the Beck et al. classification [11].

Postoperative follow-up

Patients were activated during the first 24 hours after the surgery. In the postoperative follow-up period, they were recommended to use crutches with 15% body weight bearing on the operated leg for 3 weeks (5 weeks in patients with damaged acetabulum cartilage replaced by chondral matrix) and to start full weight bearing in 2 more weeks.

Assessment of results

To evaluate the preoperative status, we used the International Hip Outcome Tool-33 (i-HOT-33)

and the Hip Outcome Score (HOS) scales completed by patients before the surgery. In the postoperative period all patients continued to complete the questionnaires remotely in Google forms every year, starting with the first one after the surgery. Data obtained during the last survey were used for our analysis. Results vary from 0 to 100 with the highest scores being the best.

Statistical analysis

Analysis of correspondence of frequency data distribution in each of compared groups to normal distribution was performed before comparing variables. No statistically significant difference between variances of compared groups was identified (homogeneity of variances), that made it possible to compare variables using Student's t-test. T-test for independent variables was used to compare variables of both groups, while t-test for dependent variables was used to compare scores before and after the surgery. Pearson's correlation coefficient (Pearson's r) was applied to describe the correlation between radiologic angles and range of motions. Values of variables were presented as mean value, standard deviation (SD), minimum value (min) and maximum value (max). Statistical significance level (p -level) in our study was set as 0.05. Data base was presented in Excel tables, statistical analysis was performed in Statistica 12 software (StatSoft) X86 for Windows.

RESULTS

Age, body mass index (BMI), duration of symptoms' manifestation before surgery, performed X-ray measurements and results of i-HOT-33 and HOS questionnaires are shown in the Table 1.

Correlation between hip flexion angle, internal rotation of femur with 90° hip flexion and sphericity angles of femoral head in anteroposterior view and

in the modified Dunn 45° setup is identified (Tab. 2). No statistically significant difference between other variables was discovered. Table data show that in general there is an inverse correlation between the α angle and the range of motions in the hip joint.

Examining 149 X-rays of the hip joint and evaluating deformity of femoral head/neck and acetabulum, we separated out 4 types of deformities (Tab. 3).

Table 1

Preoperative characteristics of patients, M±SD

Parameter	Women (63 joints)	Men (86 joints)	p
Age, y.o.	34.83±10.64	32.48±8.68	0.11
BMI, kg/m ²	22.11±3.58	24.63±2.44	<0.01
Duration of symptoms' manifestation, month	29.56±29.47	39.49±34.86	0.09
LCEA-O, deg.	26.57±6.75	28.31±5.66	0.09
Tönnis angle, deg.	5.03±6.16	4.26±5.36	0.42
A-p α angle, deg.	51.50±19.32	66.40±19.69	<0.01
Dunn α angle, deg.	60.02±15.47	65.12±14.95	0.04
Flexion, deg.	118.52±15.42	113.20±16.25	0.045
Internal rotation with 90° hip flexion	21.95±11.01	13.90±10.83	<0.01
External rotation, deg.	38.20±7.09	37.73±7.54	0.70
Height of articular gap along the lateral part of acetabulum, mm	4.59±0.86	4.86±0.93	0.07
Height of articular gap along the medial part of acetabulum, mm	4.20±0.97	4.37±0.86	0.29
i-HOT-symptoms	57.90±21.82	61.34±20.64	0.33
i-HOT-sport	40.91±22.32	43.28±25.47	0.55
i-HOT-work	40.00±20.70	41.28±22.17	0.72
i-HOT-emotions	44.52±21.60	50.97±22.83	0.08
HOS-ADL	71.37±19.60	74.31±17.95	0.34
HOS-sport	48.09±28.43	55.04±24.91	0.11

Table 2

Correlation between flexion angle, internal rotation of the femur and α angle values in the group in general and in accordance with the patients' sex

View	α angle					
	A-p	Dunn 45°	A-p (W)	Dunn 45° (W)	A-p (M)	Dunn 45° (M)
FL	-0.2449 p = 0.003	-0.2107 p = 0.010	-0.2580 p = 0.040	-0.1511 p = 0.233	-0.1639 p = 0.131	-0.2164 p = 0.045
IR90	-0.2398 p = 0.003	-0.2712 p = 0.001	-0.2795 p = 0.025	-0.1922 p = 0.128	-0.0256 p = 0.815	-0.2620 p = 0.015

FL — flexion angle in the hip joint; IR90 — 90° flexion in the hip joint; a-p — pelvis X-rays in the anteroposterior view; Dunn 45° — X-rays in the modified Dunn 45° position; M — men; W — women.

Table 3

Types of hip deformities

Deformity	Number of joints		
	Total (n = 149)	Women (n = 63)	Men (n = 86)
Cam	41 (27.5%)	20 (31.7%)	21 (24.4%)
Pincer	2 (1.4%)	2 (3.2%)	0
Cam + pincer (mix)	79 (53%)	27 (42.9%)	52 (60.5%)
Cam + borderline dysplasia	27 (18.1%)	14 (22.2%)	13 (15.1%)

Mean surgery duration was 177.83 minutes (SD 40.63; min 110, max 295) in women and 193.6 minutes (SD 45.88; min 105, max 310; $p = 0,03$) in men.

Characteristics of identified acetabular labrum damages, performed procedures as well as cartilage lesions are shown in the Table 4. Most often, articular labrum damage and acetabular cartilage lesion were localized in anterosuperior region (Fig. 2).

In 20.8% (5 surgeries) of 24 surgeries, where flap damage and acetabular cartilage desquamation (Beck grade 4 and 5) were revealed, the affected cartilage was replaced with chondral ma-

trix. In this cohort of patients, the resection of unstable parts of the cartilage and the curettage of subchondral bone in the area of the cartilage defect were performed in 10 (41.7%) surgeries, while the resection of unstable cartilage parts and microfracturing were carried out in 8 (33.3%) surgeries. In one (4.2%) case the patient with cartilage lesion and acetabular cyst underwent cyst grafting with allogeneous bone and defect covering with chondral matrix. In other patients with surface cartilage damage and insignificant marginal deep lesions, smoothing of damaged areas using shaver and arthroscopic electrocoagulator was performed.

Table 4

Intraoperatively identified damages of acetabular labrum, acetabulum cartilage and femoral head

Parameter	Number of joints (%)
Damage of acetabular labrum	136 (91.3)
– fixation of damaged parts of acetabular labrum	108 (72.5)
– resection of damaged parts of acetabular labrum	16 (10.7)
– resection of surface damages of acetabular labrum	12 (8.1)
Damage of acetabulum cartilage	97 (65.1)
– surface damage (Beck grade 1)	31 (20.8)
– deep cartilage damage (Beck grades 2 and 3)	42 (28.2)
– flap damage and cartilage desquamation (Beck grades 4 and 5)	24 (16.1)
Damage of femoral head cartilage	31 (20.8)
– surface damage (Outerbridge grades 1 and 2)	22 (14.8)
– deep damage (Outerbridge grades 4 and 5)	9 (6.0)

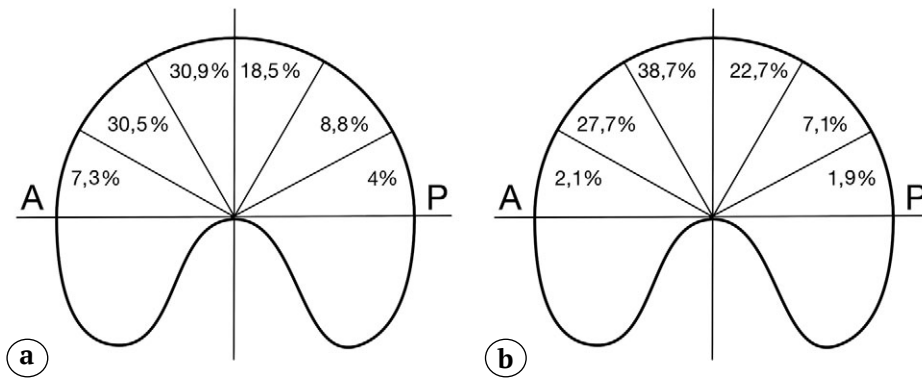


Fig. 2. Localization and damage frequency of labrum (a) and articular cartilage (b)

Damages of femoral head cartilage were identified in 31 (20.8%) patients (Fig. 3). These patients underwent resection of unstable fragments, smoothing of affected areas using shaver and arthroscopic electrocoagulator.

M. psoas tenotomy concerning psoas-impingement was performed during 20 (13.4%) surgeries in 17 (13.3%) patients. Through 2013 to 2016 the capsule was not sutured in 17 (11.3%) surgeries.

No cases of postoperative infection were noted. Partial impairment of sensation of external cutaneous nerve was observed in 20 (13.4%) cas-

es. It resolved spontaneously in 17 (85%) cases in 17 weeks (SD 26.23; min 1; max 104), and did not show signs of recovery in 3 (15%) cases. Eleven (7.3%) patients complained about impaired sensation in genital area, that resolved spontaneously in 4.18 weeks (SD 2.09; min 1; max 8). Heterotopic ossification of deep layers of capsule (Brooker grade 1 [12]) was discovered in 3 patients (2% of operated joints). However, these findings cannot be considered accurate as the majority of patients have not presented control pelvis X-ray 1 year after the surgery.

Eight patients (8 (5.3%) joints) underwent hip arthroplasty in average in 40.2 months (SD 25.3; min 8.4; max 74.4).

Comparison of patients' responses in the i-Hot-33 and HOS questionnaires, who did not need arthroplasty, before surgery and at the time of our study shows improvement of the hip joint state after surgical treatment (Tab. 5). No statistically significant differences between treatment results of men and women were discovered.

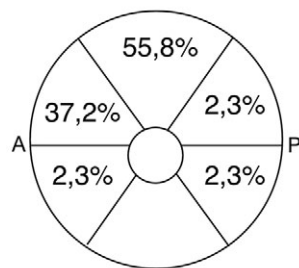


Fig. 3. Localization and frequency of femoral head cartilage damage

Table 5

Evaluation of patients' state according to the i-HOT 33 and HOS scales who underwent hip arthroscopy concerning FAI and did not need arthroplasty (n = 120), M±SD

Scale	Before surgery	After surgery
HOS-sport	53.70±26.06	80.95±22.19
HOS-ADL	73.58±18.90	92.27±12.46
i-HOT-emotions	49.15±22.53	83.77±20.60
i-HOT-work	41.73±21.63	65.67±19.48
i-HOT-sport	43.18±24.46	78.23±23.72
i-HOT-symptoms	60.84±21.07	86.67±18.66

Treatment outcomes varied depending on the FAI type (Tab. 6). The best result was achieved in the cam-type patient group, the worst – in the group with the cam-type combined with borderline dysplasia. Treatment results of 2 patients with pincer-type were not included in the comparison.

Three subgroups were formed in order to discover other factors affecting treatment results. Two subgroups included 120 (94%) patients (141 (94.6%) joints), who did not need hip arthroplasty. Patients included in the first or in the fourth quartiles, excluding the interquartile range, were identified basing on each section of questionnaire, under condition of confirmation of the worst (first quartile) and the best (fourth quartile) outcome according to 4 out of 6 sections of questionnaires.

Subgroup of patients with the best outcomes, that was notionally named as control subgroup in our study, was formed according to the results of this division and included 35 (26.3%) patients (41 (29.1%) joints). The second subgroup, the main one, included 25 (19.5%) patients (27 (19.2%) joints) with the worst outcomes, who did not need arthroplasty during the follow-up period. Eight (6.3%) patients (8 (5.3%) joints), who required arthroplasty, compiled the third subgroup.

No statistically significant differences between subgroups were identified in terms of duration of symptoms' manifestation, BMI, the α angle, the LCEA-O, the Tönnis angle, MS (Tab. 7).

Data presented in the Table 7 attest range of motions and articular gap height decrease from control to main and further on to arthroplasty groups. Reverse tendency was observed when evaluating the subgroups' mean age.

Due to a small number of patients, who underwent arthroplasty, no gender comparison was made.

Gross appearance of intraarticular deformities and intraoperatively identified damages of articular components in all subgroups is presented in the Table 8.

Control group was characterized by predominance of repairable articular labrum damages and less severe cartilage lesions than the main one. In the arthroplasty group the frequency of deep cartilage damages and irreparable articular labrum lesions was the highest in comparison with other groups. Assessing the deformities, the prevalence of cam-deformity in the control group and cam-deformity combined with borderline dysplasia in the arthroplasty group stands out.

Table 6

Comparison of treatment results of patients in accordance with different FAI types (147 joints), M±SD

Scale	FAI type			<i>p</i> value of comparison of groups *		
	cam (n = 41)	mix (n = 79)	cam + borderline dysplasia (n = 27)	1	2	3
HOS-sport	81.64±25.08	77.67±27.02	69.55±32.01	0.44	0.09	0.20
HOS-ADL	91.32±17.28	88.57±22.53	83.17±27.99	0.50	0.14	0.32
i-HOT-emotions	85.21±23.74	79.83±26.14	74.33±29.45	0.27	0.10	0.36
i-HOT-work	70.51±18.50	61.67±23.53	56.98±25.18	0.04	0.01	0.38
i-HOT-sport	79.59±26.49	75.15±27.36	66.67±31.99	0.40	0.07	0.19
i-HOT-symptoms	84.68±24.09	83.85±24.45	78.59±28.35	0.86	0.35	0.36

* 1 – cam-type and mix-type; 2 – cam-type and cam-type with borderline deformity; 3 – mix-type and cam-type with borderline deformity.

Table 7

Distinguishing criteria in control subgroups, M±SD (min; max)

Criterion	Subgroup of patients			p value of comparison of subgroups*		
	Control subgroup (41 joints)	Main subgroup (27 joints)	Arthroplasty subgroup (8 joints)	1	2	3
Age, y.o.	32.2±7.2 (19; 52)	33.07±9.41 (19; 54)	48.00±8.62 (34; 57)	0.66	<0.01	<0.01
Flexion, deg.	115.85±15.96 (80; 140)	114.44±14.50 (90; 140)	96.25±13.02 (80; 120)	0.71	<0.01	<0.01
Internal rotation with 90° hip flexion	17.56±11.41 (0; 35)	14.81±13.26 (0; 35)	7.50±9.26 (0; 25)	0.51	<0.01	0.19
External rotation, deg.	39.39±5.72 (25; 45)	35.37±9.70 (5; 45)	31.87±7.04 (20; 45)	0.04	<0.01	0.07
Height of articular gap along the lateral part of acetabulum, mm	5.12±0.91 (2.9; 6.5)	4.15±0.73 (2.8; 6.2)	3.55±0.69 (2.4; 5.3)	<0.01	<0.01	0.046

* 1 – between control and main subgroups; 2 – between control and arthroplasty subgroups; 3 – between main and arthroplasty subgroups.

Table 8

Quantitative characteristics of intraarticular deformities, damages and performed procedures in subgroups, n (%)

Parameter	Control subgroup (41 joints)	Main subgroup (27 joints)	Arthroplasty subgroup (8 joints)
Damage of acetabular labrum	38 (92.7)	27 (100)	8 (100)
– fixation of damaged parts	33 (80.5)	19 (70.4)	2 (25)
– resection of damaged parts	1 (2.4)	6 (22.2)	5 (62.5)
– resection of surface damages	4 (9.8)	2 (7.4)	1 (12.5)
Damage of acetabulum cartilage (according to Beck)	23 (56.1)	20 (74.1)	8 (100)
– surface damage (grade 1)	7 (17.1)	8 (29.6)	2 (25)
– deep damage (grades 2 and 3)	12 (29.3)	8 (29.6)	0
– flap damage and cartilage desquamation (grades 4 and 5)	4 (9.8)	4 (14.8)	6 (75)
Damage of femoral head cartilage (according to Outerbridge)	6 (14.6)	6 (22.2)	7 (87.5)
– surface damage (grades 1 and 2)	5 (12.2)	2 (7.4)	4 (50)
– deep damage (grades 3 and 4)	1 (2.4)	4 (14.8)	3 (37.5)
Types of deformities	41 (100.0)	27 (100.0)	8 (100.0)
– cam	17 (41.5)	7 (25.9)	1 (12.5)
– pincer	0	1 (3.7)	0
– cam + pincer (mix)	18 (43.9)	13 (48.1)	3 (50.0)
– cam + borderline dysplasia	6 (14.7)	6 (22.2)	3 (37.5)

DISCUSSION

Hip arthroscopy, performed in our study, improved the state of patients, increasing average scores according to both scales and their sections from 16.69 points in the HOS-ADL section to 35.05 points in the i-HOT-sport section. Insignificant relative HOS-ADL improvement is more likely connected with initially high preoperative mean score in this section, as it refers to young and active patients. Increase of chances to return to sport activities in this cohort of patients also revealed in the sport section of the HOS scale, where the mean score increased to 27.25 points that corresponds to A.A. Minkara et al. [13].

Multiple literature data report on the absence of significant influence of borderline dysplasia on short-term and mid-term results of the FAI surgical treatment [14, 15]. Analysis of patients' treatment results in control and main subgroups, notionally allocated in our study, also revealed no LCEA-O influence. However, it is worth mentioning relative prevalence of patients with cam-deformity in combination with borderline dysplasia (37.5%) in the subgroup of patients who needed arthroplasty during the follow-up period in comparison with control (14.7%) and main (22.2%) subgroups.

Obtained results reveal the worst prognosis of surgical treatment outcome of patients with cam-deformity combined with borderline dysplasia, that in future may lead to faster osteoarthritis progression rather than separate presence of these changes [16].

Long-term studies show increase of frequency of radiologically confirmed hip osteoarthritis in women by 13%, of arthroplasty – by 18% with the LCEA decrease by each degree with the values less than 28° in 20 follow-up years. According to the same study, the cam-deformity, in its turn, leads to 5% increase of radiologically diagnosed osteoarthritis and to 4% increase of frequency of hip arthroplasty with the α angle increased by 1° [8].

These data attest more favorable clinical course of cam-deformity rather than borderline dysplasia, that is confirmed by C.C. Wyles et al. [16]. However, according to the studies of R. Agricola et al., based on clinical course examination of primary osteoarthritis in 856 patients with cam-deformity and aged 45-65 years,

the α angle of more than 60° and 80° increases 3.67-fold and 9.66-fold respectively the relative risk of hip arthroplasty [17].

Analyzing the systematic review of 13 studies that evaluate treatment results of 1571 joints with the follow-up period from 60 to 240 months, C. Kyin et al. also identified that the patients' age increase was one of the most significant predictors of ineffective FAI surgical treatment [18]. That fact is confirmed in our study as well. Mean age of patients in the arthroplasty group was 48.00 years old, in the control and the main ones was 32.20 and 33.07 years old respectively.

High frequency of asymptomatic hip joint deformities shows that the leading role in symptoms' manifestation belongs to articular labrum and cartilage damages and not to bone deformities [19, 20]. That fact is attested by C. Suarez-Ahedo et al., who revealed deep cartilage damages in 32.5% and articular labrum damages in 98% of 1502 patients enrolled in the study [21]. G. Bayley et al., examining 86 joints in 76 patients, identified articular labrum damage in 100% of cases with 42% of them without bone deformities [22], that also affirms pain syndrome progression due to the damage of intraarticular components.

It can be assumed that the more severe the damage to articular labrum and cartilage is, the worse the treatment result is. This conclusion is confirmed by the presence of articular labrum damage in 92.7% of patients in the control group and in 100% of patients in other groups. Moreover, the degree of its damage increases and the correcting potential of changes lessens from the control group to the main and the arthroplasty ones: 2.4%, 22.2% и 62.5% of articular labrum resections respectively. Frequency and severity of acetabular cartilage damage, that was identified in 56% of cases in the control group, in 74.1% in the main group, reaching 100% in the arthroplasty group, attest declination of results with increase of damage extent.

In 2013 M. Philippon et al. studied treatment outcomes of 203 patients aged more than 50 years old and made the conclusion that the articular gap height less than 2 mm was associated with the arthroplasty risk in 80% of cases [23]. Correlation between the arthroplasty risk and the articular gap height and age of patients was also confirmed in other researches [14, 17, 24, 25].

During the course of our study as well, we observed the height decrease of lateral part of ar-

ticular gap to 4.15 mm in the main subgroup and to 3.55 mm in the arthroplasty subgroup comparing with the control subgroup (5.12 mm). All that attend less hip arthroscopy efficacy in patients with smaller articular gap.

CONCLUSION

One of the most unfavorable combinations affecting treatment results is the combination of cam-deformity and insufficient coverage of the femoral head by the acetabulum.

Taking into account the identified concomitant articular labrum and cartilage pathologies in most patients, we may assume that these concomitant soft tissue lesions lead to pain syndrome in case of FAI. Defects of acetabulum and femoral head cartilage, as well as articular gap decrease are considered prognostically unfavorable for hip arthroscopy results increasing its negative effect especially in elderly patients. According to that, we can suppose that early correction of deformities not only allows to reduce the pain syndrome, but also prevents further damages of acetabulum cartilage and articular labrum, that will enable to obtain better long-term results and, perhaps, decrease the necessity and delay hip arthroplasty.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bogopolskiy O.E. — collection and processing of material, analysis and statistical processing of data, manuscript writing.

Trachuk P.A. — collection and processing of data.

Spetsialnyi D.V. — collection and processing of data.

Sereda A.P. — analysis and statistical processing of data, data statistical processing, text editing.

Tikhilov R.M. — study conception and design, text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

REFERENCES

1. Griffin D.R., Dickenson E.J., O'Donnell J., Agricola R., Awan T., Beck M. et al. The Warwick Agreement on femoroacetabular impingement syndrome (FAI syndrome): an international consensus statement. *Br J Sports Med.* 2016;50(19):1169-1176. doi: 10.1136/bjsports-2016-096743.
2. Reiman M.P., Agricola R., Kemp J.L., Heerey J.J., Weir A., van Klij P. et al. Consensus recommendations on the classification, definition and diagnostic criteria of hip-related pain in young and middle-aged active adults from the International Hip-related Pain Research Network, Zurich 2018. *Br J Sports Med.* 2020;54(11):631-641. doi: 10.1136/bjsports-2019-101453.
3. Sereda A.P. [Femoroacetabular Impingement: A Natural History]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(3):182-192. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-182-192.
4. Leunig M., Casillas M.M., Hamlet M., Hersche O., Nötzli H., Slongo T. et al. Slipped capital femoral epiphysis: early mechanical damage to the acetabular cartilage by a prominent femoral metaphysis. *Acta Orthop Scand.* 2000;71(4):370-375. doi: 10.1080/000164700317393367.
5. Myers S.R., Eijer H., Ganz R. Anterior femoroacetabular impingement after periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(363):93-99.
6. Ganz R., Parvizi J., Beck M., Leunig M., Nötzli H., Siebenrock K.A. Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(417):112-120. doi: 10.1097/01.blo.0000096804.78689.c2.
7. Hanzlik S., Riff A.J., Wuerz T.H., Abdulian M., Gurin D., Nho S.J. et al. The Prevalence of Cam Morphology: A Cross-Sectional Evaluation of 3,558 Cadaveric Femora. *Front Surg.* 2021;7:588535. doi: 10.3389/fsurg.2020.588535.
8. Thomas G.E., Palmer A.J., Batra R.N., Kiran A., Hart D., Spector T. et al. Subclinical deformities of the hip are significant predictors of radiographic osteoarthritis and joint replacement in women. A 20 year longitudinal cohort study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22(10):1504-1510. doi: 10.1016/j.joca.2014.06.038.
9. Bogopolskiy O.E. [Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):155-168. (In Russian) doi: 10.21823/2311-2905-1636.
10. Slattery C., Kweon C.Y. Classifications in Brief: Outerbridge Classification of Chondral Lesions. *Clin Orthop Relat Res.* 2018;476(10):2101-2104. doi: 10.1007/s11999.0000000000000255.

11. Beck M., Kalhor M., Leunig M., Ganz R. Hip morphology influences the pattern of damage to the acetabular cartilage: femoroacetabular impingement as a cause of early osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(7):1012-1018. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.15203.
12. Brooker A.F., Bowerman J.W., Robinson R.A., Riley L.H. Jr. Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. *J Bone Joint Surg Am.* 1973;55(8):1629-1632.
13. Minkara A.A., Westermann R.W., Rosneck J., Lynch T.S. Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes After Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):488-500. doi: 10.1177/0363546517749475.
14. Kuroda Y., Saito M., Sunil Kumar K.H., Malviya A., Khanduja V. Hip Arthroscopy and Borderline Developmental Dysplasia of the Hip: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2020;36(9):2550-2567.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2020.05.035.
15. Evans P.T., Redmond J.M., Hammarstedt J.E., Liu Y., Chaharbakhshi E.O., Domb B.G. Arthroscopic Treatment of Hip Pain in Adolescent Patients With Borderline Dysplasia of the Hip: Minimum 2-Year Follow-Up. *Arthroscopy.* 2017;33(8):1530-1536. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.008.
16. Wyles C.C., Heidenreich M.J., Jeng J., Larson D.R., Trousdale R.T., Sierra R.J. The John Charnley Award: Redefining the Natural History of Osteoarthritis in Patients With Hip Dysplasia and Impingement. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):336-350. doi: 10.1007/s11999-016-4815-2.
17. Agricola R., Heijboer M.P., Bierma-Zeinstra S.M., Verhaar J.A., Weinans H., Waarsing J.H. Cam impingement causes osteoarthritis of the hip: a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Ann Rheum Dis.* 2013;72(6):918-923. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-201643.
18. Kyin C., Maldonado D.R., Go C.C., Shapira J., Lall A.C., Domb B.G. Mid- to Long-Term Outcomes of Hip Arthroscopy: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2021;37(3):1011-1025. doi: 10.1016/j.arthro.2020.10.001.
19. Thier S., Gerisch D., Weiss C., Fickert S., Brunner A. Prevalence of Cam and Pincer Deformities in the X-Rays of Asymptomatic Individuals. *Biomed Res Int.* 2017;2017:8562329. doi: 10.1155/2017/8562329.
20. Morales-Avalos R., Tapia-Náñez A., Simental-Mendía M., Elizondo-Riojas G., Morcos-Sandino M., Tey-Pons M. et al. Prevalence of Morphological Variations Associated With Femoroacetabular Impingement According to Age and Sex: A Study of 1878 Asymptomatic Hips in Nonprofessional Athletes. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(2):2325967120977892. doi: 10.1177/2325967120977892.
21. Suarez-Ahedo C., Gui C., Rabe S.M., Chandrasekaran S., Lodhia P., Domb B.G. Acetabular Chondral Lesions in Hip Arthroscopy: Relationships Between Grade, Topography, and Demographics. *Am J Sports Med.* 2017;45(11):2501-2506. doi: 10.1177/0363546517708192.
22. Bayley G., Poitras S., Parker G., Beaulé P.E. Hip arthroscopy in patients less than 25 years of age in the treatment of labral tears: aetiology and clinical outcomes. *Hip Int.* 2017;27(5):436-442. doi: 10.5301/hipint.5000493.
23. Philippon M.J., Briggs K.K., Carlisle J.C., Patterson D.C. Joint space predicts THA after hip arthroscopy in patients 50 years and older. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(8):2492-2496. doi: 10.1007/s11999-012-2779-4.
24. Domb B.G., Chen S.L., Go C.C., Shapira J., Rosinsky P.J., Meghpara M.B. Predictors of Clinical Outcomes After Hip Arthroscopy: 5-Year Follow-up Analysis of 1038 Patients. *Am J Sports Med.* 2021;49(1):112-120. doi: 10.1177/0363546520968896.
25. Nwachukwu B.U., Rebolledo B.J., McCormick F., Rosas S., Harris J.D., Kelly B.T. Arthroscopic Versus Open Treatment of Femoroacetabular Impingement: A Systematic Review of Medium- to Long-Term Outcomes. *Am J Sports Med.* 2016;44(4):1062-1068. doi: 10.1177/0363546515587719.

Authors' information

✉ Oleg E. Bogopolskiy

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4883-0543>

e-mail: 9202211@gmail.com

Pavel A. Trachuk

<https://orcid.org/0000-0002-4442-5831>

e-mail: trachukpav@gmail.com

Denis V. Spetsialnyi

<https://orcid.org/0000-0002-7597-2918>

e-mail: specialnyyy@gmail.com

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

e-mail: drsereda@gmail.com

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

e-mail: rtikhilov@gmail.com



Total Hip Arthroplasty in Patients With Post-Traumatic Bone Defects and Acetabular Deformities

Aleksandr A. Pronskikh, Svetlana V. Romanova, Vitaliy L. Lukinov, Vyacheslav A. Bazlov, Taniel Z. Mamuladze, Andrey A. Korytkin, Vitaliy V. Pavlov

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Background. Total hip replacement in cases of traumatic changes of the acetabulum refers to cases of difficult primary arthroplasty and requires detailed preoperative planning and accurate restoration of anatomical relationships in the operated joint.

The aim of the study was to evaluate the structure of pathological changes in the acetabulum in patients with posttraumatic hip arthrosis, to develop a method for their detailed description and to determine the tactics of choosing the type of acetabulum implant.

Methods. The results of treatment of 194 patients with the consequences of acetabulum fractures who underwent total hip arthroplasty in the period from 2014 to 2022 were analyzed. The study was conducted in two stages, at the first stage, the structure of pathological changes, such as defect, deformation, changes in the center of rotation and offset (relatively healthy contralateral joint), was analyzed. A method was developed for choosing the tactics of implantation of the acetabulum component, based on a detailed description of the defect and deformation of the acetabulum. The second stage analyzed the results of treatment of patients for whom planning and surgical treatment was carried out in the period from 2020 to 2022 using the proposed method.

Results. During the first stage of the study, it was revealed that the magnitude of the change in the indicators of the displacement of the rotation center and offset changes by more than 8 mm. statistically significantly increases the likelihood of complications by 17.9%. The restoration of the rotation and offset center reduces the number of complications by 22.3%. The proposed method makes it possible to statistically reliably restore anatomical relationships in the operated hip joint and reduce the number of complications by 10%.

Conclusion. The proposed method allows us to qualitatively and quantitatively describe pathological changes in the bone tissue of the acetabulum. Depending on the degree of displacement of the center of rotation, the walls of the acetabulum and the nature of the defect of the supporting bone tissue, the surgeon can determine the tactics of surgical treatment.

Keywords: total hip arthroplasty, hip arthritis, acetabulum bone loss, classification, preoperative planning.

Cite as: Pronskikh A.A., Romanova S.V., Lukinov V.L., Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Korytkin A.A., Pavlov V.V. [Total Hip Arthroplasty in Patients With Post-Traumatic Bone Defects and Acetabular Deformities]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):66-78. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2001>.

✉ Svetlana V. Romanova; e-mail: s.romanova0319@gmail.com

Submitted: 04.10.2022. Accepted: 10.12.2022. Published: 16.12.2022.

© Pronskikh A.A., Romanova S.V., Lukinov V.L., Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Korytkin A.A., Pavlov V.V., 2022

Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями вертлужной впадины

А.А. Пронских, С.В. Романова, В.Л. Лукинов, В.А. Базлов, Т.З. Мамуладзе, А.А. Корыткин, В.В. Павлов

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

Актуальность. Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов с посттравматическими изменениями вертлужной впадины относится к случаям сложного первичного эндопротезирования и требует детального предоперационного планирования и точного восстановления анатомических взаимоотношений в оперированном суставе.


Гипотеза исследования — создание описательной системы, основанной на качественном и количественном определении деформации и дефекта костей, образующих вертлужную впадину, позволяет спланировать пространственное положение вертлужного компонента, тип его фиксации, объем костной пластики, необходимые для восстановления правильной механики тазобедренного сустава, а ее использование позволяет улучшить клинические и функциональные результаты лечения пациентов с посттравматическим коксартрозом.


Материал и методы. Проанализированы результаты лечения 194 пациентов с последствиями переломов вертлужной впадины, которым в период с 2014 по 2022 г. выполнялось тотальное эндопротезирование. Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе анализировали структуру патологических изменений, таких как дефект и деформация — смещение центра ротации и офсета относительно здорового контралатерального сустава. Был разработан способ выбора тактики имплантации вертлужного компонента, основанный на детальном описании дефекта и деформации вертлужной впадины. Вторым этапом были проанализированы результаты лечения пациентов, которым планирование и оперативное лечение было проведено в сроки с 2020 по 2022 г. с использованием предложенного способа.

Результаты. В ходе проведения первого этапа исследования было выявлено, что изменение показателей смещения центра ротации и изменение офсета более чем на 8 мм увеличивает вероятность развития осложнений на 17,9%. Восстановление центра ротации и офсета позволяет сократить количество осложнений на 22,3%. Предложенный способ позволяет восстановить анатомические взаимоотношения в тазобедренном суставе и снизить общее количество осложнений на 10%.

Заключение. Предложенный способ выбора тактики имплантации вертлужного компонента позволяет качественно и количественно описать патологические изменения костной ткани вертлужной впадины. В зависимости от степени смещения центра ротации, стенок вертлужной впадины и характера дефекта опороспособной костной ткани хирург может определять тактику оперативного лечения.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, посттравматический коксартроз, дефект вертлужной впадины, классификация, предоперационное планирование.

 Пронских А.А., Романова С.В., Лукинов В.Л., Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Корыткин А.А., Павлов В.В. Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями вертлужной впадины. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):66-78. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2001>.

 Романова Светлана Вячеславовна; e-mail: s.romanova0319@gmail.com

Рукопись получена: 04.10.2022. Рукопись одобрена: 10.12.2022. Статья опубликована: 16.12.2022.

© Пронских А.А., Романова С.В., Лукинов В.Л., Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Корыткин А.А., Павлов В.В., 2022

BACKGROUND

Nearly 1 million hip arthroplasties are performed in the world annually. This type of hip replacement in patients with acetabular injury consequences refers to complicated cases of arthroplasty due to acetabular defects and post-traumatic deformities. Literature data describe multiple ways of surgical treatment of this category of patients that is focused on achieving stable primary fixation of components, replacing bone defects with transplants or augments, implanting acetabular component in the true center of rotation in order to restore biomechanics of the affected joint [1, 2, 3].

Nowadays there is no common evaluation system of post-traumatic changes in the acetabulum such as defects and deformities, that significantly complicates the analysis of results of primary arthroplasty and development of system approach when choosing surgical tactics [4]. Trying to describe the localization and the character of pathologic changes, most authors use either acetabular fractures classifications [5, 6, 7], or periacetabular osteolysis classification, such as AAOS [8], DGOT [9], classifications of A.E. Gross and K.J. Saleh [10], W.G. Paprosky [11].

However, both approaches are not without significant disadvantages. Attempts to use the classification of acute pelvic damages for evaluation of post-traumatic changes of the acetabulum during the primary replacement are incapable to reveal all aspects that might significantly affect the choice of surgical tactics enabling stable and correct implantation of acetabular prosthesis component. Descriptive systems for revision arthroplasty cannot fully reflect the state of bone tissue in the context of post-traumatic acetabular changes. Careful preoperative planning based on visualization and description of acetabulum deformity and post-traumatic defect of bone tissue is necessary to develop a surgical plan, to choose correct implant size and type and to decide upon the necessity of bone grafting.

In our study we suggested the following hypothesis: creation of descriptive system based on qualitative and quantitative evaluation of deformity and defect of bones forming the acetabulum enables to plan the spatial attitude of acetabular component as well as the type of its fixation and the extent of osteoplasty necessary for restoration of correct biomechanics of the hip

joint. Application of this system will allow to improve clinical and functional treatment results of patients with post-traumatic hip osteoarthritis.

METHODS

Treatment results of 194 patients with acetabular injury consequences were analyzed in the study. All patients underwent total hip arthroplasty at Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan between 2014 and 2022. The study was retrospective.

Study inclusion criteria:

- unilateral grade 3 post-traumatic hip osteoarthritis;
- AAOS type II-IV defect of the acetabulum [12];
- age of more than 18 years;
- availability of radiographic examination results (X-rays, multislice spiral CT) and medical records concerning preceding trauma.

Presence of active inflammation or infection at the surgical site at the time of admission to the hospital was considered as an *exclusion criterion*.

Among the patients were 147 men and 47 women, their mean age at the time of total hip arthroplasty was 52.2 ± 10.1 years.

Average time after the trauma was 4.6 ± 0.3 years. Fracture type analysis according to AO/ASIF classification was performed basing on the presented medical records and X-rays [12].

For the study we advanced the hypothesis that the restoration of hip joint anatomy as close to the intact contralateral joint as possible, allows to improve functional treatment result and to reduce complications, associated directly with the method of surgical treatment.

To verify the hypothesis, all patients were divided into two groups at the stage I of the study. Group allocation was performed depending on the degree of restoration of such parameters as triplane displacement of the center of rotation and femoral offset of the operated joint in comparison to the contralateral joint (Fig. 1).

Group 1 included 56 patients, who had no more than 8 mm discrepancy between the values of displacement of the center of rotation and between the values of offset. Group 2 enrolled 138 patients who had more than 8 mm difference at least in one of the parameters. Threshold value of 8 mm for group allocation was determined by the performed statistical ROC analysis.

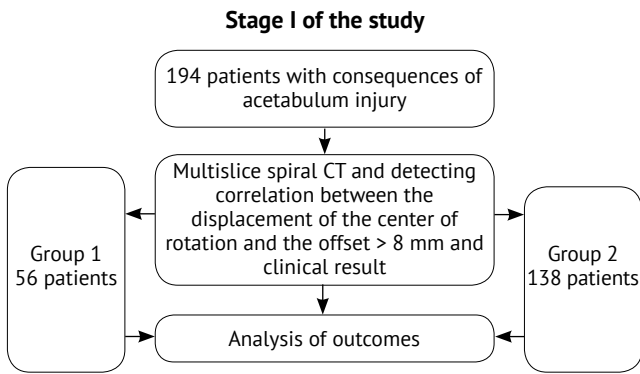


Fig. 1. Flowchart of the I stage of the study

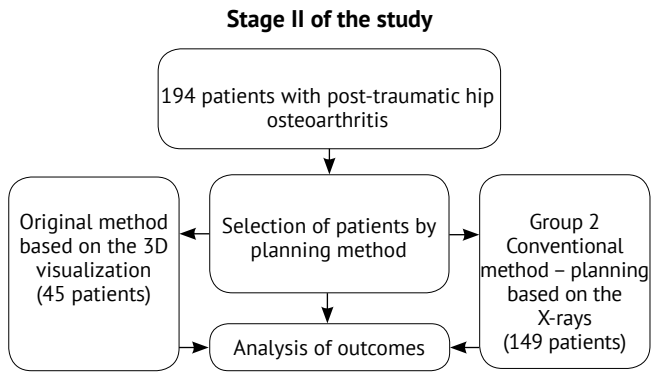


Fig. 2. Flowchart of the II stage of the study

Patient characteristics of the stage I of the study is presented in the Table 1.

Allocation was performed depending on the defect type according to AAOS classification. [8]. Type 2 and 3 defects were predominant in both groups. Type 5 defects were identified in group 1 in 2 cases.

During the stage I of the study we developed the method that allowed to determine surgical tactics of acetabular component implantation of total prosthesis. Stage II of our study was carried out to analyze the method efficacy. Patients were divided into two groups. Group 1 included 45 patients who underwent preoperative planning between 2020 and 2022 with the application of suggested method. Surgical tactics was chosen according to this method as well. Group 2 (control group) included 149 patients who underwent conventional preoperative planning (plane templates, virtual planning program) between 2014 and 2019 (Fig. 2). Gender and age characteristics are presented in the Table 2.

Table 1
Characteristics of patients at the stage I of the study

Characteristics	Group 1 n = 56	Group 2 n = 138
Mean age, y.o., M±SD	52.55±11.68	52.24±13.66
Men/women	41/15	104/33
Time after injury, years, M±SD	3.81±0.34	5.17±0.49

Table 2

Characteristics of patients at the stage II of the study

Characteristics	Group 1 (2020–2022)	Group 2 (2014–2019)
Mean age, y.o., M±SD	53.74±12.55	51.89±13.26
Men/women	34/11	113/36
Time after injury, years, M±SD	5.23±7.16	4.63±5.45

Assessment of results

Hospital length of stay, surgery duration and intraoperative blood loss were compared in order to evaluate clinical results. Functional results were assessed by the means of statistical analysis of joint function according to Harris Hip Score (HHS) and intensity of pain according to visual analogue scale (VAS). These scores were compared between all groups before the surgery and 6 months after it. Structure of complications was analyzed separately.

Statistical analysis

Mann-Whitney U-test was used for comparison of continuous variables between the groups. Two-tailed Fisher's exact test was applied for binary and categorical variables comparison. Identification of pairwise association between continuous variables was performed by calculating the Spearman rank correlation coefficient

with evaluation of achieved level of significance p . Statistical hypothesis testing was carried out at the level of significance $p=0.05$, i.e., the difference was considered statistically significant in case of $p<0.05$. ROC analysis was used to assess correlation between the complications and the value of displacement of the center of rotation.

RESULTS

Stage I study results

Total amount of complications and clinical and functional treatment results was analyzed with the use of logistic regression method with defini-

tion of correlated covariants. It was determined that the variation values of vertical and anteroposterior displacement of the center of rotation and offset change of more than 8 mm increased statistically significantly increased the risk of complications by 17.9% with the sensitivity index of 66.7% and specificity of 79% (Fig. 3).

When the threshold value of spatial variation of the center of rotation and offset was identified, two experimental groups were formed: group 1 with displacement of less than 8 mm; group 2 with displacement of more than 8 mm. Evaluation of clinical results of the stage I of the study included analysis of hospital length of stay, intraoperative blood loss, surgery duration (Tab. 3).

Structure of complications is presented in the Table 4. Functional results 6 months after the surgery are reported in the Table 5.

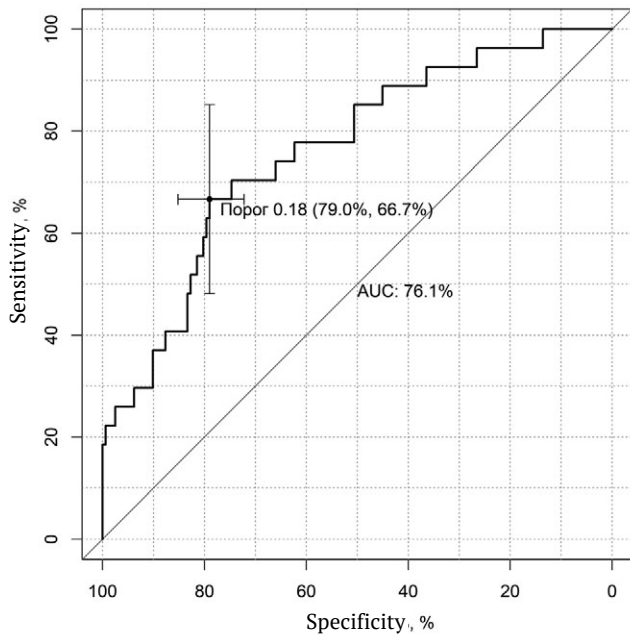


Fig. 3. Receiver operating characteristic (ROC) curve (threshold value 17.9). Automatic multifactorial optimal predictive model of complications

Table 3

Clinical outcomes at the stage I of the study (M±SD, Me, min-max)

Characteristics	Group 1 (displacement less than 8 mm)	Group 2 (displacement more than 8 mm)	p
Hospital length of stay, days	9.20±3.46 8 3–22	11.01±6.01 9 4–43	0.013*
Blood loss, ml	310.89±150.72 300 100–700	374.09±237.49 300 200–2000	0.104
Surgery duration, min.	85.80±41.56 75 35–300	89.39±40 80 40–300	0.390

* – hereinafter: result is considered statistically significant.

Table 4
Structure of complications at the stage I of the study, %

Type of complication	Group 1 (displacement less than 8 mm)	Group 2 (displacement more than 8 mm)
Surgical site infections	0	4.3
Recurrent dislocation	0	3.2
Aseptic loosening	0	2.1
Neuropathy	0	9.7
Periprosthetic fracture	2.4	5.4

Table 5
Functional results in 6 months at the stage I of the study, points

Scale	Group 1	Group 2	<i>p</i>
VAS	2.66±1.28	2.47±1.26	0.334
HHS	84.87±9.18	78.12±9.01	<0.001*

Analysis of the stage I study results showed no statistical difference in such parameters as surgery duration and blood loss. These results are due to the fact that all surgical interventions were performed by the same surgeons using the same methods. Difference in hospital length of stay is explained by increased number of complications in the group 2 (patients in whom the anatomical relationships in the operated joint were restored in a lesser extent). The fact that the group 1 patients had no such complications as recurrent dislocation and neuropathy of different portions of sciatic and femoral nerves deserves special attention. When analyzing joint functions according to HHS, statistically significant improvement of treatment results was obtained in the group of patients who had anatomic relationships restored maximally similarly to the contralateral joint. Studying in details the restoration results of such parameters as offset and spatial displacement of the center of rotation, we revealed significant correlation between the degree of offset variation and joint function (Fig. 4)

Results obtained at the first stage of our study showed the need of careful preoperative planning and intraoperative restoration of anatomic

parameters in the operated joint. Accumulating clinical material and analyzing intermediate results, during the first stage of the study we developed a method of preoperative planning for restoration of anatomy, improvement of current preoperative planning method and selection of surgery type for acetabular component implantation. This method was based on the stage-by-stage verification of pathologic structural changes of the acetabulum and included the measurement of two parameters, namely degree of deformity and acetabular defect size.

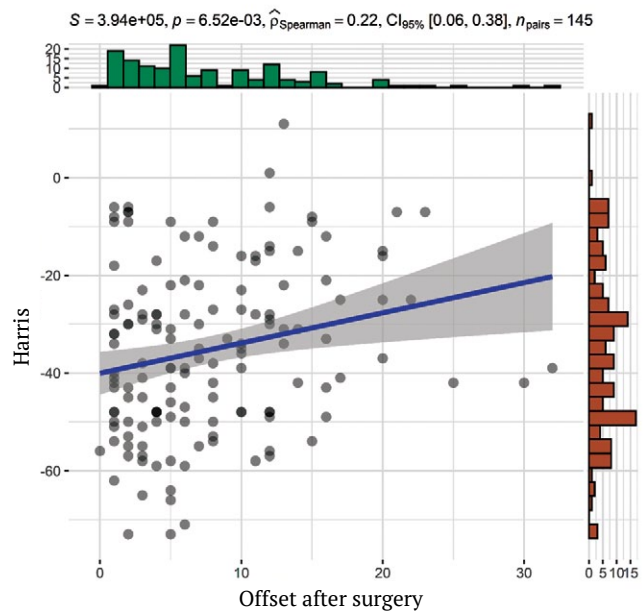


Fig. 4. Correlation between offset after surgery and joint function changes on the Harris Hip Score

Multislice spiral computed tomography of pelvis and hip joints is performed at first. Contralateral joint must be intact. Spatial axes of pelvis are lined, reference angles and lines are measured by mirroring the landmarks on the affected side. Studied parameters include displacement of the center of rotation, acetabulum deformity and defect of its weight-bearing bone tissue by segments. Deformity (displacement of acetabular walls) is defined after measuring the bone density according to the Hounsfield scale in the range from 200 to 400 HU. Native anatomic center of rotation of the intact hip joint having been detected, its hemisphere is determined and is divided into 3 sectors corresponding to pubic,

ischiatric and supraacetabular parts of acetabulum. These sectors are denominated as P (pubis), Il (ilium) and Is (ischadicum). To define the sector of the corresponding size, geometric figure matching is performed using the library formed with the range of sizes with 1 mm interval. The sector is positioned so that no less than 75% of its base surface would be in contact with the weight-bearing dense bone tissue and its top would correspond to the center of rotation. When the sector with known parameters of volume and surface area is chosen correctly and is well-aligned, these parameters are described for each sector that corresponds to pubic, ischiatic and supraacetabular surface of the acetabulum (Fig. 5).

After measuring the quantitative parameters (area, sector volume) the values obtained are mirroring on the pathologic side by transferring the center of rotation which is considered the reference point for spatial arrangement of geometric figures. Resulting graphic presentation is considered the norm for this joint. These parameters are denominated as normal. Pathologic sectors of each surface are measured from the mirrored center of rotation and are defined by choosing virtual sectors under the condition that no less than 75% of figure area would be in contact with the weight-bearing bone tissue of the segment. In order to implement this idea, we formed a virtual library of hemispheres and sectors with radius interval of

2 mm. Since the geometry of acetabular area defect is unique in each particular case, we developed a sector scale with 2 mm interval in order to put in practice the offered technology of defect assessment using virtual designing method (Fig. 6).

Formation of test sectors library is performed via scaling method with the use of standard set of functions of the NetFabb software (Autodesk, USA). This technology of application of size- and volume-defined sectors for evaluation of pelvic bones defects especially in the acetabular area does not require specific knowledge and is available on any platform compatible with the *.stl format. The main advantage of this library is the simplicity of processing and receiving information on the defect. Obtained quantitative data are compared with normal ones. The area difference presented in percentage terms is denominated as weight-bearing bone tissue deformity, while the volume difference – as pathologic segment defect. Considering the discrepancy of deformity and defect severity between pathologic and normal segments, all changes are divided into 5 types: under 25%, from 26% to 40%, from 41% to 60%, from 61% to 80% and beyond 80%.

All parameters being defined, we compose characteristics of deformity and defect using quantitative numerical description of parameters separately for each acetabular segment (P – pelvic, Is – ischiatic, Il – iliac).

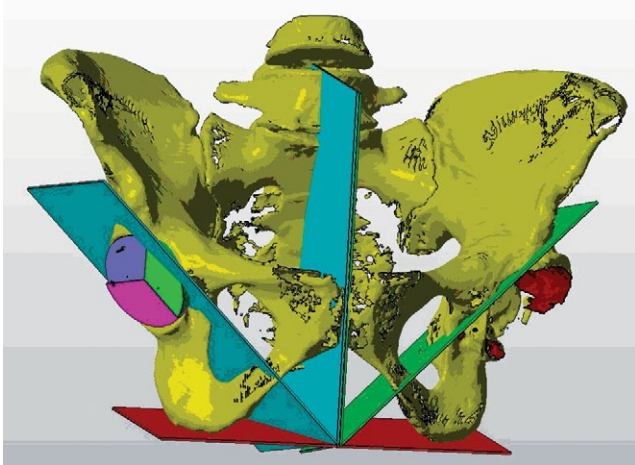


Fig. 5. Virtual model with plotted planes and axes for quantitative measurements

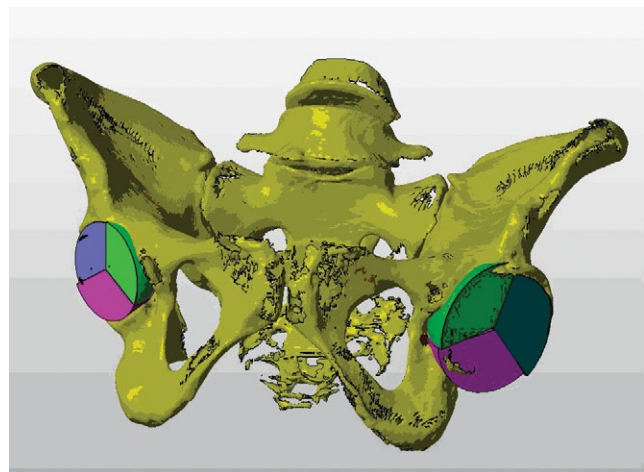


Fig. 6. Virtual model after the selection of sectors for measurement

Basing on the clinical experience of the institute, domestic and foreign publications, we developed indications for application of different types and methods of fixation of acetabular components that depend on acetabulum deformity and defect degree. In our opinion, the main goal when performing arthroplasty is to restore anatomic and biomechanical relationships in the joint including the center of rotation and acetabular offset by achieving stable component fixation with 3 support points of the acetabulum and bone defect replacement.

In case of *P I defects*, the press-fit fixation and conventional uncemented acetabular components are possible, taking into account insignificant bone tissue loss and retention of weight bearing of the anterior acetabular column. Bone grafting is performed in case of bone tissue deficit in the area of pubic bone base. Both bone chips made of femoral head and alloplasty are possible. Use of fixing screws is up to the surgeon to decide in case of concomitant defects of other acetabular parts.

Is I defects also refer to insignificant ones and require optional bone or autogenous bone grafting in case of intact femoral head or alloplasty. With regard to sufficient volume of weight-bearing bone tissue of the posterior column, it is necessary to strive for press-fit fixation with the use of uncemented acetabular component.

In case of *II I defects*, the acetabular structure is intact, so that the defect replacement does not require bone grafting. Uncemented fixation of the acetabular component is indicated. If necessary, the surgeon can also use screws to achieve greater stability.

Type I corresponds to insignificant changes. Preserved weight-bearing bone tissue of the acetabulum is enough to apply the press-fit fixation. Bone grafting is optional and is used in case of the defects located in the anterior or posterior column area only. Surgical intervention presents no technical difficulties and use of conventional acetabular components is possible.

Bone tissue loss in case of *P II defects* refers to moderate. However, combination of bone tissue loss in the anterior and posterior columns requires fixation with screws that are introduced not only in the supraacetabular area by sectors, but also in the pubic and ischial bones. That means that uncemented acetabular components

with the big number of holes for polyaxial screws are needed. Combination of moderate anterior column defect and insignificant defects of other sectors prompts to use press-fit fixation by implanting large size acetabular component.

Is II defects also refer to moderate ones. If there are no defects of other sectors, large size acetabular component or acetabular component with polyaxial screws are possible. However, in case of moderate defects of all areas, posterior column reconstruction is necessary and includes its defect replacement by buttress augment to achieve the wedging effect. Bone grafting is optional, as the use of structural transplant will not allow to reach stable press-fit fixation.

II II defects require replacement of the supraacetabular area defect using either buttress transplant made of femoral head, or hemispheric augment, if the bone quality is poor. Posterior column being preserved, large size acetabular component with polyaxial screws is recommended.

Type II defects are considered moderate and admit surgical intervention using conventional implants. However, supraacetabular bone stock and posterior column defects require replacement to achieve press-fit fixation. Bone grafting is recommended only in case of supraacetabular area defects. Cemented fixation of components is possible in none of the cases, as the presence of moderate defects will lead to incorrect execution of cemented arthroplasty and absence of acetabular component stable fixation.

P III defect refers to significant one due to the evident absence of weight-bearing bone in the anterior column of the acetabular area. In case of isolated P III defect, it is possible to use large size acetabular component with polyaxial fixing screws that must be inserted into all segments of acetabulum to achieve stable fixation. If P III defect is associated with significant sectors' defects, the use of individual acetabular component of simple geometry, if possible, is recommended. This facilitates reaming of the acetabulum and increases variability of intraoperative component positioning. Bone grafting is performed with bone chips only, as soon as the use of structural transplant does not allow anterior column weight bearing.

Is III defect is significant. If significant posterior column defect is associated with insignificant or moderate defects of other sectors, the recon-

struction of the posterior column with buttress augment or combination of buttress and spherical one is required. In case of isolated Is III defect it is indicated to use large size acetabular component with polyaxial fixing screws that are mandatory inserted into all segments of acetabulum to achieve stable fixation. If significant defects of all three sectors are present, implantation of individual acetabular components of mainly simple geometry is recommended. Bone grafting with structural transplant is not used.

II III defect refers to significant, where the fraction of weight-bearing bone is up to 60%. In this situation isolated defect of supraacetabular bone stock requires defect replacement with hemispherical augment or osteoplasty and implantation of acetabular component with uncemented fixation in order to provide stability. If significant defect of supraacetabular area is associated with moderate defects of the anterior and posterior columns, it is recommended to use large size acetabular component with polyaxial screws, that can be introduced in all areas of acetabulum. In case of significant defects of all sectors we suggest to use individual acetabular component of mainly simple geometry with obligatory preoperative planning of direction and length of fixing screws.

P IV defects are subtotal. It is recommended to use individual acetabular component with restoration of pubic sector defect and obligatory screw fixation to other regions of acetabulum in case of isolated or complex deficit of weight-bearing bone in the anterior column area. The main requirement to this component is the holes for polyaxial screws to be introduced into the thickest bone areas, as soon as conventional components do not provide stable fixation. Components of simple geometry are preferred, because complex constructs require significant correcting of the bone bed in case of even minimal technical inaccuracy during their production, which can lead to component positioning that differs from the planned one. Alternative method is stage-by-stage surgical treatment with anterior column reconstruction via intrapelvic approach with its plate osteosynthesis.

Is IV defects also make it impossible to use conventional acetabular components. Method of choice is individual components with the restoration of posterior column defect and polyaxial

screw fixation to other areas of the acetabulum. In that case careful preoperative planning and simulation of screw insertion direction are essential. It is recommended to use not only individual component, but also individual guide to make holes for screw insertion. Alternative method is stage-by-stage surgical treatment with plate reconstruction of the posterior column.

II IV defects require obligatory replacement of subtotal defect of supraacetabular bone stock. In case of isolated defect, the implantation of large size acetabular component with polyaxial screws is possible. However, this method requires the system of augments, both buttress and thick hemispherical ones. In case of supraacetabular bone deficit associated with significant or subtotal defects of other regions of the acetabulum the preference should be given to individual acetabular components with polyaxial screws.

Type V defects are total. In that case the integrity of the acetabulum is violated, so that the fixation of conventional acetabular component in one or in all sectors is impossible. The main pathologic components of this type of defects are destruction of obturator foramen or iliac bone, that impairs the stability of the pelvic ring. Thus, the only arthroplasty option is to use individual acetabular components with complex geometry with extraacetabular fixation to intact parts of the pelvis. For example, components with fixation to the sacral bone, to the contralateral pubic bone etc. Decision upon the use of these individual components requires careful preoperative planning.

Stage II study results

Analysis of results concerning application of the suggested method was performed at the stage II of the study. Clinical outcomes are displayed in the Table 6, structure of complications – in the Table 7.

Analysis of clinical results showed that the hospital length of stay was statistically significantly greater in the group of patients, who underwent conventional preoperative planning. This is due to the fact that the number of complications increased by 10%. We have compared the values of displacement of the center of rotation and offset in both groups in order to verify our hypothesis that the suggested method al-

lows to restore anatomical relationships in the hip joint more effectively and precisely (Tab. 8).

Table data enable to conclude that optimal preoperative planning, application of algorithm of acetabular component selection and method of its fixation permit more accurate restoration of the operated joint anatomy.

Patient scores according to VAS and HHS were analyzed at the stage II of the study to assess functional outcomes (Tab. 9).

Presented data, as well as the stage I study results, show the dependence of the joint function changes on the restoration of the center of rotation and the offset.

Table 6

Clinical outcomes at the stage II of the study (M±SD, Me, min-max)

Characteristics	Group 1 (2020–2022)	Group 2 (2014–2019)	<i>p</i>
Hospital length of stay, days	9.89±6.91 8 5–38	10.67±4.92 8 7–43	0.020*
Blood loss, ml	392.39±198.60 350 150–1000	344.29±222.42 300 100–2000	0.067
Surgery duration, min.	96.74±43.57 85 50–80	85.73±39.12 75 35–300	0.090

Table 7

Structure of complications in groups at the stage I of the study, *n*

Type of complication	Group 1 (2020–2022)	Group 2 (2014–2019)
Total complications	3	25
Surgical site infections	2	3
Dislocation	1	4
Neuropathy	0	9
Instability	0	2
Other	0	7

Table 8

Displacement of anatomical markers in comparison with intact contralateral joint, mm (M±SD)

Characteristics	Group 1 (2020–2022)	Group 2 (2014–2019)	<i>p</i>
Vertical displacement	3.72±3.69	10.20±6.77	<0.001*
Horizontal displacement	5.87±3.96	9.40±6.25	<0.001*
Anteroposterior displacement	2.09±1.21	4.48±4.65	0.027*
Offset	4.20±2.85	7.76±6.25	<0.001*

Table 9

Functional results 6 months after the surgery at the stage II of the study, points

Scale	Group 1 (2020–2022)	Group 2 (2014–2019)	<i>p</i>
VAS	2.65±0.92	2.48±1.36	0.112
HHS	85.91±6.15	78.21±9.69	<0.001*

DISCUSSION

AAOS classification, popular in the USA, allows to describe rather accurately the defects of any etiology (both post-traumatic and post-implantation) and represent its character. However, this classification does not reflect the severity of changes and only in small extent helps to determine the defect restoration tactics and implantation technique of the acetabular component [12]. Apart from the stable fixation of the components and defect replacement, several key points should be considered in order to achieve good results. These key points include the accurate restoration of the femoral offset, limbs length and center of rotation [13, 14].

Number of publications are known to address the tactics of patients' surveillance, who have post-traumatic acetabular deformities [15, 16, 17]. The closest analogues to the suggested method were described by A.V. Tsybin et al. [4] and D.V. Martynenko et al. [18]. R.M. Tikhilov et al. single out three grades of post-traumatic deformity of the acetabulum based on the degree of the femoral head displacement [19]. Authors suggest several options for the type of acetabular component and method of its fixation depending on the severity of pathologic process. That method rests on the analysis of plane X-rays and is generalized. Moreover, the degree of the head displacement cannot always be described in details due to its absence or marked destruction.

D.V. Martynenko et al. proposed a way of description of acetabular deformities with the use of two-dimensional plane X-rays, based on the identification of the acetabular square – standard position of spheric femoral head or hemispheric acetabular component in the acetabulum [18]. The disadvantage of this method is its variability. Authors suggested 25 variants of acetabular deformities, but that method appeared to be difficult for clinical application. Moreover, the evaluation is performed using two-dimensional plane X-rays, that reduces the diagnostic value of the method. Assessment of degree of deformity severity is rather subjective and does not provide accurate quantitative characteristic of post-traumatic defect and acetabular deformity.

A.V. Tsybin et al. registered an invention, ASPID descriptive system, that allowed to increase the accuracy of acetabular deformity analysis and to develop a verified approach to the

surgical treatment [4]. This method implies the estimation of displacement degree in CT scans; the diagnostics is based on three criteria: localization (by acetabular walls), degree of displacement and continuity of pelvic ring (disrupted or integer). Stage-by-stage identification of deformity components (degree of displacement of separate acetabular walls and center of rotation) and the principle of assessment of acetabular walls displacement are the main differences of our method. CT 3D reconstruction models, i.e., images that are cleared from noise and implants and visualized by Hounsfield's scale between 200 and 400 HU, are used for analysis by the contrast with A.V. Tsybin's invention [4].

CONCLUSION

Results of our study revealed the correlation between the degree of restoration of anatomical relationships in the operated joint and functional outcomes of treatment. Displacement of the center of rotation or the femoral offset for 8 mm or more is the threshold value, and it is possible to expect increase of complication rate and worsening of functional results in case of its overrun. Total hip replacement in patients with post-traumatic defects and deformities of the acetabulum requires careful preoperative planning and is considered as a complicated case of arthroplasty. Presented method of volume imaging allows to describe pathologic changes of the acetabular bone tissue in quantitative and qualitative way. Surgeons can define the tactics of surgical treatment depending on the degree of displacement of the center of rotation and acetabular walls and the characteristics of defect of weight-bearing bone tissue. Analysis of the application of this method shows the decrease of total number of complications by 10%, as well as improvement of functional and clinical results.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pronskikh A.A. – study design, evaluation and interpretation of the data, text editing.

Romanova S.V. – collection and processing of data.

Lukinov V.L. – data statistical processing.

Bazlov V.A. – evaluation and interpretation of the data, preparation of the text.

Mamuladze T.Z. — study design, text editing.

Korytkin A.A. — evaluation and interpretation of the data, text editing.

Pavlov V.V. — study design, data interpretation.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

REFERENCES

- Sloan M., Premkumar A., Sheth N.P. Future Demand for Total Joint Arthroplasty Drives Renewed Interest in Arthroplasty Fellowship. *HSS J.* 2020;16(Suppl 2):210-215. doi: 10.1007/s11420-019-09678-y.
- Zahar A., Papik K., Lakatos J., Cross M.B. Total hip arthroplasty with acetabular reconstruction using a bulk autograft for patients with developmental dysplasia of the hip results in high loosening rates at mid-term follow-up. *Int Orthop.* 2014;38(5):947-951. doi: 10.1007/s00264-014-2280-7.
- Morales De Cano J.J., Guillamet L., Perez Pons A. Acetabular reconstruction in paprosky type III defects. *Acta Ortop Bras.* 2019;27(1):59-63. doi: 10.1590/1413-785220192701187313.
- Tsybin A.V., Lubchak V.V., Sivkov V.S., Shilnikov V.A., Malygin R.V., Shubnyakov M.I. [Rationale for the use of the original classification of post-traumatic acetabular deformities in primary total hip replacement]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2021;(5):508-513. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-5-508-513.
- Meinberg E.G., Agel J., Roberts C.S., Karam M.D., Kellam J.F. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma.* 2018;32 Suppl 1:S1-S170. doi: 10.1097/BOT.0000000000001063.
- Burgess A.R., Eastridge B.J., Young J.W., Ellison T.S., Ellison P.S. Jr, Poka A. et al. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *J Trauma.* 1990;30(7):848-856.
- Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(1):1-12. doi: 10.1302/0301-620X.70B1.3276697.
- D'Antonio J.A., Capello W.N., Borden L.S., Bargar W.L., Bierbaum B.F., Boettcher W.G. et al. Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(243):126-137.
- Bettin D., Katthagen B.D. [The German Society of Orthopedics and Traumatology classification of bone defects in total hip endoprostheses revision operations]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1997;135(4):281-284. (In German). doi: 10.1055/s-2008-1039389.
- Saleh K.J., Holtzman J., Gafni ASaleh L., Jaroszynski G., Wong P., Woodgate I. et al. Development, test reliability and validation of a classification for revision hip arthroplasty. *J Orthop Res.* 2001;19(1):50-56. doi: 10.1016/S0736-0266(00)00021-8.
- Paprosky W.G., Perona P.G., Lawrence J.M. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. A 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty.* 1994;9(1):33-44. doi: 10.1016/0883-5403(94)90135-x.
- Ahmad A.Q., Schwarzkopf R. Clinical evaluation and surgical options in acetabular reconstruction: A literature review. *J Orthop.* 2015;12 (Suppl 2):S238-243. doi: 10.1016/j.jor.2015.10.011.
- Knafo Y., Houfani F., Zaharia B., Egrise F., Clerc-Urmès I., Mainard D. Value of 3D Preoperative Planning for Primary Total Hip Arthroplasty Based on Biplanar Weightbearing Radiographs. *Biomed Res Int.* 2019;2019:1932191. doi: 10.1155/2019/1932191.
- Mainard D., Barbier O., Knafo Y., Belleville R., Mainard-Simard L., Gross J.B. Accuracy and reproducibility of preoperative three-dimensional planning for total hip arthroplasty using biplanar low-dose radiographs: A pilot study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017; 103(4):531-536. doi: 10.1016/j.otsr.2017.03.001.
- Milyukov A.Y. [Classification of damages of cotyloid cavity]. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri* [Medicine and Education in Siberia]. 2012;(2). (In Russian). Available from: https://mos.ngmu.ru/article/text_full.php?id=680.
- Gudz A.I., Denisov A.O., Lasunskiy S.A., Shubnyakov I.I., Shilnikov V.A., Sorokin E.P. et al. [Management of complex acetabulum fractures and their consequences]. *Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova.* [Pirogov Russian Journal of Surgery] 2017;(2):70-76. (In Russian). doi: 10.17116/hirurgia2017270-76.

17. Tikhilov R.M., Shapovalov V.M, Artjuh V.A., Sivkov V.S. [Hip arthroplasty features after acetabular fracture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2005;(3):30-35. (In Russian).
18. Martynenko D.V., Voloshin V.P., Sherman I.A., Shevyrev K.V., Oshkukov S.A., Stepanov E.V. [Assessment of Acetabulum Deformity During Preoperative Planning for Hip arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(3):153-164. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-153-164.
19. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Chiladze I.T., Pliev D.G., Shorustamov M.T., Artyukh V.A. et al. [Choice of surgical approach for acetabular component's implantation using current classification for arthritis following acetabular fracture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2011;(2):37-43. (In Russian).

Authors' information

✉ *Svetlana V. Romanova*

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia

<https://orcid.org/0000-002-7014-2763>

e-mail: s.romanova0319@gmail.com

Aleksandr A. Pronskikh — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1197-556x>

e-mail: proal_88@mail.ru

Vitaliy L. Lukinov — Cand. Sci. (Phys.-Mat.)

<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

e-mail: Vitaliy.L.lukinov@sci-boost.com

Vyacheslav A. Bazlov

<https://orcid.org/0000-0001-8989-5516>

e-mail: sbazlov@yandex.ru

Tariel Z. Mamuladze

<https://orcid.org/0000-0001-8891-535X>

e-mail: gromadina@inbox.ru

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>

e-mail: pavlovdoc@mail.ru



Surgical Approaches for Triple Pelvic Osteotomy in Children With Hip Dysplastic Instability: Assessment of Muscle Damage

Pavel I. Bortulev, Tamila V. Baskaeva, Dmitriy B. Barsukov, Ivan Yu. Pozdnikin

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

Background. The invasiveness of surgical approaches for hip surgeries is primarily determined by the severity of the muscle injury. To date, surgeons use from one to three surgical approaches for osteotomy of the pelvic bones and acetabulum reorientation. An analysis of the scientific literature showed the lack of studies comparing the muscle trauma at different surgical approaches for triple pelvic osteotomy in children.

The aim of the study – to evaluate the degree of muscle injury during triple pelvic osteotomy through various surgical approaches in patients with developmental dysplasia of the hip (DDH).

Methods. The study included 70 patients (70 hip joints) aged 12–18 years (15.2 ± 1.4) with Crowe type I DDH treated between 2020 and 2021. All children were divided into two groups: group I consisted of 35 patients (35 hip joints) who underwent triple pelvic osteotomy using an anterolateral approach, group II – 35 patients (35 hip joints) who underwent triple pelvic osteotomy through two approaches (medial and bikini). In addition to standard radiometry of hip joints, pain severity based on the visual analog scale (VAS) and blood markers levels of muscle injury (lactate dehydrogenase, creatine phosphokinase, aspartate aminotransferase and C-reactive protein) were evaluated before and at 3rd and 7th days after surgery.

Results. Pain severity assessment by VAS was more pronounced ($p < 0.05$) in patients who underwent surgery using an anterolateral access. Values of CPK and C-reactive protein significantly ($p < 0.05$) exceeded those in patients who underwent triple pelvic osteotomy through two surgical approaches. The results of the study indicate greater hip muscles trauma during the anterolateral approach for triple pelvic osteotomy.

Conclusion. The use of anterior-lateral approach when performing triple pelvic osteotomy in children with Crowe type I DDH causes more ($p < 0.05$) muscle tissue trauma compared to two surgical approaches (medial and bikini). This is evidenced by a significant increase of creatine phosphokinase and C-reactive protein, as well as a more severe pain syndrome in the immediate postoperative period.

Keywords: developmental dysplasia of the hip, surgical approaches, triple pelvic osteotomy, pain syndrome, biochemical markers of muscle trauma.

Cite as: Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y. [Surgical Approaches for Triple Pelvic Osteotomy in Children With Hip Dysplastic Instability: Assessment of Muscle Damage]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):79-89. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1981>.

✉ Pavel I. Bortulev; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Submitted: 10.08.2022. Accepted: 30.09.2022. Published Online: 12.10.2022.

© Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y., 2022



Оценка травматичности хирургических доступов при выполнении тройной остеотомии таза у детей с диспластической нестабильностью тазобедренного сустава

П.И. Бортулёв, Т.В. Баскаева, Д.Б. Барсуков, И.Ю. Поздникин

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. Инвазивность и травматичность хирургических доступов при проведении операций на тазобедренном суставе в первую очередь определяется величиной мышечной травмы. На сегодняшний день для осуществления остеотомий костей таза и реориентации вертлужной впадины ортопедами используется от одного до трех хирургических доступов. Анализ мировой и отечественной научной литературы показал отсутствие исследований, посвященных сравнению травматичности различных хирургических доступов для выполнения тройной остеотомии таза у детей.

Цель исследования — определить степень мышечной травматизации при выполнении тройной остеотомии таза различными доступами у пациентов с дисплазией тазобедренных суставов.

Материал и методы. В исследование вошли 70 пациентов (70 тазобедренных суставов) в возрасте от 12 до 18 лет ($15,2 \pm 1,4$) с дисплазией тазобедренных суставов I степени по классификации Crowe, получавших лечение в период с 2020 по 2021 г. Все дети были разделены на две группы: I группу составили 35 пациентов (35 тазобедренных суставов), которым тройную остеотомию таза выполняли из переднебокового доступа, II группу — 35 пациентов (35 тазобедренных суставов), которым тройная остеотомия таза была выполнена из двух доступов — медиального трансдукторного и «бикини». Помимо стандартной рентгенометрии тазобедренных суставов, до операции и на 3-и, 7-е сутки после ее выполнения оценивали выраженность болевого синдрома по ВАШ и уровень маркеров мышечной травматизации: аспаратаминотрансферазы (АСТ), креатинфосфокиназы (КФК), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и С-реактивного белка (СРБ).

Результаты. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ была более выраженной ($p < 0,05$) у пациентов, которым операция выполнялась из переднебокового доступа, а значения показателей КФК и СРБ значительно ($p < 0,05$) превышали аналогичные у пациентов, которым тройная остеотомия таза была выполнена из двух хирургических доступов. Полученные данные свидетельствуют о большей травматизации мышц области тазобедренного сустава в ходе выполнения передне-бокового доступа для осуществления тройной остеотомии таза.

Заключение. Сравнительный анализ травматичности хирургических доступов, основанный на оценке биохимических показателей маркеров мышечной травмы и интенсивности болевого синдрома в послеоперационном периоде показал, что передне-боковой доступ при выполнении тройной остеотомии таза у детей с дисплазией тазобедренных суставов I степени по Crowe приводит к большей травматизации мышечной ткани ($p < 0,05$), чем применение двух хирургических доступов (медиального трансдукторного и «бикини»), о чем свидетельствуют значительное повышение КФК и СРБ в крови, а также более выраженный болевой синдром в ближайшем после операционном периоде.

Ключевые слова: дисплазия тазобедренных суставов, дети, хирургические доступы, тройная остеотомия таза, болевой синдром, биохимические маркеры мышечной травматизации.

Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю. Оценка травматичности хирургических доступов при выполнении тройной остеотомии таза у детей с диспластической нестабильностью тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):79-89. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1981>.

✉ Бортулёв Павел Игоревич; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Рукопись получена: 10.08.2022. Рукопись одобрена: 30.09.2022. Статья опубликована онлайн: 12.10.2022.

© Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., 2022

BACKGROUND

The incidence of DDH does not tend to decrease over time and, despite the modern possibilities of its earliest possible detection, the percentage of underdiagnosis remains at a fairly high level [1, 2, 3, 4]. Underdevelopment of the acetabulum arch creates conditions for cranial displacement of the femoral head with the formation of hip subluxation, and its first clinical symptoms appear already in adolescence due to the presence of a site of local pathological load on hyaline cartilage [5, 6, 7].

Many domestic and foreign authors have scientifically proven the high effectiveness of triple pelvic osteotomy in the complex treatment of DDH and coxarthrosis in children, adolescents and young adults [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Orthopedic surgeons use from one to three surgical approaches to perform osteotomies of the pelvic bones and to reorient the acetabulum [14, 15, 16, 17]. In addition, there are works devoted to the implementation of triple osteotomy from minimally invasive approaches [18, 19, 20, 21]. However, it should be noted that today there are contradictions in the concept of "minimally invasive approach". Thus, number of authors have formed the opinion that approach with a cut of the skin up to 10 cm is minimally invasive or minimally traumatic, even if there is significant injury to the periarticular muscles [22, 23, 24, 25]. In contrast to this opinion, other authors believe that the term "minimally invasive/minimally traumatic approach" means surgical approach, in which no dissection of muscles and tendons is performed, and the length of the skin incision does not matter much [26, 27]. In addition, number of authors who perform triple pelvic osteotomy from more than one skin incision, insignificant in length, also consider this technique minimally invasive [28]. At the same time, the invasiveness and traumaticity of approach is primarily determined by the magnitude of muscle injury, one of the ways to determine which is the assessment of biochemical markers of muscle injury: aspartate aminotransferase (AST), creatine phosphokinase (CPK), lactate dehydrogenase (LDH) and C-reactive protein (CRP) [29].

We conducted an analysis of foreign and domestic scientific literature on the comparison of the traumaticity of various surgical approaches for performing triple pelvic osteotomy, which

showed the absence of such studies, which emphasizes the relevance of its implementation.

The *aim of the study* was to assess the degree of muscle injury during triple pelvic osteotomy using various approaches in patients with hip dysplasia.

METHODS

Design of the study

A monocenter cohort prospective comparative controlled study was performed.

The study is based on the results of clinical and laboratory examination in the pre- and postoperative periods of 70 patients (70 hip joints) with Crowe type I DDH aged 12 to 18 years (15.2 ± 1.4), who underwent triple pelvic osteotomy in the period from 2020 to 2021. All patients, depending on the surgical approach used, were divided into two equivalent groups. Group I consisted of 35 patients (35 hip joints) to whom triple pelvic osteotomy was performed by the generally accepted in the Center anterolateral approach. There were 30 female and 5 male patients. Group II included 35 patients (35 hip joints) who used two surgical approaches: medial transadductor and bikini approach. There were 28 female and 7 male patients.

Criteria for inclusion in the study:

- the presence of hip instability in the form of hip subluxation (type I according to the Crowe classification);
- no need to the proximal femur correction surgery;
- absence of neurological, systemic and genetic diseases;
- consent of the patient or his legal representative to participate in the study.

Exclusion criteria from the study:

- the presence of hip instability in the form of marginal, supraacetabular and iliac hip dislocation (types II–IV according to the Crowe classification);
- the need to perform intra-articular manipulations and osteotomy of the femur;
- the presence of neurological, systemic and genetic diseases;
- refusal to fill out an informed consent to participate in the study;
- the occurrence of surgical site infections in the postoperative period.

Surgical technique

Anterolateral approach. The patient's position on the table is lying on the contralateral side of the affected joint. An angular incision of the skin and subcutaneous fat is performed from the anterior superior iliac spine to the border of the femur diaphysis upper thirds 15-20 cm long. Dissection of tensor fascia lata repeats the incision of the skin with an additional cross section posteriorly at the level of the greater trochanter in order to perform manipulations on the sciatic bone. After dissection of the gap between M. gluteus medius and M. tensor fascia lata and the iliac wing isolation dissection of the cartilaginous apophysis of the iliac crest is performed, followed by subperiosteal isolation of the iliac bone body, into which a jiggly saw is carried out. The next stage is performed subperiosteal isolation and osteotomy of the pubic bone medial to the Y-shaped cartilage or crest-shaped tubercle as close as possible to the acetabulum. After dissection of n. ischiadicus subperiosteal isolation and periacetabular osteotomy of the sciatic bone cranial to the attachment site of lig. sacrotuberosus are performed.

After that, an osteotomy of the iliac bone body is performed, followed by reorientation of the liberalized acetabulum (Fig. 1).

Medial transadductor approach and bikini approach. The patient's position on the table is supine. On the lower limb, in the flexion and abduction position on the affected side, a transverse incision of the skin and subcutaneous fat is performed in the projection of the tendon m. adductor longus up to 4 cm long. A channel to the sciatic bone is formed bluntly in the intermuscular space. After subperiosteal isolation with an osteotome, its periacetabular osteotomy is performed. The next step is an incision of the skin and subcutaneous fat 1 cm below the iliac wing along the inguinal fold up to 15 cm long. After the fascia dissection the n. sutaneous femoris lateralis is visualized, isolated widely and displaced. In the interval between m. tensor fascia lata and m. sartorius, the iliac wing is isolated, followed by dissection of its cartilaginous apophysis, subperiosteal isolation of the iliac body and the jiggly saw insertion into the sciatic notch. Further manipulations did not differ from similar ones performed from an anterolateral approach (Fig. 2).

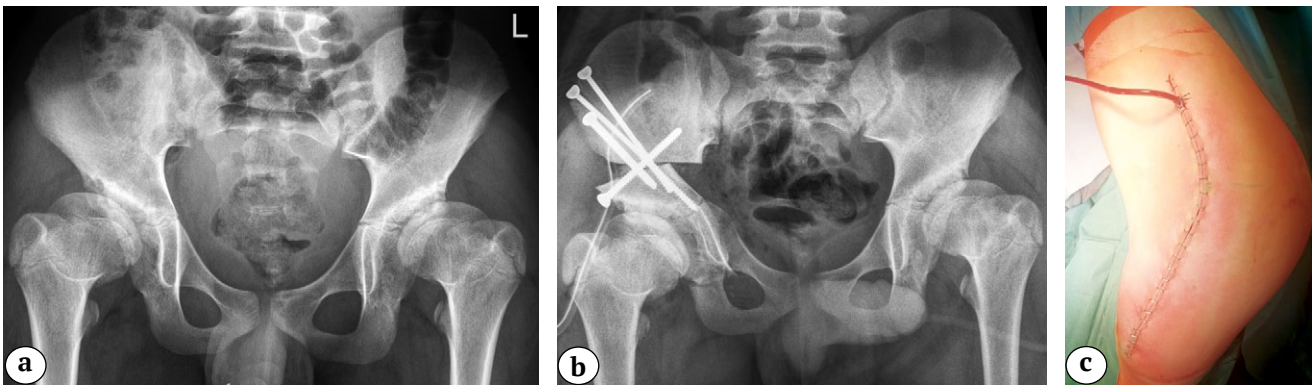


Fig. 1. A triple pelvic osteotomy through an anterolateral surgical approach:
 a – X-ray of patient 12 y.o. with Crowe type I developmental dysplasia of the hip before surgery;
 b – X-ray after restoring the correct ratios between the pelvic and femoral hip components by reorientation triple pelvic osteotomy;
 c – surgical access after suturing

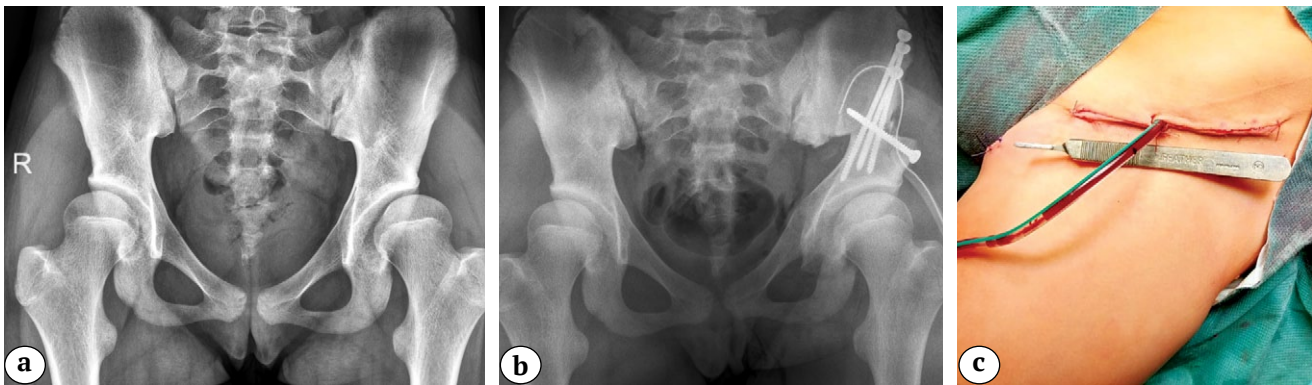


Fig. 2. A triple pelvic osteotomy from two surgical approaches:
 a – X-ray of patient 16 y.o. with Crowe type I developmental dysplasia of the hip before surgery;
 b – X-ray after restoring the correct ratios between the pelvic and femoral components by reorientation triple pelvic osteotomy;
 c – surgical access after suturing

Research methods

In addition to the generally accepted clinical examination with the filling out of the VAS questionnaire and radiological research methods, which included radiography in anteroposterior and axial projections and computed tomography of the hip joints, all patients were analyzed for biochemical markers of muscle injury before surgery and on the 3rd and 7th days of the postoperative period: LDH, CPK, AST, CRP. In addition, the analysis of the surgery duration and the volume of intraoperative blood loss was carried out.

Statistical analysis

Statistical analysis was carried out using the IBM SPSS v 26 software package. The analysis of indicators during treatment within groups of patients was carried out using the nonparametric Wilcoxon criterion, comparison of indicators in groups with different surgical approaches was carried out using the nonparametric Mann–Whitney U-test with an error probability of the first kind less than 5% ($p < 0.05$).

RESULTS

Patients of both groups, upon admission to the clinic, presented complaints of pain with an intensity of 4.5 ± 0.8 points according to VAS, typical for DDH. Gait disorder in the form of lameness was noted in 100% of patients, and the average shortening of the lower extremities was 1.4 ± 0.3 cm. Excessive rotational movements, a positive impingement test

(FADIR) was detected in 29 (83%) patients in the first group and in 30 (85%) patients in the second.

The main indicators of the pelvic and femoral joint components state obtained after radiometry, as well as their ratios, are presented in Table 1.

The X-ray anatomical structure of the hip joint in patients of both groups was characterized by changes typical of the dysplastic nature of pathology and had no statistically significant ($p > 0.05$) intergroup difference [13, 30].

A biochemical study of the above-mentioned markers of muscle injury, the results of which are presented in Table 2, showed that their values before surgery were within the reference interval and had no statistically significant differences ($p > 0.05$) between the groups of patients.

All surgical interventions were performed by experienced surgeons.

The average surgery time and the amount of blood loss in group I were 93 ± 10 minutes and 200.4 ± 36.2 ml; in group II — 92 ± 8 minutes and 166.7 ± 38.0 ml, respectively. The average surgery duration had no differences ($p > 0.05$). At the same time, the volume of intraoperative blood loss in patients who underwent triple pelvic osteotomy from two approaches was statistically significantly lower ($p < 0.05$) than in the group of patients who underwent a similar intervention from an anterolateral surgical approach. There were no neurocirculatory complications.

As a result of surgical treatment, hip joint stability was achieved in all patients of both study groups (Table 3).

Table 1

The values of the main radiometric parameters characterizing the anatomical structure and spatial orientation of the acetabulum and proximal femur before surgery

Parameter	Group I M±SD (min-max); Me (25–75%)	Group II M±SD (min-max); Me (25–75%)
Sharp angle, deg.	53±3 (50–58); 52 (51–57)	53.6±3.5 (50–57); 54 (50–57)
Tonnis angle, deg.	22.4±2.6 (18–27); 22 (20–25)	23.1±2.5 (20–28); 23 (21–25)
Wiberg angle, deg.	5.0±2.6 (1–9); 5 (3–7)	4.6±2.7 (2–11); 4 (2–6)
Degree of bone coverage, %	52.4±4.1 (45–59); 52 (50–56)	50.6±3.8 (46–53); 51 (46–53)
Cranial displacement, mm	8±4 (2–16); 7 (5.0–10.5)	8.0±3.7 (3±15); 7.5 (5.0–11.8)
CDA, deg.	138.5±5.8 (125–150); 140 (135.0–141.8)	139.4±6.4 (125–150); 140 (135–142)
AA, deg.	35.5±3.7 (24–40); 36.7 (32.7–38.0)	36±4 (24–42); 36.8 (33.0–38.6)

CDA – cervical diaphyseal angle; AA – antetorsion angle.

Table 2

Values of biochemical markers of muscle traumatization before surgery

Parameter	Group I M±SD (min-max); Me (25–75%)	Group II M±SD (min-max); Me (25–75%)
LDH, Unit/l	244±15 (189–272); 242 (236–258)	247.0±12.8 (226–276); 247 (238–257)
CPK, Unit/l	98.4±30.4 (62–169); 87 (78–114)	97.0±28.3 (68–172); 89 (74–104)
Creatinine, mmol/l	61.0±7.8 (61–169); 61 (54–67)	60.1±9 (45–78); 59 (53–67)
AST, Unit/l	20.9±5.8 (11–32); 21 (15–25)	19.8±5.6 (10–32); 19 (15–24)
CRP, Mg/l	0.8±0.3 (0.3–1.2); 0.9 (0.5–1.0)	0.7±0.3 (0.2–1.3); 0.8 (0.5–1.0)

Table 3

The values of the main radiometric parameters characterizing the anatomical structure and spatial orientation of the acetabulum and proximal femur after surgery

Parameter	Group I M±SD (min-max); Me (25–75%)	Group II M±SD (min-max); Me (25–75%)
Sharp angle, deg.	35.3±4.9 (28–45); 35 (31–38)	36.2±4.8 (30–45); 36 (32–40)
Tonnis angle, deg.	6.1±1.9 (3–9); 6 (5–8)	5.4±2.1 (2–9); 5 (4–7)
Wiberg angle, deg.	31.4±7.0 (18–40); 31 (27–39)	32.7±3.9 (28–40); 33 (30–35)
Degree of bone coverage, %	93.3±5.9 (80–100); 95 (90–100)	94.7±5.2 (85–100); 95 (90–100)
Cranial displacement, mm	–	–
CDA, deg.	138.5±5.8 (125–150); 140 (135.0–141.8)	139.4±6.4 (125–150); 140 (135–142)
AA, deg.	35.5±3.7 (24–40); 36.7 (32.7–38.0)	36±4 (24–42); 36.8 (33.0–38.6)

CDA – cervical diaphyseal angle; AA – antetorsion angle.

As a result of surgical treatment in all patients in both groups, the stability of the hip joint was achieved with the values of the main radiometric indices reflecting the anatomical structure and spatial orientation of the acetabulum, as well as its ratio to the femur, which are located within the normative reference intervals. This, in our opinion, is extremely important in terms of both the possible further development of femoroac-

etabular impingement of the “pincer” type, and the complexity of positioning and implantation of the endoprosthesis cup when it is necessary to perform total hip arthroplasty in adulthood as a result of hypercorrection of the acetabular fragment position [13, 31].

The analysis of the pain syndrome severity according to VAS in the postoperative period, as well as the dynamics of its change, showed the presence of statistically significant differences ($p < 0.05$) between the groups of patients (Fig. 3).

So, patients of group I on the 3rd day after surgery noted severe pain, while patients of group II had moderate pain. On the 7th day after surgery, pain gradually stopped, but statistically significant differences in the severity of pain syndrome between patients of groups I and II ($p < 0.05$) remained.

Changes in the markers of muscle injury are presented in Table 4.

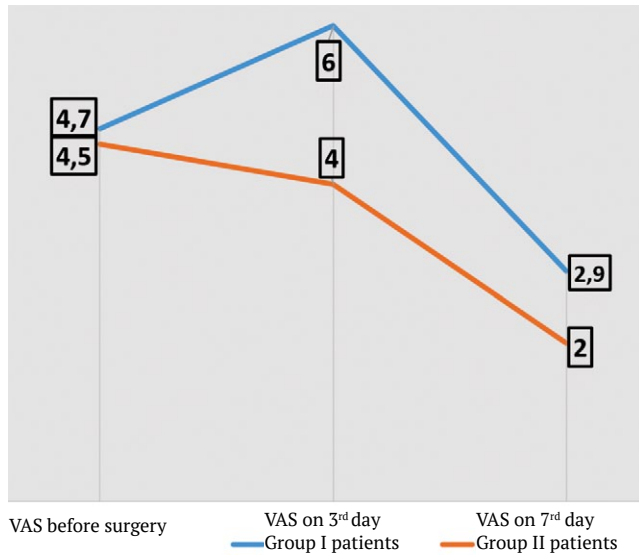


Fig. 3. Dynamics of pain syndrome in the postoperative period in patients of study groups

Table 4

Dynamics of changes in biochemical markers of muscle traumatization in the postoperative period

Parameter	Group I M±SD (min-max); Me (25–75%)	Group II M±SD (min-max); Me (25–75%)
3rd day		
LDH, Unit/l	266.0±14.7(240–291); 267 (254–278)	262±12 (241–282); 264 (253–273)
CPK, Unit/l	753.0±123.2 (540–1012)* ; 751 (657–845)	358.0±82.6 (180–493)* ; 368 (321–413)
Creatinine, mmol/l	59.0±9.9 (42–81); 57 (53–64)	58.6±10.9 (39–85); 57 (51–67)
AST, Unit/l	34.7±6.8 (20–46); 35 (29–41)	34±5 (23–42); 34 (31–39)
CRP, Mg/l	177.0±17.6 (146–222)* ; 178 (164–187)	67±24 (20–112)* ; 69 (46–84)
7th day		
LDH, Unit/l	248.0±22.8 (151–285); 251 (243–261)	253±14 (226–282); 254 (245–264)
CPK, Unit/l	193.3±50.6 (75–278)* ; 198 (163–234)	164.4±31.6 (75–234)* ; 1649 (143–186)
Creatinine, mmol/l	58.7±11.7 (41–81); 56 (49–69)	60.8±10.0 (39–81); 62 (53–69)
AST, Unit/l	23.0±7.2 (11–42); 22 (17–26)	21.6±5.4 (11–30); 22 (18–26)
CRP, Mg/l	29.0±13.6 (8–51)* ; 29 (16–39)	16.5±8.0 (1.3–32.1)* ; 14.6 (10.2–23.4)

Statistically significant values are highlighted in bold; * $p < 0.05$.

The analysis of the data presented in Table 4 showed that in patients who had triple pelvic osteotomy performed from an anterolateral surgical approach, there was a significant ($p < 0.05$) increase in the values of CPK and CRP compared with patients who had triple pelvic osteotomy performed from two approaches. This fact allows us to conclude that during all surgical manipulations on the pelvic bones from the anterolateral approach, there is a significantly greater traumatization of the muscles, which can have a negative impact on static-dynamic function in the long-term postoperative period. For the remaining biochemical markers of traumatization, we did not reveal statistically significant differences ($p > 0.05$).

DISCUSSION

In 1981, D. Tönnis first described his modification of triple pelvic osteotomy, which has gained great popularity around the world for the treatment of children with DDH and Perthes' disease, for which three separate approaches were used and there was need to change the patient's position on the table during the surgery [32]. Since then, this surgical technique has received numerous modifications, which primarily relate to the number of approaches to the pelvic bones [14, 15, 16, 17]. To date, publications on the use of minimally invasive surgical methods for performing triple pelvic osteotomy are increasingly appearing [18, 19, 20, 21].

Thus, B. Balakumar et al. describe the performance of triple pelvic osteotomy from bikini approach with an incision length of 5-7 cm, and W.B. Lehman et al. perform this type of surgery from two "almost percutaneous" cosmetic approaches [18, 19]. At the same time, it should be noted that the effectiveness of triple pelvic osteotomy performed from minimally invasive approaches is judged only by the degree of correction achieved and the length of the skin incision. The analysis of the inflicted muscle injury was not carried out in any of the publications we studied. At the same time, such studies are not uncommon comparing standard and minimally invasive approaches during primary and revision hip arthroplasty in adult patients [29, 33, 34, 35, 36, 37]. However, the results of these studies are quite contradictory, since some authors claim to cause less injury to the muscles performing minimally invasive approaches compared to standard ones. Other authors, conducting a similar bio-

chemical analysis, do not find significant differences in the indicators of muscle injury markers. H.Y. Zhao et al., after comparing anterior and posterolateral surgical approaches to the hip joint, came to the conclusion that performing anterior approach is associated with less muscle injury, as evidenced by differences in both biochemical blood analysis data and less intense postoperative pain syndrome and, as a result, less need for painkillers [35]. A team of authors from Romania, having studied the traumatism of the anterior and lateral approaches, did not find significant differences in the biochemical analysis, but proved less traumatism of the anterior approach in terms of the severity of pain syndrome after surgery and the need for narcotic painkillers [36]. Orthopedic surgeons from the NMIC of Traumatology and Orthopedics named after R.R. Vreden, having conducted a large-scale study of the traumaticity of various minimally invasive and standard approaches during primary and revision hip replacement, came to the conclusion that despite the absence of statistically significant differences in the biochemical markers of muscle injury, minimally invasive anterolateral approach is a priority for young people due to the least intense pain syndrome in the postoperative period. In addition, the authors conclude that the magnitude of intraoperative muscle injury depends, first of all, not on the possible cutting off with subsequent refixation of the hip joint area muscles, but on the pressure of instruments on these muscles to ensure adequate visualization of the surgical wound [29].

Despite the fact, that many orthopedic surgeons in our country have the opinion that the traumatism of triple pelvic osteotomy depends primarily on the number of surgical approaches, the results obtained in our study indicate the opposite. Thus, in patients who had an anterolateral approach made from a single skin incision, the values of the CPK index, which has a high specificity for any changes in human muscle tissue, on the 3rd and 7th days. after surgery, the CPK values were 2 times higher than similar values in the group of patients who had a triple pelvic osteotomy performed from two surgical approaches. The values of CRP in group I patients exceeded those in group II by 2.6 times on the 3rd day after surgery and by 1.8 times on the 7th day. In addition, the intensity of pain syndrome in patients underwent surgery with an anterolateral approach

was significantly more pronounced compared to patients who used two approaches. The results of the study are comparable with the data of H.Y. Zhao et al. and D.V. Nistor et al. [35, 36], since, in our opinion, direct approach and bikini approach, despite the different direction of skin incisions, are largely identical in terms of work in the intermuscular spaces. Besides, we believe that, in addition to the pressure of instruments on the muscles, which effects on the magnitude of muscle traumatization is concluded by A.D. Sineokii et al. [29], the traumaticity of approach also depends on the extent and localization of the dissection of non-vascular intermuscular spaces. So, with an anterolateral approach, the gap between the volumetric and important for static-dynamic function middle gluteal muscle and the tensor fascia lata muscle is dissected for a sufficiently long distance (from the greater trochanter to the anterior superior iliac spine), and with the bikini approach, separation of the gap between the sartorius muscle and the tensor fascia lata muscle is performed for a relatively short length – up to 10 cm, the abductor muscle group remains intact during this approach.

CONCLUSION

A comparative analysis of the traumaticity of surgical approaches during triple pelvic osteotomy in children with Crowe type I DDH, based on the assessment of biochemical markers of muscle injury and the intensity of pain syndrome in the postoperative period, showed that the use of anterolateral approach is statistically significant ($p < 0.05$) has a greater injury to muscle tissue than the use of two surgical approaches (medial transadductor and "bikini"), as evidenced by a significant increase in the level of CPK and CRP in the blood, as well as a more pronounced pain syndrome in the immediate postoperative period. In our opinion, to perform triple osteotomy in patients with Crowe type I DDH, it is preferable to perform surgery from medial transadductor approach and bikini approach.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bortulev P.I. – design of the study, literature review, data collection and analysis, manuscript writing.

Baskaeva T.V. – collection of material.

Barsukov D.B. – collection of material.

Pozdnikin I.Y. – collection of material.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budgetary funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, protocol № 21-3, 04.08.2021.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of children for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

REFERENCES

1. Čustović S., Šadić S., Vujadinović A., Hrustić A., Jašarević M., Čustović A. et al. The predictive value of the clinical sign of limited hip abduction for developmental dysplasia of the hip (DDH). *Med Glas (Zenica)*. 2018;15(2):174-178. doi: 10.17392/954-18.
2. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop*. 2015;6(11):886-901. doi: 10.5312/wjo.v6.i11.886.
3. Sertakova A.V., Morozova O.L., Rubashkin S.A., Timaev M.Kh., Norkin I.A [Challenges of molecular-based diagnosis developmental dysplasia of the hip in childhood]. *Vestnik Rossijskoi akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2017;72(3):195-202 (In Russian). doi: 10.15690/vramn806.
4. Pozdnikin I.Y., Baskov V.E., Voloshin S.Y., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. [Errors of diagnosis and the initiation of conservative treatment in children with congenital hip dislocation]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2017;5(2):42-51. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS5242-51.
5. Kamosko M.M., Grigor'ev I.V. [Pelvic osteotomies at treatment of dysplastic hip pathology]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [Bulletin of Traumatology and Orthopedics them. N.N. Priorov]. 2010;(1):90-93. (In Russian).

6. Zhang X., Meng Q., Ma R., Chen G., Cheng L., Shen J. Early acetabular cartilage degeneration in a rabbit model of developmental dysplasia of the hip. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(8):14505-14512.
7. Fujii M., Nakashima Y., Jingushi S., Yamamoto T., Noguchi Y., Suenaga E. et al. Intraarticular findings in symptomatic developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop.* 2009;29(1):9-13. doi: 10.1097/BPO.0b013e318190a0be.
8. Sokolovskii O.A. [Results of triple pelvic osteotomy for hip dysplasia in adolescents]. *Vestnik VGMU [Vestnik of Vitebsk State Medical University]*. 2012;11(4):74-49. (In Russian).
9. Kozhevnikov V.V., Voronchikhin E.V., Grigorieva L.G., Lobanov M.N., Burkova I.N. [Indications for and efficiency of treatment of children with residual hip joint dysplasia by triple pelvic osteotomy]. *Detskaya khirurgiya [Children surgery]*. 2017;21(4):197-201. doi: 10.18821/1560-9510-2017-21-4-197-201.
10. Konya M.N., Tuhanioglu Ü., Aslan A., Yildirim T., Bursalı A., Şahin V. et al. [A comparison of short-term clinical and radiological results of Tönnis and Steel pelvic osteotomies in patients with acetabular dysplasia]. *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi*. 2013;24(2):96-101. (In Turkish). doi: 10.5606/ehc.2013.22.
11. Farsetti P., Caterini R., De Maio F., Potenza V., Efremov K., Ippolito E. Tönnis triple pelvic osteotomy for the management of late residual acetabular dysplasia: mid-term to long-term follow-up study of 54 patients. *J Pediatr Orthop B.* 2019;28(3):202-206. doi: 10.1097/BPB.0000000000000575.
12. Li Y., Xu H., Slongo T., Zhou Q., Liu Y., Chen W. et al. Bernese-type triple pelvic osteotomy through a single incision in children over five years: a retrospective study of twenty eight cases. *Int Orthop.* 2018;42(12):2961-2968. doi: 10.1007/s00264-018-3946-5.
13. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovih M.S. [Patient specific templates for triple pelvic osteotomy in children with dysplastic hip subluxation (preliminary results)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and Orthopedics of Russia]*. 2019;25(3):47-56. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-47-56.
14. Pailhé R., Cavaignac E., Murgier J., Cahuzac J.P., de Gauzy J.S., Accadbled F. Triple osteotomy of the pelvis for Legg-Calve-Perthes disease: a mean fifteen year follow-up. *Int Orthop.* 2016;40(1):115-122. doi: 10.1007/s00264-015-2687-9.
15. Kumar D., Bache C.E., O'Hara J.N. Interlocking triple pelvic osteotomy in severe Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop.* 2002;22(4):464-470.
16. Rahimi H., Kachooei A.R., Hallaj-Moghaddam M., Gharedaghi M., Mirkazemi M, Shahpari O. et al. A modified triple pelvic osteotomy for the treatment of hip hypoplasia. *Arch Bone Joint Surg.* 2013;1(1):31-34.
17. Wu J., Yang Y., Wang X., Zhou X., Zhang C. Modified triple pelvic osteotomy for adult symptomatic acetabular dysplasia: clinical and radiographic results at midterm follow-up. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):236. doi: 10.1186/s13018-018-0922-y.
18. Lehman W.B., Mohaideen A., Madan S., Atar D., Feldman D.S., Scher D. Surgical technique for an 'almost' percutaneous triple pelvic osteotomy for femoral head coverage in children 6-14 years of age. *J Pediatr Orthop B.* 2004;13(1):57-62. doi: 10.1097/00009957-200401000-00011.
19. Balakumar B., Racy M., Madan S. Minimally invasive (MIS) Tönnis osteotomy- A technical annotation and review of short term results. *J Orthop.* 2018;15(1):253-258. doi: 10.1016/j.jor.2018.01.043.
20. Sankar W.N., Zaltz I. Single-incision Extraperiosteal Triple Innominate Osteotomy: Outcomes of an Updated Technique. *J Pediatr Orthop.* 2020;40(10):e1005-e1009. doi: 10.1097/BPO.0000000000001647.
21. Lyu X., Yang Z., Wang Y., Zhang T., Lu M., Bian Z. Novel Minimally-Invasive Triple Pelvic Osteotomy: JiShuiTan Minimally-Invasive Approach. *J Pediatr Orthop.* 2022; 42(2):e154-e162. doi: 10.1097/BPO.0000000000002019.
22. Wenz J.F., Gurkan I., Jibodh S.R. Mini-incision total hip arthroplasty: a comparative assessment of perioperative outcomes. *Orthopedics.* 2002;25(10):1031-1043. doi: 10.3928/0147-7447-20021001-14.
23. DiGioia A.M. 3rd., Plakseychuk A.Y., Levison T.J., Jaramaz B. Mini-incision technique for total hip arthroplasty with navigation. *J Arthroplasty.* 2003;18(2):123-128. doi: 10.1054/arth.2003.50025.
24. Sherry E., Egan M., Warnke P.H., Henderson A., Eslick G.D. Minimal invasive surgery for hip replacement: a new technique using the NILNAV hip system. *ANZ J Surg.* 2003;73(3):157-161. doi: 10.1046/j.1445-2197.2002.02597.x.
25. Woolson S.T., Mow C.S., Syquia J.F., Lannin J.V., Schurman D.J. Comparison of primary total hip replacements performed with a standard incision or a mini-incision. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(7):1353-1358. doi: 10.2106/00004623-200407000-00001.
26. Pflüger G., Junk-Jantsch S., Schöll V. Minimally invasive total hip replacement via the anterolateral approach in the supine position. *Int Orthop.* 2007;31 Suppl 1(Suppl 1): S7-S11. doi: 10.1007/s00264-007-0434-6.
27. Tudor A., Ruzic L., Vuckovic M., Prpic T., Rakovac I., Madjarevic T. et al. Functional recovery after muscle sparing total hip arthroplasty in comparison to classic lateral approach - A three years follow-up study. *J Orthop Sci.* 2016;21(2):184-190. doi: 10.1016/j.jos.2015.12.010.
28. Ghanem I. Surgical technique for an 'almost' percutaneous triple pelvic osteotomy for femoral head coverage in children 6-14 years of age. *J Pediatr Orthop B.* 2005;14(1):61; author reply 61. doi: 10.1097/01202412-200501000-00011.
29. Sineokiy A.D., Pliev D.G., Guatsaev M.S., Efimov N.N., Stafeev D.V., Mikhaylov K.S. et al. [Comparative analysis of muscle trauma markers depending on approaches in revision hip arthroplasty]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*. 2020. (4). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30092>. (In Russian).

30. Baskov V.E., Kamosko M.M., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Kozhevnikov V.V., Grigor'ev I.V. et al. [Transposition of the acetabulum after iliac ischial osteotomy in the treatment of hip dysplasia in infants]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2016;(2)4:5-11. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS425-11.
31. Yacovelli S., Abdelaal M., Fillingham Y., Sutton R., Madding R., Parvizi J. Prior Pelvic Osteotomy Affects the Outcome of Subsequent Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2021;36(2):600-604. doi: 10.1016/j.arth.2020.07.080.
32. Tönnis D., Behrens K., Tscharani F. A modified technique of the triple pelvic osteotomy: early results. *J Pediatr Orthop*. 1981;1(3):241-249. doi: 10.1097/01241398-198111000-00001.
33. Müller M., Tohtz S., Springer I., Dewey M., Perka C. Randomized controlled trial of abductor muscle damage in relation to the surgical approach for primary total hip replacement: minimally invasive anterolateral versus modified direct lateral approach. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011;131(2):179-189. doi: 10.1007/s00402-010-1117-0.
34. Rykov K., Reininga I.H.F., Sietsma M.S., Knobben B.A.S., Ten Have B.L.E.F. Posterolateral vs Direct Anterior Approach in Total Hip Arthroplasty (POLADA Trial): A Randomized Controlled Trial to Assess Differences in Serum Markers. *J Arthroplasty*. 2017;32(12):3652-3658.e1. doi: 10.1016/j.arth.2017.07.008.
35. Zhao H.Y., Kang P.D., Xia Y.Y., Shi X.J., Nie Y., Pei F.X. Comparison of Early Functional Recovery After Total Hip Arthroplasty Using a Direct Anterior or Posterolateral Approach: A Randomized Controlled Trial. *J Arthroplasty*. 2017;32(11):3421-3428. doi: 10.1016/j.arth.2017.05.056.
36. Nistor D.V., Caterev S., Bolboacă S.D., Cosma D., Lucaciu D.O.G., Todor A. Transitioning to the direct anterior approach in total hip arthroplasty. Is it a true muscle sparing approach when performed by a low volume hip replacement surgeon? *Int Orthop*. 2017;41(11):2245-2252. doi: 10.1007/s00264-017-3480-8.
37. Landgraeber S., Quitmann H., Güth S., Haversath M., Kowalczyk W., Kecskeméthy A. et al. A prospective randomized peri- and post-operative comparison of the minimally invasive anterolateral approach versus the lateral approach. *Orthop Rev (Pavia)*. 2013;5(3):e19. doi: 10.4081/or.2013.e19.

Authors' information

✉ Pavel I. Bortulev — Cand. Sci. (Med.)

Address: 64-68, Parkovaya str., St. Petersburg, Pushkin, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>

e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Tamila V. Baskaeva

<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>

e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Dmitry B. Barsukov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>

e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Ivan Yu. Pozdnykin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>

e-mail: pozdnykin@gmail.com



Tactics of Surgical Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis Associated With Mild Chronic Epiphyseal Displacement

Dmitriy B. Barsukov, Pavel I. Bortulev, Vladimir E. Baskov, Ivan Yu. Pozdnikin, Tatyana V. Murashko, Tamila V. Baskaeva

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

Background. The appearing of data on cam-type FAI in patients with sequelae of slipped capital femoral epiphysis characterized by mild chronic epiphyseal displacement suggests that along with fixation of the proximal femoral epiphysis, modeling of the head-neck transition and restoration of the femoral offsets using arthroscopic techniques should be performed. Meanwhile, it is well known that after epiphyseal fixation, complete remodeling of the epimetaphysis and, consequently, disappearance of the morphological substrate of potential FAI can occur due to the ongoing enchondral and echondral growth. In this regard, the issue of indications for intraarticular interventions in studied patients remains currently open.

The aim of the study was to determine the incidence of FAI in the postoperative period in patients with slipped capital femoral epiphysis characterized by mild chronic epiphyseal displacement, and to estimate the requirement of further surgical treatment.

Methods. The results of the examination of 32 patients with mild chronic epiphyseal displacement in the typical posterior inferior direction who underwent cannulated epiphyseal screw fixation were analyzed for the severity of epimetaphysis remodeling and the presence of FAI in the postoperative period. Clinical, radiological, magnetic resonance, and statistical methods were used.

Results. At the age of 18-19 years, FAI with pain syndrome in everyday life was found in 9 (28.1%) patients — 8 of them did not have even partial remodeling of the femoral component of the joint, another 9 (28.1%) patients did not suffer from pain syndrome in everyday life, but had other clinical, radiological and MR signs of cam-type FAI. Complete or almost complete remodeling of the proximal femoral epimetaphysis occurred in 14 (43.8%) patients.

Conclusion. In our opinion, therapeutic and diagnostic arthroscopy of the hip joint for the purpose of modeling the head-neck transition at the age of 18-19 years is indicated for more than one quarter (28.1%) of the investigated patients because of the presence of reliable signs of FAI.

Keywords: slipped capital femoral epiphysis, hip joint, femoroacetabular impingement, hip arthroscopy.

Cite as: Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnikin I.Yu., Murashko T.V., Baskaeva T.V. [Tactics of Surgical Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis Associated With Mild Chronic Epiphyseal Displacement]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):90-101.(In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1774>.

✉ Dmitriy B. Barsukov; e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Submitted: 25.04.2022. Accepted: 17.11.2022. Published Online: 08.12.2022.

© Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnikin I.Yu., Murashko T.V., Baskaeva T.V., 2022

Тактика хирургического лечения пациентов с юношеским эпифизолизом головки бедренной кости при хроническом смещении эпифиза легкой степени

Д.Б. Барсуков, П.И. Бортулёв, В.Е. Басков, И.Ю. Поздникин, Т.В. Мурашко, Т.В. Баскаева

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. Появление данных о феморо-ацетабулярном импинджменте (ФАИ) сам-типа у пациентов с последствиями юношеского эпифизолиза головки бедренной кости, характеризующегося хроническим смещением эпифиза легкой степени, требует, наряду с фиксацией проксимального эпифиза бедренной кости, моделирования перехода «головка – шейка» с использованием артроскопической техники. Однако после фиксации эпифиза вследствие продолжающегося энхондрального и экхондрального роста может произойти полное ремоделирование эпиметафиза и, следовательно, исчезновение морфологического субстрата потенциального ФАИ. В связи с этим вопрос о показаниях к внутрисуставным вмешательствам у пациентов с юношеским эпифизолизом головки бедренной кости и его последствиями на сегодняшний день остается открытым.


Цель исследования — определить частоту встречаемости феморо-ацетабулярного импинджмента в послеоперационном периоде у пациентов с юношеским эпифизолизом головки бедренной кости, характеризующимся хроническим смещением эпифиза легкой степени, и оценить потребность в проведении последующего хирургического лечения.


Материал и методы. Проанализированы результаты обследования 32 больных с хроническим смещением эпифиза легкой степени в типичном направлении кзади книзу, которым выполнена фиксация эпифиза канюлированным винтом, на предмет выраженности ремоделирования эпиметафиза и наличия ФАИ в послеоперационном периоде. В работе использованы клинический, рентгенологический, магнитно-резонансный и статистический методы исследования.

Результаты. В возрасте 18–19 лет ФАИ обнаружен у 9 (28,1%) пациентов, у 8 из них не произошло даже частичное ремоделирование бедренного компонента сустава, еще 9 (28,1%) больных не страдали от болевого синдрома в повседневной жизни, но имели иные клинические, а также рентгенологические и МР-признаки деформации сам-типа. Полное или практически полное ремоделирование проксимального эпиметафиза бедренной кости произошло у 14 (43,8%) пациентов.

Заключение. По нашему мнению, лечебно-диагностическая артроскопия тазобедренного сустава с целью моделирования перехода «головка – шейка» в возрасте 18–19 лет показана более чем одной четверти (28,1%) обследованных ввиду наличия у них достоверных признаков ФАИ.

Ключевые слова: юношеский эпифизолиз головки бедренной кости, тазобедренный сустав, феморо-ацетабулярный импинджмент, фиксация проксимального эпифиза бедренной кости, канюлированный винт, артроскопия тазобедренного сустава.

 Барсуков Д.Б., Бортулёв П.И., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Мурашко Т.В., Баскаева Т.В. Тактика хирургического лечения пациентов с юношеским эпифизолизом головки бедренной кости при хроническом смещении эпифиза легкой степени. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):90-101. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1774>.

 Барсуков Дмитрий Борисович; e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Рукопись получена: 25.04.2022. Рукопись одобрена: 17.11.2022. Статья опубликована онлайн: 08.12.2022.

© Барсуков Д.Б., Бортулёв П.И., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Мурашко Т.В., Баскаева Т.В., 2022

BACKGROUND

In most clinical cases slipped capital femoral epiphysis (SCFE) is associated with chronic epiphyseal displacement in the typical posterior inferior or just posterior directions. This displacement is divided into mild, moderate or severe according to its severity. Mild severity, as a rule, supposes anatomical situation with the displacement in posterior direction that does not exceed 30° [1, 2, 3].

According to the opinion of most surgeons, formed for the last several decades, mild chronic epiphyseal displacements in typical directions do not require space attitude restoration of epiphysis, so that its fixation in situ is sufficient [4, 5, 6, 7]. Meanwhile, many authors proved in their studies that at the first sight even insignificant deformity of the proximal femoral epimetaphysis might cause the cam-type femoroacetabular impingement (FAI) and contribute to the hip osteoarthritis [8, 9, 10, 11, 12, 13]. That is why nowadays scientists have resumed the search for the most optimal tactics of treating this type of patients that on the one hand will enable to prevent prominent degenerative changes in the affected joint at a young age and on the other hand to avoid unreasonable extension of the surgery in case of mild epiphyseal displacement. Some specialists offer to complement the epiphysis fixation in situ with the arthroscopic modeling of the femoral neck, particularly in the zone of its transition to the head in order to exclude chronic labrum acetabuli damages [14, 15, 16]. Other authors still do not recommend to perform intraarticular procedures expecting the remodeling of the femoral component after the epiphysis fixation during its ongoing growth [17, 18, 19]. Current discussions can be concluded only after answering the following questions: how often does the complete postoperative remodeling of epimetaphysis occur in the joints with unreduced mild chronic epiphyseal displacement; at what age does the pain syndrome typical for FAI begin in case of incomplete remodeling (or no remodeling); how often do degenerative changes in the affected joint progressively worsen?

Aim of study – to determine the incidence of FAI in the postoperative period in patients with slipped capital femoral epiphysis characterized by mild chronic epiphyseal displacement, and to estimate the requirement of further surgical treatment.

METHODS

A retrospective analysis of pre- and postoperative examination was performed in 32 patients (22 boys and 10 girls) who suffer from SCFE associated with mild chronic epiphyseal displacement in the typical posterior inferior direction on the one hand and without epiphyseal displacement on the other hand, concerning the severity of postoperative remodeling of the proximal femoral epimetaphysis as well as the presence of FAI in the postoperative period.

Inclusion criteria:

- age from 13 to 15 years old;
- no proximal femur epiphyseal fusion (partial or complete) at the growth plate level on both sides;
- chronic epiphyseal displacement in the typical posterior inferior direction with the posterior one of more than 15° (from 16° to 30°) and the inferior one of more than 5° (from 6° to 15°);
- bony prominence on the anterior surface of the femoral neck visualized on the hip X-ray in the Lauenstein view;
- positive “segment” symptom on the hip X-rays in the anteroposterior view implying that the tangent line to the superior surface of the femoral neck extended upwards does not cut out the lateral epiphyseal segment as it happens in the norm;
- no early complications of disease (hip chondrolysis and aseptic necrosis of the femoral head);
- initial stage of disease (preslipping) in the contralateral joint;
- no prior surgical treatment;
- no technical surgical mistakes.

Exclusion criteria:

- age less than 13 years old and more than 15 years old;
- complete or partial proximal femur epiphyseal fusion at the level of growth plate on one or both sides;
- chronic epiphyseal displacement in the typical posterior inferior direction without the combination of posterior displacement of more than 15° (from 16° to 30°) and inferior displacement of more than 5° (from 6° to 15°);
- chronic epiphyseal displacement in the typical posterior direction only and in atypical directions;

– acute epiphyseal displacement (primary and secondary to the chronic one).

Thus, all 32 patients had mild epiphyseal displacement and at the same time the lowest remodeling potential due to their age (no less than 13 years old) and maximal severity of anatomic disorders in combination with mild displacement.

Surgical technique

All children underwent surgical treatment that consisted of fixation of the proximal epiphyses of both femurs under C-arm fluoroscopy. Self-

tapping cannulated screws 7.0 mm with external thread for $\frac{1}{4}$ of their overall length were used. The screw was introduced into the epiphysis from the anteroexternal surface of the femur through its neck and the center of the growth plate so that the screw head was not based on the cortical layer and was spaced away by 5-10 mm (Fig. 1).

All in all, 64 surgeries were performed. Each patient underwent procedures on both hip joints at one surgical session. In all cases the implants were removed after the epiphyseal fusion at the age from 17 to 18 years old.

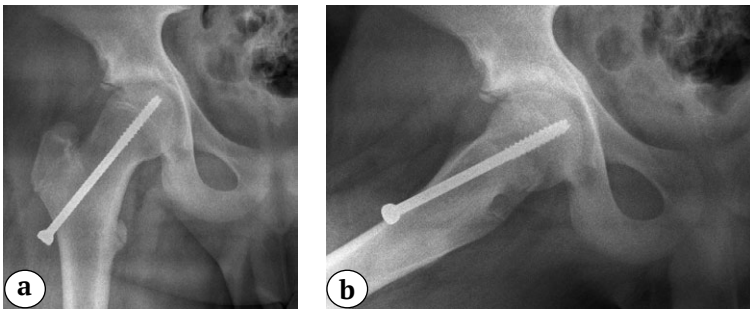


Fig. 1. X-rays of the right hip in the anteroposterior projection (a) and in the Lauenstein projection (b) of patient 13 years 11 months old, immediately after surgery. Interpretation is in the text

Preoperative examination

In the preoperative period all children had clinical and radiological examination that included X-ray and multislice spiral computed tomography (CT) of the hip joints. At the clinical examination performed in the horizontal position of a patient the main attention was paid to the hip range of motions, particularly to the presence and intensity of the Drehmann sign. The FADIR test was not performed due to a high risk of epiphysis avulsion.

The values of projection caput-collum-diaphyseal angle (CCDA), projection epiphyseal-

diaphyseal angle (EDA) and epiphyseal angle (EA) were measured on both sides in X-rays in the anteroposterior and Lauenstein views. The signs of partial or complete epiphyseal fusion at the growth plate level were also excluded. The values of posterior and inferior epiphyseal displacement angles were measured on the deformed side. The presence of positive “segment” symptom, the bony prominence on the anterior surface of the femoral neck and the absence of epiphyseal displacement on the contralateral side were confirmed (Fig. 2).

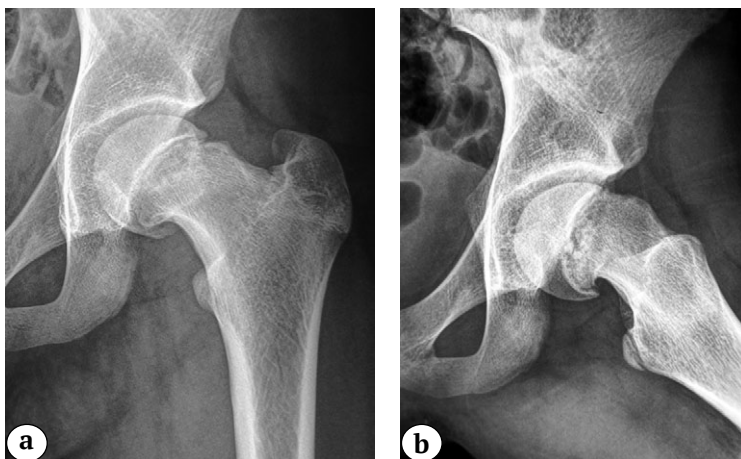


Fig. 2. X-rays of the right hip in the anteroposterior (a) and the Lauenstein projection (b) of patient 14 years 9 months old, before the surgery: no signs of synostosis at the level of the epiphyseal growth plate, positive “segment” symptom, bone prominence on the anterior surface of the femoral neck

Posterior epiphyseal displacement angle was measured evaluating the difference between the EA in the joint with no displacement (individual norm) and in the joint with displacement. Inferior epiphyseal displacement angle was measured evaluating the difference between the CCDA and the EDA in the joint with displacement.

Multislice spiral CT was performed in order to detect the signs of partial epiphyseal fusion that gave causes to cancel surgical treatment and exclude patient from the study.

In the postoperative period the clinical and radiological examination except multislice spiral CT was performed immediately after the surgery; in 3, 6 and 12 months; at least once in 18 months before reaching the age of 19 years old. Opposed to the preoperative period, this time the clinical examination included the FADIR test and the radiological examination included assessment of stability of epiphysis fixation. At the age of 18-19 years old besides the clinical and X-ray examination all patients had hip MRIs to exclude MR signs of cam-type FAI in the joint with mild epiphyseal displacement.

Stability of epiphysis fixation was evaluated by comparing the values of projection EDA and EA in the X-rays in the views mentioned above and taken on the operating table right after the surgery and at the time of appearance of the first signs of epiphyseal fusion at the growth plate level at the age from 13.5 to 15.5 years old depending on the age of a child at the moment of the surgery.

It is known that the initial MR sign of cam-type FAI is the deformity of the head-neck transitional zone defined by the excess of osteochondral mass in its anterosuperior part that leads to the disappearance of the normal concavity of transitional zone and abnormality of the spherical shape of the femoral head. That deformity was visualized in the oblique axial plane including the axis of the femoral neck as well as in the radial slices at the corresponding level perpendicular to the axis of the neck. The anterosuperior α angle was measured for the quantitative assessment of deformity of the head-neck transitional zone. Besides, the absence or the presence of uni- or multilocular cysts (the so called fibrocysts) situated along the anterosuperior margin of the femoral neck at the edge of its articular surface in the area of the contact. During the MRI examination

some cam-type FAI signs in the acetabular component of the affected joint were also excluded or confirmed. These signs included the dissociation of the anterosuperior part of the acetabular labrum from the acetabular tectorial cartilage at the level of the chondrolabral transitional zone; hyaline cartilage thinning in the anterosuperior quadrant of acetabulum and its defect (cleft); acetabular labrum degeneration and rupture.

Statistical analysis

Accumulation and systematization of initial data were performed in Microsoft Office Excel 2016 tables. Statistical analysis was carried out using STATISTICA v.13.3 software. Quantitative data distribution was assessed for normality with the use of the Shapiro-Wilk test. Mean value (M) and standard deviation (SD) were calculated to describe the quantitative data that matched normal distribution. Results are represented as $M \pm SD$. Quantitative values with non-normal distribution were described as median value (Me) and lower and upper quartiles (Q1-Q3). Nominal data were reported as absolute values and percentage. The Wilcoxon test was used to determine the significance of differences between compared paired samples. For independent samples the Mann-Whitney U-test was applied. Obtained values were compared to the critical value at the level of significance $p=0.05$. If calculated value was less than or equal to the critical one, it was concluded that the differences between compared samples were statistically significant. Comparison of two groups by quantitative values that had normal distribution was performed using the Welch's t-test.

RESULTS

Preoperative clinical study showed that all children had intermittent pain on the side of displacement associated with walking and located in the knee joint (18 cases, 56.3%), thigh (8 cases, 25.0%) or hip joint (6 cases, 18.7%) areas. In all cases the patients had no or limited range of internal hip rotation that are 23 (71.9%) and 9 (28.1%) examinations respectively. Nineteen (59.4%) of 23 patients with no internal rotation had positive Drehmann sign. All children had no pain syndrome on the contralateral side, while hip range of motions was within the norm and the Drehmann sign was negative.

Table 1

Preoperative values of projection CCDA, EDA and EA and angles of posterior and inferior epiphyseal displacement, Me (Q1–Q3)

Hip joint	Average angle values, deg.				
	Projection CCDA (n = 64)	Projection EDA (n = 64)	EA (n = 64)	Angle of posterior displacement (n = 32)	Angle of inferior displacement (n = 32)
Without epiphyseal displacement (n = 32)	136 (132–138)	136 (132–138)	82 (80–84)	–	–
With epiphyseal displacement (n = 32)	142 (138–144)	134 (131–137)	63 (60–64)	21 (18–24)	10 (8–12)

Table 1 data show that the average posterior epiphyseal displacement was 21 (18–24)°, the average inferior displacement was 10 (8–12)°. Average value of projection CCDA in the joint with epiphyseal displacement was higher than in the joints with no displacement by 6°, that is caused by improper setup of the corresponding extremity (unavoidable external rotation) in children with positive Drehmann sign. None of 32 cases (64 joints) revealed the signs of partial epiphyseal fusion in multislice spiral CT.

Thus, before surgical treatment all children had pain syndrome, limited hip range of motions, typical mild posterior and inferior epiphyseal displacement, bony prominence on the anterior surface of the femoral neck and positive “segment” symptom on the side of displacement.

Postoperative X-rays showed that epiphysis fixation resulted stable in all cases. None of 64 joints revealed statistically significant decrease of projection EDA ($p > 0.05$) and/or EA ($p > 0.05$) that attests the presence of displacement or its progression.

Analyzing MRIs taken in the 19th year of life, it was defined that the above-mentioned deformity of the head-neck transitional zone of different severity was present in 25 (78.1%) of 32 joints with epiphyseal displacement, while the value of the anterosuperior α angle varied from 46° to 71°, with $60.6 \pm 7.7^\circ$ in average (Figs. 3, 4).

Fibrocysts were clearly visualized in our studies in 8 (25.0%) of 32 joints with epiphyseal displacement, the anterosuperior α angle in each of 8 joints surpassed 55° (Fig. 5).

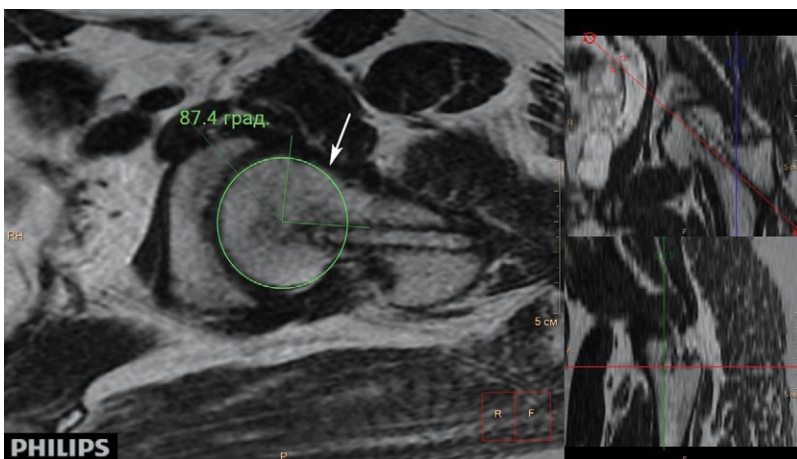


Fig. 3. MRI of the left hip (oblique axial projection, T2 weighted image) of patient 18 years 2 months old, 4 years 7 months after surgery. Deformation of head-neck junction (indicated by an arrow) — lack of normal concavity of transition and increased anterior-superior angle α to 87.4°

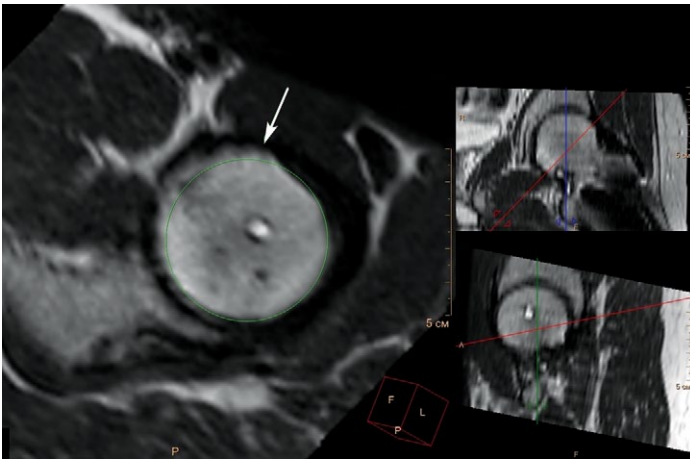


Fig. 4. MRI of the left hip (radial section at the level of head-neck junction perpendicular to the femoral neck axis, T2 weighted image) of patient 18 years 7 months old; 5 years 2 months after surgery: deformation of head-neck junction (indicated by an arrow)— excess bone mass in the anterior-superior part of the transition, which damages sphericity of the femoral head

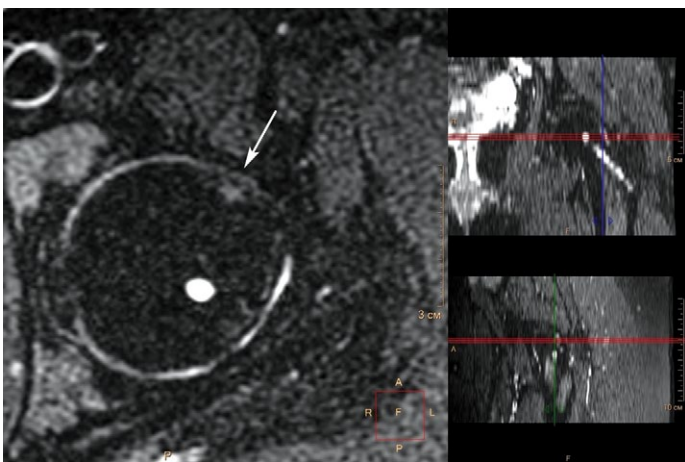


Fig. 5. MRI of the left hip (axial projection, fat suppression image) of patient 18 years 4 months old, 4 years 5 months after surgery: fibrocyst (indicated by an arrow) localized at the anterior superior margin of the femoral neck at the edge of the articular surface (at the area of impact)

As for all above-mentioned signs of cam-type FAI in the pelvic component we observed only the hyaline cartilage thinning in the anterosuperior quadrant of acetabulum in 3 (9.4%) of 32 joints with epiphyseal displacement. Value of anterosuperior α angle in each of these 3 joints surpassed 65° .

During the last examination in the 19th year of life when the signs of complete epiphyseal fusion at the growth plate level were defined, all patients were divided into 4 groups according to remodeling intensity and shape of the proximal femoral epimetaphysis on the side of displacement:

- Group I included 7 (21.9%) children with complete remodeling and no deformity (the value of the anterosuperior α angle in the MRI is $40\text{--}45^\circ$);

- Group II included 7 (21.9%) children with incomplete remodeling and insignificant residual deformity (the value of the anterosuperior α angle in the MRI is $46\text{--}55^\circ$);

- Group III included 10 (31.2%) children with incomplete remodeling and significant residual deformity (the value of the anterosuperior α angle in the MRI is $56\text{--}65^\circ$);

- Group IV included 8 (25.0%) children with no remodeling and residual deformity with the same severity (the value of the anterosuperior α angle in the MRI is $66\text{--}71^\circ$).

Each group was characterized by the combination of features.

Group I included the absence of pain syndrome in everyday life (regular excessive physical exercises such as running, weight lifting and jumping were prohibited), normal hip range of motions, negative FADIR test, negative “segment” symptom, the absence of bony prominence on the anterior surface of the femoral neck and the absence of cam-type deformity signs in the MRI (the average value of the anterosuperior α angle was $42.9 \pm 1.7^\circ$).

Group II included the absence of pain syndrome in everyday life, normal hip range of

motions (4 of 7 children) or barely noticeable (within 10°) limited internal rotation (3 of 7 children), negative FADIR test, negative “segment” symptom, the absence of bony prominence on the anterior surface of the femoral neck, unreliable signs of cam-type deformity in the MRI (the average value of the anterosuperior α angle was 50.1±3.3°).

Group III included the absence of pain syndrome in everyday life (9 of 10 children), limited hip range of motions, positive FADIR test, positive “segment” symptom, the presence of bony prominence on the anterior surface of the femoral neck (5 of 10 children had the same prominence size, other 5 children had reduced prominence), reliable signs of cam-type deformity in the MRI with significant changes of the head-neck transitional zone (the average value of the anterosuperior α angle was 61.9±3.0°) and the presence of fibrocysts (3 of 10 children).

Group IV included the presence of pain syndrome in everyday life, limited hip range of motions, positive FADIR test, positive “segment” symptom, the presence of bony prominence on the anterior surface of the femoral neck (with the same prominence size), reliable signs of cam-type deformity in the MRI with significant changes of the head-neck transitional zone (the average value of the anterosuperior α angle was 68.3±1.5°), the presence of fibrocysts (5 of 8 children) and hyaline cartilage thinning in the anterosuperior quadrant of acetabulum (3 of 8 children). Analysis of dependence between the value of the anterosuperior α angle, FADIR test results and the presence of pain syndrome in everyday life was performed (Tab. 2).

This table shows that the pain syndrome occurred in patients with positive FADIR test only ($p < 0.001$). These patients who declared the presence of pain syndrome had increased α angle value ($p < 0.001$). All patients with the $\alpha \geq 56^\circ$ angle had positive FADIR test ($p < 0.001$), and the great majority of them suffered from pain syndrome ($p < 0.001$).

The shape of proximal femoral epimataphysis was normal in all 32 cases. Postoperative X-rays of one patient of the Group IV may serve as an illustration of the absence of the proximal femoral epimetaphysis remodeling (Fig. 6). His preoperative X-rays reveal posterior epiphyseal displacement by 17° and inferior displacement by 8°, positive “segment” symptom and bony prominence on the anterior surface of the femoral neck. X-rays taken in the 19th year of life show typical cam-type deformity as well as persisted positive “segment” symptom and bony prominence on the anterior surface of the femoral neck of initial size.

Thus, FAI was confirmed in 9 (28.1%) of 32 examined patients. It is worth noticing that 8 of these 9 children had even no partial femoral component remodeling and were enrolled in the Group IV. All these 9 patients were recommended to undergo complete examination to determine the necessity of hip arthroscopy in order to remove the morphological substrate of FAI. Other 9 patients from the Group III who did not suffer from pain syndrome in everyday life but had other clinical, radiological and MR signs of cam-type deformity continued to be examined in dynamics. Complete or nearly complete remodeling of the proximal femoral epimetaphysis occurred in 14 (43.8%) of 32 joints with epiphyseal displacement in patients of Groups I and II.

Table 2

Anterosuperior α angle value, FADIR test results and presence of pain syndrome in everyday life in examined patients

Feature		n	Anterosuperior α angle, deg. M±SD (min, max)	<i>p</i>	Pain syndrome «+» / «-»	<i>p</i>
FADIR test	«-»	14	46.5±4.6 (40.55)	<0.001	0/14	<0.001
	«+»	18	64.7±4.0 (56.71)		9/9	
Pain syndrome	«-»	23	52.4±8.5 (40.65)	<0.001	-	-
	«+»	9	67.9±1.8 (65.71)		-	

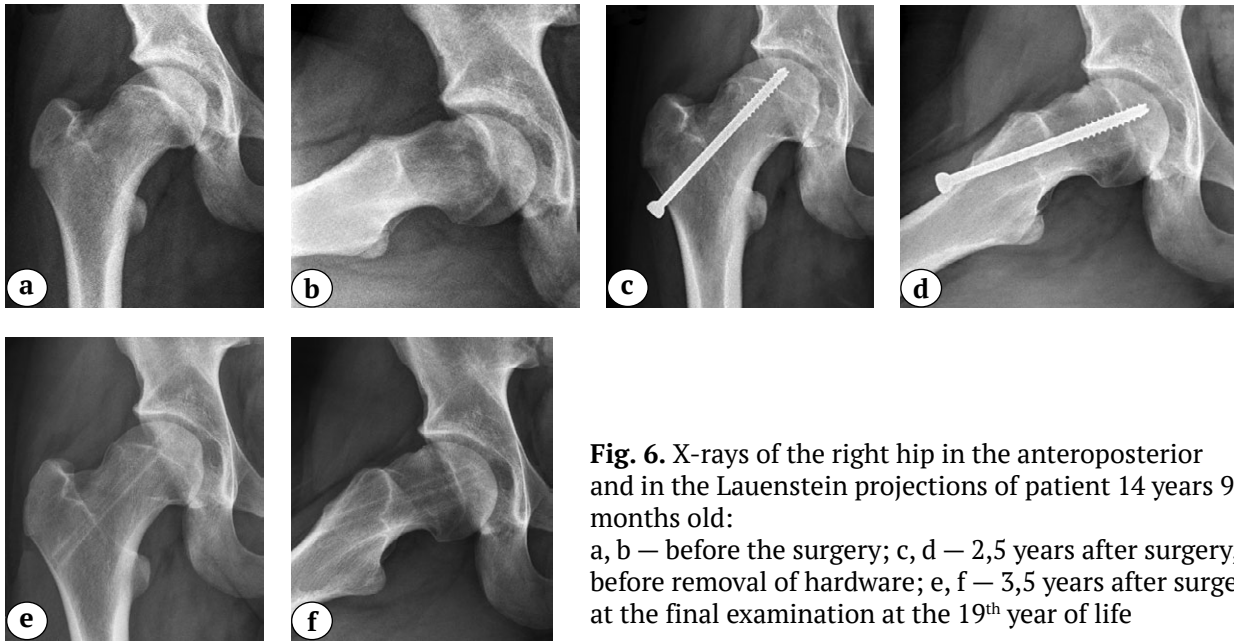


Fig. 6. X-rays of the right hip in the anteroposterior and in the Lauenstein projections of patient 14 years 9 months old: a, b — before the surgery; c, d — 2,5 years after surgery, before removal of hardware; e, f — 3,5 years after surgery, at the final examination at the 19th year of life

DISCUSSION

Remodeling mechanism of the proximal femoral epimetaphysis in case of slipped capital femoral epiphysis due to echondral and enchondral growth was discovered in the middle of the past century [20, 21]. We discussed them in our previous publications [22, 23]. Meanwhile, literature data concerning the incidence and intensity of remodeling are contradictory and rare [24, 25]. Discovered details about cam-type FAI that occurs in joints with mild residual deformity of epimetaphysis after SCFE, bring surgeons to think about the elimination of morphological substrate of FAI, specifically about arthroscopic modeling of the head-neck transitional zone in order to restore its normal concavity. Notably some authors suggest performing this remodeling right after the fixation of epiphysis [26, 27], while the others express opinion that it should be done at the second stage after the end of epiphyseal fusion at the growth plate level [28, 29]. However, FAI problem is still disregarded in the majority of publications on the topic of discussion [30, 31, 32, 33]. Current study data been analyzed, we made the conclusion that it was advisable to perform treatment and diagnostic arthroscopy of the affected joint differentially as a subsequent stage of surgical treatment. According to our findings more than one fourth of patients aged 18-19 years require this procedure.

MR signs of cam-type FAI in adult patients, particularly the studied head-neck transitional

zone deformity characterized by the excess of osteochondral mass in the anterosuperior part of the zone, are described in modern literature in details [8, 9, 10, 34]. It is defined that fibrocyts located along the anterosuperior margin of the femoral neck can have a size of 2 to 15 mm, while their maximal number is registered in the joints with higher α angle values [34]. Nowadays it is proved that the anterosuperior part of acetabular labrum of the affected joint may start detaching over time from the acetabular tectorial cartilage at the level of chondrolabral transitional zone due to its chronic traumatization. Moreover, the hyaline cartilage thinning and its defect formation (cleft) may also occur in the anterosuperior quadrant of acetabulum, that, as a result, can lead to the detachment of tectorial cartilage from the underlying bone with the flap formation. Degeneration of acetabular labrum and its rupture may be observed significantly later in case of cam-type FAI as they are more typical for pincer-type impingement [6, 8, 16]. The above-mentioned MR signs of cam-type FAI in the pelvic component of the joint are more often detected in adult patients. As for children, these signs usually need more time to manifest fully because of a short period of presence of femoral component deformity, that is definitely confirmed in our study. That is probably why the FAI clinical signs can be rather poor in children. Insufficient attention to the problem of cam-type deformity in children with SCFE associated with mild

chronic epiphyseal displacement seems to be caused by the absence of typical pain syndrome in the majority of young patients. We found no available data on the FAI frequency in studied cohort of patients. According to our findings, reliable MR signs of cam-type deformity are found in 56.2% of patients aged 18-19 years, while 28.1% of patients with this deformity report on pain syndrome during everyday activity, that is typical for FAI.

It should be reminded that out of all children with mild epiphyseal displacement we enrolled in our study those who had the lowest remodeling potential of epimetaphysis due to their age (no less than 13 years old) and the most severe anatomic dysmorphism.

CONCLUSION

Complete or partial remodeling of the proximal femoral epimetaphysis in case of slipped capital femoral epiphysis associated with mild chronic epiphyseal displacement was determined after its fixation with self-tapping cannulated screws in 75.0% of clinical cases (Groups I, II and III). There was no remodeling in 25.0% of cases (Group IV).

Reliable signs of cam-type deformity in hip joint MRIs taken in the 19th year of life were identified in 56.2% of clinical cases (Groups III and IV). Meanwhile, this deformity manifested in everyday life with pain syndrome typical for FAI only in 28.1% of cases (Group IV and 1 patient of the Group III).

Treatment and diagnostic hip arthroscopy consisted of remodeling of the head-neck transitional zone for recovering its normal concavity at the age of 18-19 years old is indicated for 28.1% of patients (Group IV and 1 patient from the Group III) with reliable clinical, radiological and MR signs of FAI, while 21.9% of patients (Group I) do not need this surgery due to complete remodeling of the proximal femoral epimetaphysis.

DISCLAIMERS

Author contribution

Barsukov D.B. — study design, collection and processing of data, literature review, writing the draft.

Bortulev P.I. — text editing, collection and processing of material.

Baskov V.E. — collection and processing of data.

Pozdnikin I.Yu. — collection and processing of data.

Murashko T.V. — collection and processing of data.

Baskaeva T.V. — collection and processing of data.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budgetary.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, protocol No 22-2, 02.02.2021.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of children for publication of relevant medical information and all accompanying images within the manuscript.

REFERENCES

1. Krasnov A.I. [Slipped capital femoral epiphysis]. In: *Traumatology: National Guide*. M.: GEOTAR-Media; 2011. P. 989-994. (In Russian).
2. Wensaas A., Svenningsen S., Terjesen T. Long-term outcome of slipped capital femoral epiphysis: a 38-year follow-up of 66 patients. *J Child Orthop*. 2011;5(2):75-82. doi: 10.1007/s11832-010-0308-0.
3. Shkatula Ju.V. [Etiology, pathogenesis, diagnosis and treatment of slipped capital femoral epiphysis (the analytical review of the literature)]. *Vestnik Sum GU*. 2007;2:122-135. (In Russian).
4. Krechmar A.N., Krasnov A.I. [Surgical treatment of cervical-epiphyseal deformities of the femur in children and adolescents]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 1986;(3):18-20. (In Russian).
5. Green D.W., Reynolds R.A., Khan S.N., Tolo V. The delay in diagnosis of slipped capital femoral epiphysis: a review of 102 patients. *HSS J*. 2005;1(1):103-106. doi: 10.1007/s11420-005-0118-y.
6. Falciglia F., Aulisa A.G., Giordano M., Boldrini R., Guzzanti V. Slipped capital femoral epiphysis: an ultrastructural study before and after osteosynthesis. *Acta Orthop*. 2010;81(3):331-336. doi: 10.3109/17453674.2010.483987.
7. Abraham E., Gonzalez M.H., Pratap S., Amirouche F., Atluri P., Simon P. Clinical implications of anatomical wear characteristics in slipped capital femoral epiphysis and primary osteoarthritis. *J Pediatr Orthop*. 2007;27(7):788-795. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181558c94.

8. Ganz R., Leunig M., Leunig-Ganz K., Harris W.H. The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):264-272. doi: 10.1007/s11999-007-0060-z.
9. Siebenrock K.A., Ferner F., Noble P.C., Santore R.F., Werlen S., Mamisch T.C. The cam-type deformity of the proximal femur arises in childhood in response to vigorous sporting activity. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(11):3229-3240. doi: 10.1007/s11999-011-1945-4.
10. Ziebarth K., Leunig M., Slongo T., Kim Y.J., Ganz R. Slipped capital femoral epiphysis: relevant pathophysiological findings with open surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(7):2156-2162. doi: 10.1007/s11999-013-2818-9.
11. Wylie J.D., McClincy M.P., Uppal N., Miller P.E., Kim Y.J., Millis M.B. et al. Surgical treatment of symptomatic post-slipped capital femoral epiphysis deformity: a comparative study between hip arthroscopy and surgical hip dislocation with or without intertrochanteric osteotomy. *J Child Orthop.* 2020;14(2):98-105. doi: 10.1302/1863-2548.14.190194.
12. Bogopolskiy O.E. [Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):155-168. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-1636.
13. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Pliev D.G., Bogopolskiy O.E., Guatsaev M.S. [Roentgenography potentialities for early diagnosis of Hip pathologies]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):117-131. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-117-131.
14. Al-Nammari S.S., Tibrewal S., Britton E.M., Farrar N.G. Management outcome and the role of manipulation in slipped capital femoral epiphysis. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2008;16(1):131. doi: 10.1177/230949900801600134.
15. Accadbled F., Murgier J., Delannes B., Cahuzac J.P., de Gauzy J.S. In situ pinning in slipped capital femoral epiphysis: long-term follow-up studies. *J Child Orthop.* 2017;11(2):107-109. doi: 10.1302/1863-2548-11-160282.
16. Zaltz I., Kelly B.T., Larson C.M., Leunig M., Bedi A. Surgical treatment of femoroacetabular impingement: what are the limits of hip arthroscopy? *Arthroscopy.* 2014;30(1):99-110. doi: 10.1016/j.arthro.2013.10.005.
17. Sonnega R.J., van der Sluijs J.A., Wainwright A.M., Roposch A., Hefti F. Management of slipped capital femoral epiphysis: results of a survey of the members of the European Paediatric Orthopaedic Society. *J Child Orthop.* 2011;5(6):433-438. doi: 10.1007/s11832-011-0375-x.
18. Örtengren J., Björklund-Sand L., Engbom M., Siversson C., Tiderius C.J. Unthreaded Fixation of Slipped Capital Femoral Epiphysis Leads to Continued Growth of the Femoral Neck. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(5):494-498. doi: 10.1097/BPO.0000000000000684.
19. Arora S., Dutt V., Palocaren T., Madhuri V. Slipped upper femoral epiphysis: Outcome after in situ fixation and capital realignment technique. *Indian J Orthop.* 2013;47(3):264-271. doi: 10.4103/0019-5413.111492.
20. Billing L., Severin E. Slipping epiphysis of the hip; a roentgenological and clinical study based on a new roentgen technique. *Acta Radiol Suppl.* 1959;174:1-76.
21. O'Brien E.T., Fahey J.J. Remodeling of the femoral neck after in situ pinning for slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Am.* 1977;59(1):62-68.
22. Barsukov D.B., Bortulev P.I., Baskov V.E., Pozdnyukov I.Yu., Murashko T.V., Baskaeva T.V. [Selected aspects of proximal femoral epiphysis fixation in children with early stages of slipped capital femoral epiphysis]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2021;9(3):277-286. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS75677.
23. Barsukov D.B., Krasnov A.I., Kamosko M.M. [Surgical treatment of early stages of the slipped capital femoral epiphysis in children]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and orthopedics]. 2016;(1):40-47. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS6378-86.
24. Bellemans J., Fabry G., Molenaers G., Lammens J., Moens P. Slipped capital femoral epiphysis: a long-term follow-up, with special emphasis on the capacities for remodeling. *J Pediatr Orthop B.* 1996;5(3):151-157.
25. Jones J.R., Paterson D.C., Hillier T.M., Foster B.K. Remodelling after pinning for slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Br.* 1990;72(4):568-573. doi: 10.1302/0301-620X.72B4.2380205.
26. Sailhan F., Courvoisier A., Brunet O., Chotel F., Berard J. Continued growth of the hip after fixation of slipped capital femoral epiphysis using a single cannulated screw with a proximal threading. *J Child Orthop.* 2011;5(2):83-88. doi: 10.1007/s11832-010-0324-0.
27. Burke J.G., Sher J.L. Intra-operative arthrography facilitates accurate screw fixation of a slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(8):1197-1198. doi: 10.1302/0301-620X.86B8.14889.
28. Örtengren J., Björklund-Sand L., Engbom M., Tiderius C.J. Continued Growth of the Femoral Neck Leads to Improved Remodeling After In Situ Fixation of Slipped Capital Femoral Epiphysis. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(3):170-175. doi: 10.1097/BPO.0000000000000797.
29. Häggglund G. Pinning the slipped and contralateral hips in the treatment of slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop.* 2017;11(2):110-113. doi: 10.1302/1863-2548-11-170022.
30. Swarup I., Shah R., Gohel S., Baldwin K., Sankar W.N. Predicting subsequent contralateral slipped capital femoral epiphysis: an evidence-based approach. *J Child Orthop.* 2020;14(2):91-97. doi: 10.1302/1863-2548.14.200012.
31. Häggglund G., Bylander B., Hansson L.I., Selvik G. Bone growth after fixing slipped femoral epiphyses: brief report. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(5):845-846. doi: 10.1302/0301-620X.70B5.3192598.

32. Uglow M.G., Clarke N.M. The management of slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(5):631-635. doi: 10.1302/0301-620x.86b5.15058.
33. Lim Y.J., Lam K.S., Lee E.H. Review of the management outcome of slipped capital femoral epiphysis and the role of prophylactic contra-lateral pinning re-examined. *Ann Acad Med Singap.* 2008;37(3):184-187.
34. Leunig M., Beck M., Kalhor M., Kim Y.J., Werlen S., Ganz R. Fibrocystic changes at anterosuperior femoral neck: prevalence in hips with femoroacetabular impingement. *Radiology.* 2005;236(1):237-246. doi: 10.1148/radiol.2361040140.

Authors' information

✉ *Dmitriy B. Barsukov* – Cand. Sci. (Med.)

Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>

e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Pavel I. Bortulev – Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>

e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Vladimir E. Baskov – Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>

e-mail: dr.baskov@mail.ru

Ivan Yu. Pozdnikin – Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>

e-mail: pozdnikin@gmail.com

Tatyana V. Murashko

<https://orcid.org/0000-0002-0596-3741>

e-mail: popova332@mail.ru

Tamila V. Baskaeva

<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>

e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru



Сравнительная характеристика кинематических параметров ходьбы детей с ДЦП в зависимости от типа фиксации стопы и голеностопного сустава

А.А. Кольцов¹, А.Ю. Аксёнов², Э.И. Джомардлы¹

¹ ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Актуальность. У пациентов с детским церебральным параличом (ДЦП) часто наблюдаются вторичные ортопедические деформации и нарушения паттерна ходьбы, с целью коррекции которых применяют различные методы лечения, в том числе — ортезирование. За рубежом наиболее часто в клинической практике используются ортезы (АФО) на голеностопные суставы, тогда как в России — сложная ортопедическая обувь. Вместе с тем работы по сравнительному анализу влияния указанных ортопедических средств на биомеханические параметры походки отсутствуют.

Цель исследования — сравнить кинематические параметры ходьбы детей с ДЦП в зависимости от типа фиксации стопы и голеностопного сустава.

Материал и методы. Проведены 25 биомеханических исследований (9 тестов босиком; 7 тестов в ортопедической обуви; 9 тестов в АФО) 9 пациентам с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 2 и GMFCS 3.

Результаты. Анализ показал, что ношение АФО по сравнению с ходьбой босиком независимо от уровня GMFCS положительно влияет на пространственно-временные характеристики ходьбы, на кинематику голеностопного и коленного суставов, без существенного влияния на функцию тазобедренного сустава. В связи с этим отмечено улучшение интегрального показателя — индекса походки. Использование ортопедической обуви у пациентов с уровнями глобальных моторных функций GMFCS 2 и GMFCS 3 привело к улучшению кинематики ГСС и КС. Вместе с тем у пациентов в группе GMFCS 2 применение ортопедической обуви обеспечило улучшение большего количества составляющих индекса походки, тогда как в группе GMFCS 3 количество таких переменных было значительно меньше. Сравнительный анализ результатов показал, что кинематические параметры ходьбы в ортопедической обуви лучше у пациентов группы GMFCS 2, но в группе GMFCS 3 существенно лучше при использовании АФО.

Заключение. Выбор типа фиксации стопы у пациентов с ДЦП с учетом уровня нарушения глобальных моторных функций может существенно влиять на коррекцию биомеханических параметров ходьбы.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, биомеханика ходьбы, ортез, ортопедическая обувь, голеностопный сустав.

Кольцов А.А., Аксёнов А.Ю., Джомардлы Э.И. Сравнительная характеристика кинематических параметров ходьбы детей с ДЦП в зависимости от типа фиксации стопы и голеностопного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):102-113. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1682>.

Кольцов Андрей Анатольевич; e-mail: katandr2007@yandex.ru

Рукопись получена: 15.10.2021. Рукопись одобрена: 08.11.2022. Статья опубликована онлайн: 15.12.2022.

© Кольцов А.А., Аксёнов А.Ю., Джомардлы Э.И., 2022



Kinematic Comparison of Orthopedic Shoes and Ankle-Foot Orthoses in Children With Cerebral Palsy

Andrey A. Koltsov¹, Andrey Yu. Aksenov², Elnur I. Dzhomardly¹

¹ Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled n. a. G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russia

² National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, Russia

Background. In patients with cerebral palsy (CP), secondary orthopedic deformities and violations of the walking pattern are often observed, so various methods of treatment are used for its correction, including orthosis. Abroad, orthoses (AFO) for ankle joints are most often used in clinical practice, whereas in Russia complex orthopedic shoes are used. At the same time, there are no comparative studies investigating the influence of these orthopedic products on the biomechanical parameters of gait.

The aim of the study was to compare the kinematic parameters of walking in children with cerebral palsy, depending on the type of fixation of the foot and ankle joint.

Methods. 25 biomechanical studies (9 barefoot tests; 7 tests in orthopedic shoes; 9 tests in AFO) were conducted in 9 patients with GMFCS 2 and GMFCS 3 levels of global motor function impairment.

Results. The analysis showed that using AFO compared to walking barefoot, regardless of the GMFCS level, positively affects the space-time characteristics of walking, the kinematics of the ankle and knee joints, without significantly affecting the function of the hip joint. In this regard, an improvement in the integral indicator – the gait index – was noted. The use of orthopedic shoes in patients with GMFCS 2 and GMFCS 3 levels of global motor functions led to an improvement in the kinematics of the ankle and knee joints. At the same time, in patients in the GMFCS 2 group, the use of orthopedic shoes provided an improvement in more components of the gait index, whereas in the GMFCS 3 group, the number of such variables was significantly less. A comparative analysis of the results showed that the kinematic parameters of walking in orthopedic shoes are better in patients of the GMFCS 2 group, but in the GMFCS 3 group it is significantly better when using AFO.

Conclusion. The choice of the type of foot fixation in patients with cerebral palsy, taking into account the level of global motor functions impairment, can significantly affect the correction of biomechanical parameters of walking.

Keywords: cerebral palsy, biomechanics, walking, orthosis, orthopedic shoes, ankle joint.

Cite as: Koltsov A.A., Aksenov A.Yu., Dzhomardly E.I. [Kinematic Comparison of Orthopedic Shoes and Ankle-Foot Orthoses in Children With Cerebral Palsy]. *Traumatalogiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):102-113. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1682>.

✉ Andrey A. Koltsov; e-mail: katandr2007@yandex.ru

Submitted: 15.10.2021. Accepted: 08.11.2022. Published Online: 15.12.2022.

© Koltsov A.A., Aksenov A.Yu., Dzhomardly E.I., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Детский церебральный паралич — одно из наиболее частых неврологических заболеваний в педиатрической популяции, приводящее к частым вторичным ортопедическим нарушениям [1, 2, 3]. Одной из особенностей указанных нарушений является их прогрессирование с возрастом, в связи с этим такие больные постоянно находятся под наблюдением врача травматолога-ортопеда, который на этапе наблюдения с целью коррекции деформаций использует хирургические и консервативные методы лечения, в том числе ортезирование [4, 5, 6]. Ортезы на голеностопные суставы (Ankle Foot Orthosis — AFO) различных конструкций (Ground Reaction Ankle Foot Orthosis — GRAFO, leaf-spring AFO и т.д.) являются наиболее применяемыми в клинической практике [7, 8, 9]. Вместе с тем мы не обнаружили публикаций, в которых проводилось бы сравнительное исследование влияния AFO и сложной ортопедической обуви на биомеханические параметры ходьбы, несмотря на крайне широкое применение ортопедической обуви в России и множественные публикации о применении AFO в зарубежных источниках [7, 8, 9, 10]. Также редки исследования влияния AFO на биомеханику ходьбы у детей с ДЦП с учетом уровня нарушения глобальных моторных функций GMFCS (Gross Motor Function Classification System) [11].

Цель исследования — сравнить кинематические параметры ходьбы детей с ДЦП в зависимости от типа фиксации стопы и голеностопного сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одномоментное контролируемое исследование «случай-контроль».

Были сформированы три группы пациентов: первая группа — обобщенная, в которую вошли пациенты с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 2 и GMFCS 3; вторая группа — пациенты с уровнем GMFCS 2; третья — GMFCS 3.

По результатам клинического осмотра для проведения биомеханического обследования сформирована группа из 9 пациентов.

Критериями включения являлись:

- подтвержденный диагноз «ДЦП, спастическая диплегия» либо «ДЦП, спастический тетрапарез»;
- уровень глобальных моторных функций GMFCS 2 — GMFCS 3;
- уровень спастичности 2–3 по шкале Ashworth [12];
- возраст пациентов от 5 до 16 лет включительно (т.е. с уже сформировавшимся стереотипом ходьбы).

Критерии исключения:

- невозможность ходьбы даже с использованием средств дополнительной опоры (костылей, тростей, ходунков);
- значимые когнитивные и эмоциональные нарушения обследуемого, не позволяющие добиться с ним контакта для проведения биомеханического обследования;
- ботулинотерапия в анамнезе менее чем за 6 мес. до обследования;
- хирургическое лечение в анамнезе менее чем за 12 мес. до обследования.

Всем пациентам перед проведением биомеханического исследования выполнено комплексное клиническое обследование, включающее оценку паттернов ходьбы, которая осуществлялась по классификации J. Rodda и H.K. Graham для билатеральных спастических форм церебрального паралича [13].

Всем пациентам были проведены три теста: босиком; в сложной ортопедической обуви; в ортезе на голеностопный сустав, за исключением двух пациентов с уровнями GMFCS 2 и GMFCS 3, у которых на момент исследования сложной ортопедической обуви не было (рис. 1). Сложная ортопедическая обувь соответствовала следующим требованиям: изготавливалась индивидуально по меркам или слепкам; содержала в качестве обязательных элементов двусторонний либо круговой жесткий берц; использовалась пациентом не менее одного и не более 6 мес.; не имела дефицита внутриобувного пространства и не приводила к формированию болей, натоптышей и потертостей; не имела значимых признаков деформации.

Ортез на голеностопный сустав приобретался пациентом до поступления в стационар либо изготавливался в производственной лаборатории на этапе прохождения реабилитации в стационаре по решению медико-технической комиссии. В состав медико-технической комиссии входили три врача травматолога-ортопеда (председатель МТК, заведующий отделением, лечащий врач), научный сотрудник института протезирования и ор-



Рис. 1. Ортез на голеностопные суставы и сложная ортопедическая обувь

Fig. 1. Ankle orthosis and complex orthopedic shoes

тезирования, а также как минимум один техник-ортезист. Выбор типа конструкции ортеза на голеностопный сустав определялся согласно классификации J. Rodda и Н.К. Graham для билатеральных спастических форм церебрального паралича в зависимости от паттерна походки пациента [13]. Ортез использовался пациентом до исследования не менее 4 нед., при этом ношение изделия не вызывало дискомфорта.

Регистрация движений человека осуществлялась с помощью 12 оптических инфракрасных камер Miquis M5 (Швеция) с разрешением 4 Мп и частотой 100 Гц. Реконструкция движений тела осуществлялась с помощью светоотражающих маркеров диаметром 12,5 мм, которые устанавливались на анатомические точки с использованием методики IOR (Istituto Ortopedici Rizzoli — Институт ортопедии Ризоли, в честь которого названа методика установки и анализа положения маркеров) [14] (рис. 2).

Модель скелета построена в программной среде Visual3D на основе установленных маркеров (рис. 3).

После построения модели скелета задавались расчетные параметры, позволяющие произвести комплексную оценку функции ходьбы ребенка с ДЦП по трем основным направлениям/блокам.

Первый блок — исследование пространственно-временных параметров ходьбы: длина шага (м) для правой и левой нижней конечности; скорость шага (м/с); база шага (м). В качестве нормативной

базы для описанных параметров ходьбы использованы данные литературы [15, 16].

Второй блок — исследование кинематики крупных суставов нижних конечностей в двух плоскостях (сагиттальной и горизонтальной): сгибание и разгибание в тазобедренных суставах (угол бедра); сгибание и разгибание в коленных суставах (угол коленного сустава); положение плантарной поверхности стоп или подошвенной поверхности обуви относительно опорной поверхности — Foot pitch (сагиттальный угол движения стопы); положение стопы относительно вектора движения — foot progreition (угол разворота стопы). Анализ кинематики проводился в программах QTM (Qualisys), Visual3D (C-Motion) и с помощью клинического PAF Gait модуля, встроенного в программное обеспечение.

Третий блок — интегральный показатель — индекс походки (gait profile score — GPS), который рассчитан как глобально для правой и левой нижних конечностей, так и отдельно для тазобедренного (ТБС), коленного (КС), голеностопного суставов (ГСС) и положения стоп относительно вектора движения (foot progression). Методика расчета GPS описана в литературе [4, 17, 18].

Регистрация кинематики движений проводилась в программе QTM (Qualisys), а построение скелета и анализ данных — в программе Visual3D (C-Motion). Артефакты движения кожи, которые повлияли на кинематику движения маркеров, фильтровались с помощью низкочастотного фильтра четвертого порядка Баттерворта с частотой среза 12 Гц. Результаты кинематики анализировались в соответствии с международными стандартами с помощью клинического модуля PAF (Clinical Gait) компании Qualisys. Каждый испытуемый проходил период адаптации в лаборатории. Анализировались в среднем 20 шагов для каждого ортопедического средства. Шаги разделялись на циклы, где цикл шага представлялся как временной промежуток от начала касания пятки с опорой (0%) до следующего контакта пятки с опорой (100%). Производился анализ индекса ходьбы для различных суставов и в целом, который рассчитывается путем сравнения угловых показателей суставов с нормативной базой данных. При этом, чем больше значение индекса



Рис. 2. Фотофиксация исследования: установка маркеров на нижние конечности и таз

Fig. 2. Photofixation of the study: installation of markers on the lower extremity and pelvis

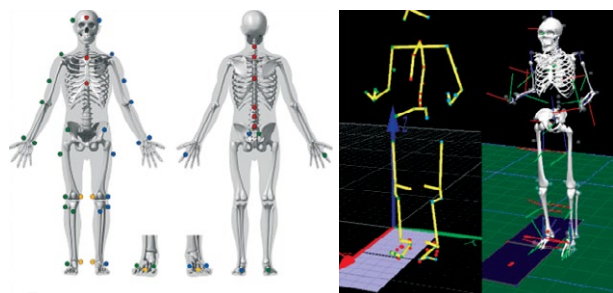


Рис. 3. Модель для реконструкции сегментов тела человека в Visual3D (C-Motion), используемая при анализе ходьбы, где желтые (калибровочные) маркеры снимаются при динамической регистрации походки (IOR модель)

Fig. 3. A model for reconstructing of human body segments in Visual3D (C-Motion), used in the analysis of walking, where yellow (calibration) markers are removed during dynamic gait registration (IOR model)

превышает показатели нормы, тем тяжелее функциональные нарушения ходьбы, а уменьшение индекса демонстрирует приближение угловых показателей к средним значениям нормативной базы (норма). Расчет индекса ходьбы более подробно описан в литературе [4, 18, 19]. Согласно данным литературы, нормативными данными по указанному индексу можно считать показатели ниже 8,5 [19, 20, 21].

Статистический анализ

Статистический анализ количественных показателей для обобщенной группы (т.е. без распределения на группы по классификации GMFCS) проведен непараметрическим методом для связанной выборки — Т-критерием Вилкоксона. Статистическая значимость зафиксирована на уровне вероятности ошибки $p < 0,05$. После распределения пациентов на группы (GMFCS 2 и GMFCS 3) применение статистических методов оказалось невозможным в связи с недостаточным числом пациентов в каждой группе. Поэтому в таблице 3 представлены только медианные значения с верхним и нижним квартилями в формате Me (LQ; UQ). Обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Visual3D, Clinical Gait PAF (Qualisys), Statistica 10 и Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клиническая оценка паттернов ходьбы продемонстрировала, что у одного пациента имеется первый тип паттерна ходьбы — истинный эквинус; у двух пациентов — второй тип — «прыгающая» походка; у одного пациента — третий тип — кажущийся эквинус; у пяти пациентов — четвертый тип — «согнутая» походка.

Для выявления статистически значимого различия пространственно-временных характеристик ходьбы детей в тестах босиком, в сложной ортопедической обуви и в AFO выполнено попарное сравнение цифровых значений этих тестов (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, в тестах с ортопедической обувью и AFO по сравнению с тестом босиком статистически значимые различия выявлены только по переменной длины шага правой нижней конечности.

Результаты статистического попарного сравнения интегрального показателя (индекса походки) представлены в таблице 2.

Данные, представленные в таблице 2, указывают на статистически значимое различие по трем переменным при использовании ортеза на ГСС по сравнению с тестом босиком, тогда как ношение ортопедической обуви привело к улучшению только одной из переменных. Попарное сравнение AFO и ортопедической обуви выявило статистически значимое различие по двум переменным.

Результаты анализа медианных значений с верхними и нижними квартилями с учетом уровня глобальных моторных функций — GMFCS 2 и GMFCS 3 представлены в таблице 3.

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что при использовании ортеза на ГСС у пациентов с уровнем GMFCS 2 по сравнению с ходьбой босиком отмечена положительная тенденция в улучшении показателей трех переменных, описывающих пространственно-временные характеристики ходьбы, и по 7 из 8 исследованных показателей индекса походки, тогда как у детей с уровнем GMFCS 3 — по всем отмеченным переменным. Анализ результатов тестов ходьбы босиком и в ортопедической обуви показал, что при использовании последней у пациентов с уровнем GMFCS 2 отмечалась положительная тенденция к улучшению базы и длины шага правой нижней конечностью, а также 7 из 8 показателей индекса походки, тогда как в группе GMFCS 3 положительная тенденция выявлена по всем трем анализируемым пространственно-временным показателям и по 4 из 8 показателей индекса походки.

Исследование кинематики движения крупных суставов нижних конечностей представлено на рисунке 4.

Таблица 1

Результаты попарного сравнения пространственно-временных характеристик ходьбы детей с ДЦП при выполнении различных тестов с применением критерия Вилкоксона

Параметр		Обобщенная группа, n = 9					
		Тест			Результаты сравнительного анализа, уровень p		
		босиком	орт. обувь	AFO	босиком и орт. обувь	босиком и AFO	орт. обувь и AFO
Длина шага, м	Левая	0,35±0,08	0,36±0,02	0,38±0,10	0,398	0,515	0,753
	Правая	0,30±0,11	0,40±0,05	0,36±0,09	0,028*	0,021*	0,866
Скорость шага, м/с		0,53±0,32	0,73±0,19	0,60±0,30	0,398	0,678	0,735
База шага, м		0,16±0,07	0,17±0,03	0,17±0,05	0,866	0,515	0,499

* Значение статистически значимо.

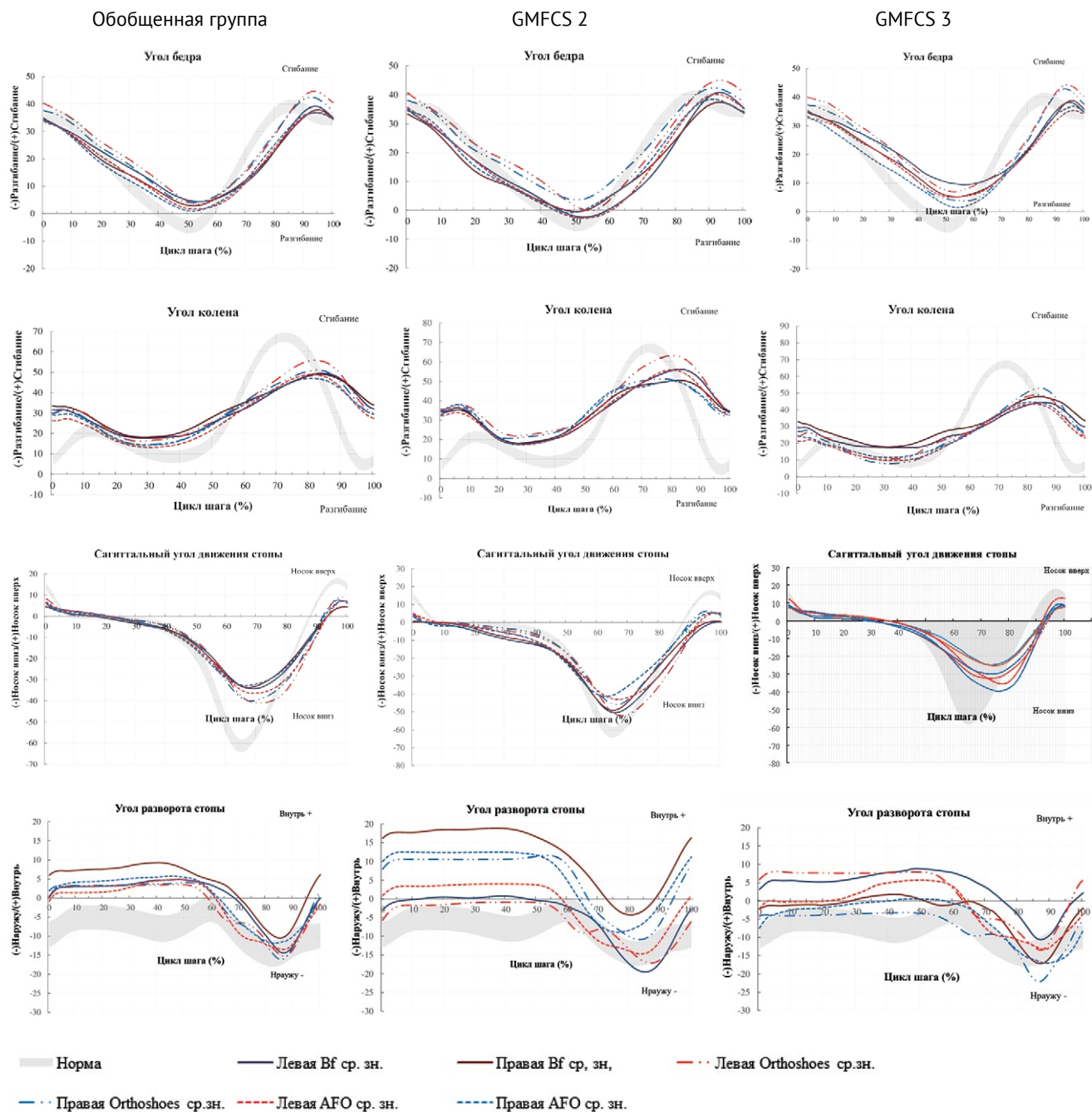


Рис. 4. Гониограммы крупных суставов нижних конечностей детей со спастическими формами ДЦП.
 Примечание: Vf – босиком; Orthoshoes – ортопедическая обувь; AFO – ортез на голеностопный сустав; «серая полоса» коридор значений – это допустимая норма; единицей измерения по оси ординат (Oy) являются градусы; по оси абсцисса (Ox) – процент от цикла шага, где весь цикл шага – 100%

Fig. 4. Goniograms of the lower extremity's large joints of children with spastic forms of cerebral palsy.
 Note: Vf – barefoot; Orthoshoes – orthopedic shoes; AFO – ankle orthosis; the «gray stripe» corridor of values is an acceptable norm; the unit of measurement on the ordinate (Oy) is degree; on the abscissa (Oh) is the percentage of the step cycle, where the entire step cycle is 100%

Таблица 2

Результаты статистического попарного сравнения индекса ходьбы детей с ДЦП в тестах босиком, в ортопедической обуви и в ортезе на голеностопный сустав с использованием критерия Вилкоксона

Параметр	Обобщенная группа, n = 9					
	Тест			Результаты сравнительного анализа, уровень p		
	босиком	орт. обувь	AFO	босиком и орт. обувь	босиком и AFO	орт. обувь и AFO
Индекс походки — левая нижняя конечность	14,8±2,9	14,8 ± 4,7	11,7 ± 2,6	0,345	0,008*	0,028*
Индекс походки — правая нижняя конечность	15,1±2,0	14,0±2,6	13,0±2,18	0,063	0,008*	0,499
Индекс походки — КС слева	22,5±6,4	23,7±8,4	19,1±6,1	0,499	0,008*	0,023*
Индекс походки — КС справа	22,4±5,8	22,3±8,0	19,8±5,3	0,933	0,093	1,000
Индекс походки — ГСС слева	14,8±4,1	17,0±8,5	12,4±4,8	0,176	0,374	0,237
Индекс походки — ГСС справа	16,7±6,0	15,5±7,5	14,7±4,4	0,866	0,26	0,753
Угол разворота стопы слева	17,1±6,5	15,4±9,1	13,0±5,7	0,753	0,263	0,345
Угол разворота стопы справа	18,3±10,5	13,7±9,2	15,1±8,8	0,028*	0,401	0,116

* Значение статистически значимо

Таблица 3

Результаты анализа исследованных переменных в условиях теста босиком, в стандартной и в ортопедической обуви с учетом уровня нарушения глобальных моторных функций GMFCS (Me (LQ ; UQ))

Переменные		Уровень нарушения глобальных моторных функций					
		GMFCS 2, n = 4			GMFCS 3, n = 5		
		Тест			Тест		
		босиком	орт. обувь	AFO	босиком	орт. обувь	AFO
Длина шага, м	Левая	0,36 (0,33; 0,41)	0,36 (0,33; 0,38)	0,40 (0,36; 0,45)	0,28 (0,27; 0,34)	0,34 (0,26; 0,46)	0,35 (0,31; 0,37)
	Правая	0,37 (0,35; 0,41)	0,43 (0,34; 0,44)	0,41 (0,39; 0,46)	0,26 (0,24; 0,31)	0,37 (0,27; 0,37)	0,33 (0,28; 0,34)
Скорость шага, м/с		0,83 (0,64; 0,97)	0,66 (0,59; 0,95)	0,85 (0,78; 0,92)	0,27 (0,21; 0,34)	0,31 (0,18; 0,59)	0,32 (0,29; 0,56)
База шага, м		0,14 (0,12; 0,20)	0,15 (0,14; 0,20)	0,16 (0,15; 0,19)	0,13 (0,1; 0,2)	0,15 (0,12; 0,22)	0,15 (0,11; 0,18)
Индекс походки — левая нижняя конечность		14,4 (12,5; 16,3)	10,2 (9,7; 16,4)	12,0 (9,2; 14,8)	16,2 (12,3; 16,4)	15,6 (13,0; 19,9)	12,1 (10,2; 12,1)
Индекс походки — правая нижняя конечность		16,3 (14,9; 16,9)	13,0 (13,0; 15,3)	14,0 (13,6; 14,7)	14,5 (14,0; 15,8)	14,5 (11,3; 17,1)	11,8 (10,1; 12,5)

Переменные	Уровень нарушения глобальных моторных функций					
	GMFCS 2, n = 4			GMFCS 3, n = 5		
	Тест			Тест		
	босиком	орт. обувь	AFO	босиком	орт. обувь	AFO
Индекс походки — КС слева	19,6 (16,2; 28,4)	15,5 (15,1; 35,2)	15,6 (14,2; 24,8)	21,7 (18,4; 26,5)	25,5 (19,6; 30,4)	18,6 (17,7; 19,0)
Индекс походки — КС справа	18,8 (14,9; 26,8)	14,9 (13,0; 31,2)	17,0 (15,4; 25,3)	24,4 (20,0; 25,5)	23,3 (18,4; 30,0)	18,5 (18,4; 19,0)
Индекс походки — ГСС слева	12,9 (11,7; 16,2)	13,7 (6,2; 22,0)	13,5 (9,8; 18,8)	13,8 (13,1; 19,4)	17,6 (12,4; 26,3)	10,6 (9,4; 13,2)
Индекс походки — ГСС справа	13,8 (9,0; 18,3)	8,2 (6,1; 22,5)	12,4 (11,5; 17,6)	17,7 (14,7; 24,0)	16,1 (13,5; 22,5)	13,0 (11,2; 18,2)
Индекс походки foot progreption слева	18,9 (15,0; 20,8)	9,0 (5,6; 20,1)	13,5 (8,6; 20,8)	16,9 (9,7; 23,0)	20,1 (8,6; 29,1)	9,9 (9,1; 13,5)
Индекс походки foot progreption справа	22,7 (13,4; 32,6)	12,4 (9,9; 31,7)	19,0 (12,0; 27,3)	11,2 (7,8; 19,5)	9,7 (5,8; 12,8)	8,8 (7,2; 13,8)

ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных составляющих комплексного биомеханического обследования пациентов с ДЦП является оценка пространственно-временных показателей ходьбы, что особенно актуально при оценке эффективности ортезирования. В частности, по данным ряда исследователей, использование ортеза на ГСС увеличивает скорость ходьбы [22, 23, 24] и длину шага [25, 26, 27]. По нашим данным, статистически значимое различие при использовании ортопедической обуви и ортезов на ГСС по сравнению с ходьбой босиком наблюдалось только по переменной длины шага правой нижней конечности. В то же время попарное сравнение результатов ходьбы по указанным переменным не продемонстрировало статистически значимой разницы (см. табл. 1). Наши результаты соответствуют тенденциям, представленным по результатам единичных исследований [28, 29]. Данное противоречие, на наш взгляд, может быть обусловлено разными факторами, в том числе различием уровня двигательной активности испытуемых по классификации GMFCS и разными паттернами ходьбы. Более того, пациенты уровня GMFCS 3 в отличие от более «легких» больных использовали при ходьбе дополнительные средства опоры (трости, ходунки), влияющие на стереотип ходьбы. По этим причинам мы представили в настоящей работе оценку результатов влияния ортопедического обеспечения на биомеханику ходьбы у больных с ДЦП с учетом уровня глобальных моторных функций GMFCS.

Данные, представленные в таблице 2, указывают на статистически значимое различие в ходьбе по трем переменным (индекс ходьбы левой и пра-

вой нижних конечностей; индекс ходьбы левого КС) при использовании ортеза на ГСС по сравнению с тестом босиком, тогда как ношение ортопедической обуви привело к улучшению только одной (угол разворота правой стопы) из переменных. Попарное сравнение ходьбы в AFO и ортопедической обуви выявило статистически значимое различие по двум переменным (индекс ходьбы левой нижней конечности и индекс ходьбы левого коленного сустава).

После распределения пациентов на группы применение статистических методов оказалось невозможным ввиду недостаточности количества больных в каждой группе, в связи с этим в таблице 3 представлены только медианные значения исследуемых переменных с указанием верхнего и нижнего квартилей. Исходя из вышесказанного, обсуждение построено на основании указанных результатов. Так, данные, представленные в таблице 3, показали, что ношение AFO по сравнению с ходьбой босиком положительно влияет на пространственно-временные характеристики походки (длину и скорость шага) с различиями средних значений в диапазоне от 5,5 до 26,0%, в этом наши результаты согласуются с данными литературы [22, 23, 24, 25, 26, 27]. Примечательно, что эти различия тем больше, чем тяжелее уровень нарушения глобальных моторных функций. Так, у пациентов группы GMFCS 2 по указанным показателям выявлена разница до 10,0%, у пациентов группы GMFCS 3 — до 21,2%. Влияние ношения ортопедической обуви на пространственно-временные характеристики походки по сравнению с ходьбой босиком неоднозначны и зависят от выраженности нарушения глобальных моторных функций в соот-

ветствии с классификацией GMFCS : у детей с уровнем GMFCS 2 привело к снижению скорости ходьбы на четверть и увеличению длины шага справа без существенного изменения длины шага слева, тогда как у пациентов с уровнем GMFCS 3 положительно повлияло на все исследуемые пространственно-временные характеристики походки.

Анализ гониограмм, представленных на рисунке 3, показал, что у всех пациентов независимо от типа фиксации стопы начальная фаза периода опоры начинается не с контакта пятки, как в норме, а с опоры практически всей плантарной поверхностью стопы, о чем косвенно свидетельствуют данные, представленные на графике «сагиттальный угол движения стопы». Этот факт согласуется с данными литературы. В частности, Л.М. Смирнова с соавторами выявили, что у пациентов с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 1–3 наблюдаются статистически значимые различия в показателе парциальной нагрузки на пятку при ходьбе в ортопедической обуви по сравнению со «стандартной» – снижение нагрузки на пятку по сравнению с ходьбой детей в норме [30]. Кроме этого, наблюдается пролонгация периода опоры во времени по сравнению с нормой с максимумом в группе GMFCS 3. Тот факт, что при сравнительном анализе высота отрыва пятки от опорной поверхности и амплитуда сгибания в голеностопном суставе в AFO оказалась меньше, чем в ортопедической обуви, обусловлен тем, что ортезы у некоторых испытуемых изначально конструктивно имели ограничение плантарной флексии. Объективными данными, подтверждающими вышеописанные факты, являются существенное увеличение длины и скорости шага у испытуемых в обобщенной группе и группе GMFCS 3.

У всех детей независимо от типа используемой обуви отмечается тенденция к внутриротационной установке нижних конечностей и развороту стоп вовнутрь, что подтверждается в некоторых зарубежных публикациях. Так, по данным R.K. Elnaggar с соавторами, у детей с ДЦП отклонение от нормы показателей кинематики движения в сагиттальной плоскости является частой проблемой и носит многоуровневый характер, включающий в том числе внутриротационное положение стоп [31]. В то же время тип фиксации, как видно на рисунке 3, может повлиять как на степень данной установки, так и на ее симметричность справа и слева. У пациентов с уровнем GMFCS 2 при использовании ортопедической обуви по сравнению с другими тестами отмечается наиболее близкое к норме положение стоп: левая стопа при использовании ортопедической обуви в течение всего периода переноса стопы находится в нормативном диапазоне, положение правой стопы в наименьшей степени отклонено от нормы. Следует отметить,

что левая стопа при тестах босиком и в AFO в период переноса находится в пределах нормы, однако асимметрия с контралатеральной конечностью значительно превышает асимметрию аналогичного показателя при ходьбе в ортопедической обуви. У пациентов с уровнем GMFCS 3 при использовании AFO в течение всего периода переноса стопы находятся в нормативном диапазоне. В тестах босиком и в ортопедической обуви левая стопа практически на всем протяжении цикла шага находится в положении внутренней ротации, тогда как кривая, описывающая траекторию правой стопы, лишь на незначительном протяжении периода переноса располагается в диапазоне нормы. Наши результаты не настолько однозначны, как у В. Damino с соавторами, утверждающих, что использование AFO привело к нарастанию внутриротационного положения стоп у испытуемых [32]. На наш взгляд, такая несогласованность результатов может быть обусловлена рядом факторов, в том числе отсутствием исследования изменения указанного параметра у детей с разными уровнями GMFCS. Кроме того, из текста работы авторов видно, что две трети детей с ДЦП имели уровень нарушения глобальных моторных функций GMFCS 1 и GMFCS 2, данные которых, вероятно, и внесли значительный вклад в конечный общий результат. Вместе с тем, наши результаты исследования детей с уровнем GMFCS 2 показывает схожую тенденцию, что и у вышеуказанных авторов.

У всех пациентов, вне зависимости от типа фиксации стопы, отмечена сгибательная установка в коленных суставах, аналогичную тенденцию отмечали и другие авторы. Например, Г.М. Чибиров с соавторами указывали, что у значительного числа пациентов с ДЦП как в опорный, так и в неопорный периоды цикла шага наблюдалась сгибательная установка в правом и левом коленных суставах [33]. Вместе с тем выраженность указанного эффекта, по нашим данным, зависела от тяжести нарушения глобальных моторных функций. Так, минимальная коррекция угла сгибательной установки в коленных суставах (до 6%) отмечена в группе GMFCS 2; максимальная (в AFO для левого коленного сустава на 26,8%, для правого — на 25,5% по сравнению с тестом босиком) в группе GMFCS 3. Полученные результаты имеют одностороннюю тенденцию с данными других авторов [34, 35]. Наши результаты полностью согласуются с данными Н. Böhm с соавторами, сообщающих, что использование AFO у пациентов с низким функциональным статусом (GMFCS 3 и GMFCS 4) позволяет достичь максимального положительного эффекта. Данный факт, как полагают авторы, обусловлен слабостью разгибателей стопы [35].

У детей в обобщенной группе при использовании AFO отмечается коррекция сгибательной

установки в коленных суставах на 16,7% слева и на 13,4% справа по сравнению с тестом босиком; в ортопедической обуви динамика выражена меньше и составила от 5,2 до 12,5% соответственно.

Изучение гониограмм тазобедренных суставов в сагиттальной плоскости не показало различия между тестами. Траектории кривых, описывающих кинематику суставов, практически соответствовали норме с общей тенденцией к ограничению разгибания в тазобедренных суставах, в большей степени — у пациентов с уровнем глобальных моторных функций GMFCS 3. Согласно данным W.K. Lam с соавторами, использование AFO приводит к статистически значимому увеличению угла сгибания в тазобедренных суставах в фазе контакта стопы с опорной поверхностью (initial contact). По данным ряда авторов, статистически значимое влияние использования AFO на кинематику коленных и тазобедренных суставов отсутствует [36, 37, 38].

Использование AFO по сравнению с ходьбой босиком продемонстрировало положительную тенденцию к изменению показателей индекса походки (табл. 3). В частности, максимальное улучшение в группе GMFCS 2 составило 29%, тогда как в группе GMFCS 3 — 51% (медиана 16% и 24% соответственно).

Анализ результатов тестов ходьбы босиком и в ортопедической обуви показал, что при использовании последней у пациентов с уровнем

GMFCS 2 отмечена положительная тенденция по 7 из 8 показателей, тогда как в группе GMFCS 3 положительная тенденция выявлена лишь по четырём переменным. Максимальное улучшение в группе GMFCS 2 составило 52%, тогда как в группе GMFCS 3 — 13% (Me 25% и 7% соответственно).

Сравнительный анализ результатов измерения индекса походки в тестах с ортопедической обувью и AFO показал положительную тенденцию к применению сложной ортопедической обуви по сравнению с AFO у 6 из 8 пациентов группы GMFCS, в двух случаях эффект сравниваемых технических изделий был сопоставимым. В группе GMFCS 3 во всех тестах выявлено преимущество использования AFO.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор способа фиксации стопы у пациентов со спастическими формами ДЦП с учетом уровня нарушения глобальных моторных функций имеет существенное значение в коррекции кинематических параметров опоры и передвижения. У пациентов с уровнем глобальных моторных функций GMFCS 2 при использовании ортопедической обуви и ортеза на голеностопный сустав улучшается кинематика ходьбы по сравнению с ходьбой босиком, положительный эффект оказался более значимым в тестах с ортопедической обувью. У пациентов группы GMFCS 3 максимально эффективным оказалось использование ортеза на голеностопный сустав.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Кольцов А.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи.

Аксёнов А.Ю. — сбор и обработка данных, редактирование статьи.

Джомардлы Э.И. — обзор литературы, сбор и обработка данных, написание текста и редактирование статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследования были одобрены этическим комитетом при ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта», протокол № 3, 06.08.2021 г.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

DISCLAIMERS

Author contribution

Andrey A. Koltsov — study design, text editing.

Andrey Yu. Aksenov — collection and processing of material, text editing.

Elnur I. Dzhomardly — literature review, collection and processing of material, text writing and editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled n. a. G.A. Albrecht, protocol No 3, 06.08.2021.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of children for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Помников В.Г., Пенина О.Г., Владимирова О.Н., Колчева Ю.А., Адрианов А.В. Разработка новых критериев и классификации установления инвалидности у детей. *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2017;16:8-16. Pomnikov V.G., Penina O.G., Vladimirova O.N., Kolcheva Yu.A., Adrianov A.V. [New classifications and criteria for determination of disability in children]. *Neurokhirurgiya i nevrologiya detskogo vozrasta* [Journal of Medical Research and Practice Pediatric Neurosurgery and Neurology]. 2017;16:8-16. (In Russian).
2. Almasri N.A., Saleh M., Abu-Dahab S., Malkawi S.H., Nordmark E. Functional profiles of children with cerebral palsy in Jordan based on the association between gross motor function and manual ability. *BMC Pediatr*. 2018;18(1):276. doi: 10.1186/s12887-018-1257-x.
3. Son H., Lee D., Hong S., Lee K. Comparison of Gait Ability of a Child with Cerebral Palsy According to the Difference of Dorsiflexion Angle of Hinged Ankle-Foot Orthosis: A Case Report. *Am J Case Rep*. 2019;20:1454-1459. doi: 10.12659/AJCR.916814.
4. Skaaret I., Steen H., Huse A.B. Comparison of gait with and without ankle-foot orthoses after lower limb surgery in children with unilateral cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2019;13(2):180-189. doi: 10.1302/1863-2548.13.180146.
5. Melanda A.G., Pauleto A.C., Iucksch D.D., Cunha R.F., Smaili S.M. Results of orthoses used on ambulatory patients with bilateral cerebral palsy. *Acta Ortop Bras*. 2020;28(5):137-141. doi: 10.1590/1413-785220202803228922.
6. Schwarze M., Block J., Kunz T., Alimusaj M., Heitzmann D.W.W., Putz C. et al. The added value of orthotic management in the context of multi-level surgery in children with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2019;68:525-530. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.006.
7. Wright E., DiBello S.A. Principles of Ankle-Foot Orthosis Prescription in Ambulatory Bilateral Cerebral Palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2020;31(1):69-89. doi: 10.1016/j.pmr.2019.09.007.
8. Kane K.J., Musselman K.E., Lanovaz J. Effects of solid ankle-foot orthoses with individualized ankle angles on gait for children with cerebral palsy and equinus. *J Pediatr Rehabil Med*. 2020;13(2):169-183. doi: 10.3233/PRM-190615.
9. Lintanf M., Bourseul J.S., Houx L., Lempereur M., Brochard S., Pons C. Effect of ankle-foot orthoses on gait, balance and gross motor function in children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2018;32(9):1175-1188. doi: 10.1177/0269215518771824.
10. Кольцов А.А., Джомардлы Э.И. Анализ динамики типов технических средств реабилитации и частоты их использования у пациентов с детским церебральным параличом. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2020;8(2):55-64. doi: 10.17816/PTORS18953. Koltsov A.A., Dzhomardly E.I. [Analysis of type and frequency dynamics of rehabilitation assistive devices in children with cerebral palsy]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2020;8(2):55-64. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS18953.
11. Palisano R., Rosenbaum P., Walter S., Russell D., Wood E., Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1997;39(4):214-223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x.
12. Yam W.K., Leung M.S. Interrater reliability of Modified Ashworth Scale and Modified Tardieu Scale in children with spastic cerebral palsy. *J Child Neurol*. 2006;21(12):1031-1035. doi: 10.1177/7010.2006.00222.
13. Rodda J.M., Graham H.K., Carson L., Galea M.P., Wolfe R. Sagittal gait patterns in spastic diplegia. *J Bone Joint Surg Br*. 2004;86(2):251-258. doi: 10.1302/0301-620x.86b2.13878.
14. Leardini A., Sawacha Z., Paolini G., Ingrosso S., Nativo R., Benedetti M.G. A new anatomically based protocol for gait analysis in children. *Gait Posture*. 2007;26(4):560-571. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.018.
15. Voss S., Joyce J., Biskis A., Parulekar M., Armijo N., Zampieri C. et al. Normative database of spatiotemporal gait parameters using inertial sensors in typically developing children and young adults. *Gait Posture*. 2020;80:206-213. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.010.
16. Lythgo N., Wilson C., Galea M. Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults whilst walking barefoot and with shoes. *Gait Posture*. 2009;30(4):502-506. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.07.119.
17. Oudenhoven L.M., Booth A.T.C., Buizer A.I., Harlaar J., van der Krogt M.M. How normal is normal: Consequences of stride to stride variability, treadmill walking and age when using normative paediatric gait data. *Gait Posture*. 2019;70:289-297. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.03.011.
18. Baker R., McGinley J.L., Schwartz M.H., Beynon S., Rozumalski A., Graham H.K. et al. The gait profile score and movement analysis profile. *Gait Posture*. 2009;30(3):265-269. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.05.020.
19. Rasmussen H.M., Nielsen D.B., Pedersen N.W., Overgaard S., Holsgaard-Larsen A. Gait Deviation Index, Gait Profile Score and Gait Variable Score in children with spastic cerebral palsy: Intra-rater reliability and agreement across two repeated sessions. *Gait Posture*. 2015;42(2):133-137. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.019.
20. Kiernan D., Malone A., O'Brien T., Simms C.K. The clinical impact of hip joint centre regression equation error on kinematics and kinetics during paediatric gait. *Gait Posture*. 2015;41(1):175-179. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.09.026.
21. Manousaki E., Esbjörnsson A.C., Mattsson L., Andriess H. Correlations between the Gait Profile Score and standard clinical outcome measures in children with idiopathic clubfoot. *Gait Posture*. 2019;71:50-55. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.04.009.
22. Young J., Jackson S. Improved motor function in a pre-ambulatory child with spastic bilateral cerebral palsy, using a custom rigid ankle-foot orthosis-footwear combination: a case report. *Prosthet Orthot Int*. 2019;43(4):453-458. doi: 10.1177/0309364619852239.
23. Lintanf M., Bourseul J.S., Houx L., Lempereur M., Brochard S., Pons C. Effect of ankle-foot orthoses on gait, balance and gross motor function in children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2018;32(9):1175-1188. doi: 10.1177/0269215518771824.
24. Aboutorabi A., Arazpour M., Ahmadi Bani M., Saedi H., Head J.S. Efficacy of ankle foot orthoses types on walking in children with cerebral palsy: A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017;60(6):393-402. doi: 10.1016/j.rehab.2017.05.004.

25. Radtka S.A., Skinner S.R., Dixon D.M., Johanson M.E. A comparison of gait with solid, dynamic, and no ankle-foot orthoses in children with spastic cerebral palsy. *Phys Ther.* 1997;77(4):395-409. doi: 10.1093/ptj/77.4.395.
26. Betancourt J.P., Eleeh P., Stark S., Jain N.B. Impact of ankle-foot orthosis on gait efficiency in ambulatory children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019;98(9):759-770. doi: 10.1097/PHM.0000000000001185.
27. Son I., Lee D., Hong S., Lee K., Lee G. Comparison of Gait Ability of a Child with Cerebral Palsy According to the Difference of Dorsiflexion Angle of Hinged Ankle-Foot Orthosis: A Case Report. *Am J Case Rep.* 2019;20:1454-1459. doi: 10.12659/AJCR.916814.
28. Meyns P., Kerkum Y.L., Brehm M.A., Becher J.G., Buizer A.I., Harlaar J. Ankle foot orthoses in cerebral palsy: Effects of ankle stiffness on trunk kinematics, gait stability and energy cost of walking. *Eur J Paediatr Neurol.* 2020;26:68-74. doi: 10.1016/j.ejpn.2020.02.009.
29. Kerkum Y.L., Buizer A.I., van den Noort J.C., Becher J.G., Harlaar J., Brehm M.A. The Effects of Varying Ankle Foot Orthosis Stiffness on Gait in Children with Spastic Cerebral Palsy Who Walk with Excessive Knee Flexion. *PLoS One.* 2015;10(11):e0142878. doi: 10.1371/journal.pone.0142878.
30. Смирнова Л.М., Джомардлы Э.И., Кольцов А.А. Межзональное распределение нагрузки на плантарную поверхность стопы при ходьбе пациентов с ДЦП как объективный критерий тяжести функциональных нарушений. *Травматология и ортопедия России.* 2020;26(3):80-92. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-80-92.
- Smirnova L.M., Dzhomardly E.I., Koltsov A.A. [The Interzonal Distribution of the Load on the Plantar Surface of the Foot During Walking in the Patients with Cerebral Palsy as an Objective Criterion of Functional Impairment Severity]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(3):80-92. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-80-92
31. Elnaggar R.K. Relationship Between Transverse-plane Kinematic Deviations of Lower Limbs and Gait Performance in Children with Unilateral Cerebral Palsy: A Descriptive Analysis. *Gait Posture.* 2020;79:224-228. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.003.
32. Danino B., Erel S., Kfir M., Khamis S., Batt R., Hemo Y. et al. Influence of orthosis on the foot progression angle in children with spastic cerebral palsy. *Gait Posture.* 2015;42(4):518-522. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.08.006.
33. Чиби́ров Г.М., Долганова Т.И., Долганов Д.В., Попков Д.А. Анализ причин патологических паттернов кинематического локомоторного профиля по данным компьютерного анализа походки у детей со спастическими формами ДЦП. *Гений ортопедии.* 2019;25(4):493-500. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500.
- Chibirov G.M., Dolganova T.I., Dolganov D.V., Popkov D.A. [Analysis of the causes of pathological patterns of the kinematic locomotor profile based on the findings of computer gait analysis in children with spastic CP types]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2019;25(4):493-500. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500.
34. Ries A.J., Schwartz M.H. Ground reaction and solid ankle-foot orthoses are equivalent for the correction of crouch gait in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2019;61(2):219-225. doi: 10.1111/dmcn.13999.
35. Böhm H., Matthias H., Braatz F., Döderlein L. Effect of floor reaction ankle-foot orthosis on crouch gait in patients with cerebral palsy: What can be expected? *Prosthet Orthot Int.* 2018;42(3):245-253. doi: 10.1177/0309364617716240
36. Lam W.K., Leong J.C., Li Y.H., Hu Y., Lu W.W. Biomechanical and electromyographic evaluation of ankle foot orthosis and dynamic ankle foot orthosis in spastic cerebral palsy. *Gait Posture.* 2005;22(3):189-197. doi: 10.1016/j.gaitpost.2004.09.011.
37. Abel M.F., Juhl G.A., Vaughan C.L., Damiano D.L. Gait assessment of fixed ankle-foot orthoses in children with spastic diplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(2):126-135. doi: 10.1016/s0003-9993(98)90288-x.
38. Buckon C.E., Thomas S.S., Jakobson-Huston S., Moor M., Sussman M., Aiona M. Comparison of three ankle-foot orthosis configurations for children with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol.* 2004;46(9):590-598. doi: 10.1017/s0012162204001008.

Сведения об авторах

✉ Кольцов Андрей Анатольевич — канд. мед. наук
 Адрес: Россия, 195067, г. Санкт-Петербург,
 ул. Бестужевская, д. 50
<https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>
 e-mail: katandr2007@yandex.ru

Аксенов Андрей Юрьевич
<https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>
 e-mail: a.aksenov@hotmail.com

Джомардлы Эльнур Исфандиярович
<https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>
 e-mail: mamedov.ie@yandex.ru

Authors' information

✉ Andrey A. Koltsov — Cand. Sci. (Med.)
 Address: 50, Bestuzhevskaya st., St. Petersburg, 195067,
 Russia
<https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>
 e-mail: katandr2007@yandex.ru

Andrey Yu. Aksenov
<https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>
 e-mail: a.aksenov@hotmail.com

Elnur I. Dzhomardly
<https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>
 e-mail: mamedov.ie@yandex.ru



Biceps Brachii Distal Tendon Ruptures: Conservative and Surgical Treatment Outcomes

Artem E. Medvedchikov^{1,2}, Evgeniya A. Anastasieva^{1,2}, Andrey A. Korytkin¹, Vitaliy L. Lukinov^{1,3}, Irina A. Kirilova¹

¹ Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

² Clinic NIITO, Novosibirsk, Russia

³ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Background. Interest in the study of the distal biceps brachii tendon ruptures in the recent decade has been caused by the development of instrumental diagnostic methods, the new sports disciplines appear and by the technological workplace environment complication. The main concepts of treatment depend on the injury term, the tendon tissue damage area, the patient functional needs and his/her professional activities, the comorbidity index (CCI), so the concepts are divided into two: conservative and surgical.

The aim of the study – to identify the most effective method of treating patients with a biceps brachii distal tendon rupture.

Methods. The study included 58 patients (all men) with a biceps brachii distal tendon injury. They were divided into groups depending on the concept of treatment: a conservative treatment group – 20 (34%) patients and a surgical treatment group – 38 (66%). The surgical treatment group was also divided into subgroups according to surgical approaches, reinsertion methods and types of fixation. Patients underwent physical tests (O’Driscoll, Ruland, et al.), ultrasound to compare the proximal radio-ulnar space, degree of muscle retraction, lacertus fibrosus involvement, and MRI of the elbow joint. The functional scales VAS, DASH and ASES were used to evaluate the obtained results. The results of instrumental diagnostic methods were evaluated with the L. Perera (2012) and J. Fuente (2018) classifications.

Results. Evaluation of the results in the groups of surgical (Ns) and conservative (Nc) treatment according to functional scales after 6 (VAS, DASH) and 36 months (ASES) revealed: a decrease in subjective pain score ≤ 1 point, a decrease in DASH to 21 and 43 points (statistically significant decrease in both groups $p < 0.001$, difference between groups $p = 0.005$), ASES: 91 and 71 points (dynamics in both groups and difference between groups $p < 0.001$). Minimally invasive approaches compared with open access (nD) showed better functional outcomes according to the DASH scale: nBA vs nD – $p = 0.006$; nMA vs nD – $p = 0.013$ after 6 months, and according to the ASES scale: nBA vs nD – $p = 0.007$; nBA vs nD – $p = 0.002$ after 36 months. An reinsertion methods intragroup analysis revealed the achievement of peak indicators by ≤ 6 weeks without complications in the anatomical variant according to the VAS: nBA vs nMA – $p = 0.264$; DASH: nBA vs nMA – $p = 0.856$; ASES – nBA vs nMA $p = 0.179$.

Conclusion. Comparison within subgroups made it possible to identify the most effective technique – combination of minimally invasive access with an anatomical version of intracanal fixation with a cortical button. This technique has shown to have a low risk of postoperative complications.

Keywords: elbow joint, biceps brachii, lacertus fibrosus, distal tendon, sports medicine, surgical approach, cortical button.

Cite as: Medvedchikov A.E., Anastasieva E.A., Korytkin A.A., Lukinov V.L., Kirilova I.A. [Biceps Brachii Distal Tendon Ruptures: Conservative and Surgical Treatment Outcomes]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):114-125. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1997>.

✉ Evgeniya A. Anastasieva; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Submitted: 04.10.2022. Accepted: 09.12.2022. Published: 16.12.2022.

© Medvedchikov A.E., Anastasieva E.A., Korytkin A.A., Lukinov V.L., Kirilova I.A., 2022

Результаты консервативного и хирургического лечения пациентов с разрывом дистального сухожилия двуглавой мышцы плеча

А.Е. Медведчиков^{1,2}, Е.А. Анастасиева^{1,2}, А.А. Корыткин¹, В.Л. Лукинов^{1,3},
И.А. Кирилова¹

¹ ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

² АНО «Клиника НИИТО», г. Новосибирск, Россия

³ ФГБУН «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН», г. Новосибирск, Россия

Актуальность. Интерес к изучению разрывов дистального сухожилия двуглавой мышцы плеча (ДСДМП) в последнее десятилетие вызван развитием методов инструментальной диагностики, появлением новых спортивных дисциплин и усложнением технологической среды на рабочих местах. Основные концепции лечения зависят от сроков давности травмы, площади поражения сухожильной ткани, функциональных запросов пациента и его профессиональной деятельности, индекса коморбидности и делятся на консервативную и хирургическую. **Цель исследования** — выявить наиболее эффективный метод лечения больных с разрывом дистального сухожилия двуглавой мышцы плеча.

Материал и методы. В исследования были включены 58 пациентов (все мужчины) с повреждением ДСДМП, которые были разделены на группы в зависимости от концепции лечения: группу консервативного лечения (Nc) — 20 (34%) пациентов и группу хирургического лечения (Ns) — 38 (66%). Группа хирургического лечения была разделена также на подгруппы: nD — открытый анатомический вариант с доступом Dobbie; nBA — малоинвазивный неанатомический вариант с доступом Boyd–Anderson; nMA — малоинвазивный анатомический вариант с передним доступом. Пациентам проводились физикальные тесты (O’Driscoll, Ruland и др.), УЗИ с целью сравнительного измерения проксимального радио-ульнарного пространства, степени мышечной ретракции, вовлеченности *lacertus fibrosus*, а также МРТ локтевого сустава. Для оценки полученных результатов использовались шкалы VAS, DASH и ASES. Результаты инструментальных методов диагностики оценивались с классификациями L. Perera (2012) и J. Fuente (2018).

Результаты. Оценка результатов в группах Ns и Nc по функциональным шкалам, DASH и 36 мес. (ASES) позволила выявить: через 6 мес. по VAS — снижение выраженности болевого синдрома ≤ 1 балла, по DASH через 6 мес. — снижение до 21 и 43 баллов (в обеих группах $p < 0,001$; разница между группами $p = 0,005$; по ASES через 36 мес. — 91 и 71 балл (динамика в обеих группах, разница между группами $p < 0,001$). При использовании малоинвазивных доступов в сравнении с открытым доступом (nD) были получены лучшие функциональные результаты: по шкале DASH через 6 мес. — nBA vs nD $p = 0,006$; nMA vs nD $p = 0,013$; по шкале ASES через 36 мес. — nBA vs nD $p = 0,007$ и nBA vs nD $p = 0,002$. Результаты внутригруппового анализа способов реинсерции: по VAS — nBA vs nMA $p = 0,264$; по DASH — nBA vs nMA = 0,856; по ASES — nBA vs nMA $p = 0,179$. Пиковые показатели без осложнений были достигнуты в срок ≤ 6 нед. при анатомическом варианте.

Заключение. Сравнение внутри подгрупп позволило выделить наиболее эффективную методику в виде комбинации малоинвазивного доступа с анатомическим вариантом интраканальной фиксации кортикальной пуговицей, обладающую низким уровнем рисков развития послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: локтевой сустав, бицепс плеча, *lacertus fibrosus*, дистальное сухожилие, спортивная медицина, хирургические доступы, кортикальная пуговица.

Медведчиков А.Е., Анастасиева Е.А., Корыткин А.А., Лукинов В.Л., Кирилова И.А. Результаты консервативного и хирургического лечения пациентов с разрывом дистального сухожилия двуглавой мышцы плеча. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):114-125. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1997>.

Анастасиева Евгения Андреевна; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Рукопись получена: 04.10.2022. Рукопись одобрена: 09.12.2022. Статья опубликована: 16.12.2022.

© Медведчиков А.Е., Анастасиева Е.А., Корыткин А.А., Лукинов В.Л., Кирилова И.А., 2022

BACKGROUND

The interest in studying of the distal biceps tendon (DBT) ruptures is primarily due to the intensive development of imaging methods and digital analysis of the musculoskeletal system biomechanics, the emergence of new sports disciplines and the technological environment complexity in modern industries, stable public interest in bodybuilding.

The incidence of DBT ruptures in the USA ranges from 2.55 to 5.35 clinical cases per 100,000 population per year [1]. As a rule, these injuries are the result of spontaneous eccentric impact of forces on the supinated forearm of the dominant upper limb (86%) in the position of 90° flexion in the elbow joint [2, 3]. There is practically no gender modality – more than 95% of those seeking specialized help are middle-aged men (46.3 years old) involved in manual labor, military personnel, as well as professional athletes of contact and strength sports [4, 5]. The main predictors of injury include smoking, BMI ≥ 25 , taking anabolic androgenic steroids and statins, elbow joint arthrosis, pre-existing tendinosis or mucoid degeneration of DBT [6].

In the historical context, the rarity of DBT ruptures is indicated by the fact that in the 36 years since the first clinical case publication by A.B. Johnson in 1891, there has not been a single mention of this pathology in the scientific literature [7]. Then T.M. Biancheri in 1925 investigated the frequency and typology of the biceps tendon injuries: 96% were attributed to ruptures of the proximal long head, 1% of cases were accompanied by provocation of the proximal short head and, accordingly, the distal tendon ruptures amounted to 3% [8].

Due to the rare occurrence and lack of uniform clinical and diagnostic algorithms, most of the recorded injuries are full-layered (avulsive) ruptures with a violation of the bone-tendon junction of the radial tuberosity, both with and without the cortical layer fragment. Partial ruptures are less common and include interstitial disorders united by a single paratenon of short and long heads. The case of partial rupture was published by K. Nielsen only in 1987 [9]. At the moment, such ruptures are estimated by the cross-sectional area of tendon tissue using imaging instrumental diagnostics. Clinical cases of partial DBT lacerations, which make up less than 50% of the section, have positive pros-

pects for conservative treatment, and lesions affecting more than 50% are potentially considered as indications for surgical treatment of population active categories. Close attention should also be paid to the anatomical role of lacertus fibrosus as a DBT dynamic stabilizer, repair of which, according to recent data, is important for preventing relapses [10].

Introduction of imaging methods into clinical practice, such as 1.5–3.0 Tl MRI and MSCT with 3D reconstruction, targeted clinical tests (supination-pronation, passive pronation test of the forearm, O'Driscoll test, Ruland test, measurement of biceps flexion interval and biceps fold coefficient, lacertus fibrosus flexure test) and clinical-diagnostic algorithms allow doctors to accurately determine the concept of treatment at the pre-hospital stage [2]. On the other hand, a variable set of minimally invasive options (double incision, flexible instrumentation) and the evolution of cortical implants make surgery safer, and the "anatomical" classification of L. Perera [11] and the "diagnostic" classification of J. Fuente [12] provide a differentiated approach for ruptures combined with lacertus fibrosus or pronounced muscle retraction, increasing the final effectiveness of the method [13, 14, 15, 16].

Before the start of the study, a null hypothesis was determined about comparatively better functional results after surgical treatment, depending on the chosen approach to fossa cubitalis, the method of reinsertion (anatomical and non-anatomical) and the type of implant.

The aim of the study was to identify the most effective method of patients with DBT rupture treatment.

METHODS

Research design

A retrospective comparative cohort study of the medical records in the Tsivyan NNIITO of the Ministry of Health of Russia and ANO "Clinic NIITO" in the period from 2012 to 2022 was conducted.

Patients

The study group included 58 patients (all men) with DBT rupture. The ranking by age was 29–58 years (43 [34; 51]). All patients initially applied to the Clinical Diagnostic Center with complaints of

pain, fossa cubitalis ecchymosis, decreased maximum strength during loads and arm deformity, range of motions limitation in the injured elbow joint. The patients were divided into groups depending on the type of injury, its limitation period, and the type of treatment performed.

According to the type of injury, patients were registered in the database as sports, household and when performing physical labor. According to the prescription of the injury and the corresponding pathogenesis of inflammatory changes, the terms of contacting a specialist were conditionally determined: 1) inflammatory changes <21 days; 2) degenerative changes >21 days; and 3) pathological changes 12 weeks.

The main cohort of patients was divided into two groups according to the treatment concept, and the surgical group was also divided into three subgroups according to surgical approach and reinsertion methods. The patients of the surgical treatment group were divided into subgroups depending on the type of implant used in order to conduct an intra-group analysis of the strength properties of fixation and the level of postoperative complications (Fig. 1).

Examination of patients

According to a pre-determined algorithm for choosing treatment tactics in DBT ruptures,

patients underwent physical tests: O'Driscoll, Ruland, supination-pronation, comparative isokinetic (DC-100 wrist dynamometer), measurements of the biceps flexion interval were carried out, the biceps fold coefficient was calculated. In order to determine the level of tendon injury, measurement of the proximal radioulnar space (PRUS), lacertus fibrosus provocation and the degree of biceps fatty degeneration in 49 (84.5%) cases, comparative ultrasound diagnostics of elbow joints by volar/dorsal approaches was performed and in 10 cases (15.5%) — MRI of the elbow joint 1.5–3.0 Tl (2). In 2 (3.4%) cases, electroneuromyography was performed when neuropathy was suspected.

Ultrasound of the injured and intact elbow joints with volar and dorsal approaches was chosen as a control instrumental study after treatment in 52 (89.6%) cases due to its availability. The absence of secondary lesion and biceps muscle retraction was regarded as a positive result of treatment. Postoperative complications were entered into the database and structured into four indicators for intergroup analysis on days 30 and 90: heterotopic ossification, neuropathy, stiffness (desmogenic contracture), muscle hypotrophy. At the same time, the relative values characterizing the frequency of occurrence or proportion were expressed as a percentage.

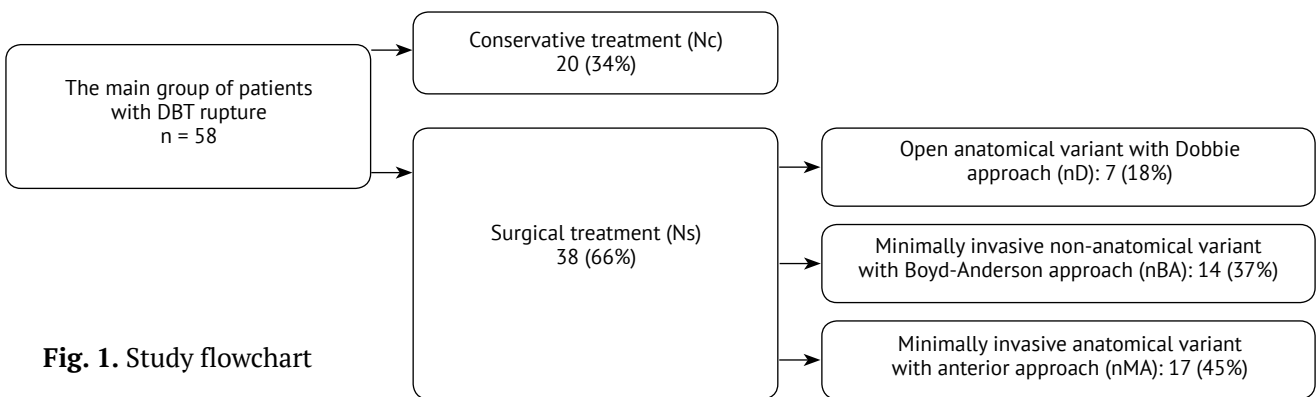


Fig. 1. Study flowchart

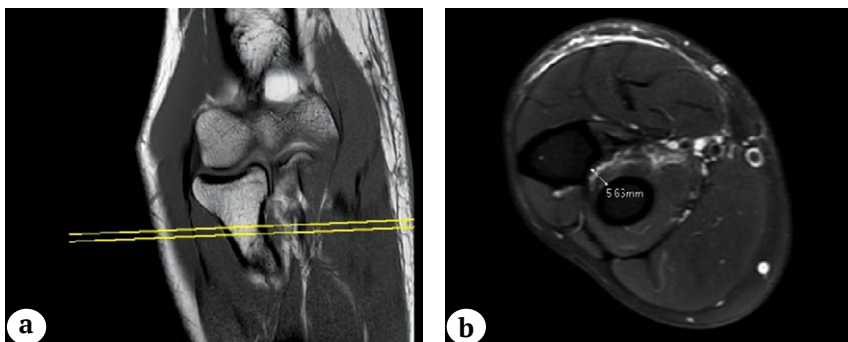


Fig. 2. Radio-ulnar space measurement example during appointment of patient with the distal biceps brachii tendon rupture: a, b — MRI (the middle third level of the “foot-print” of radial tuberosity)

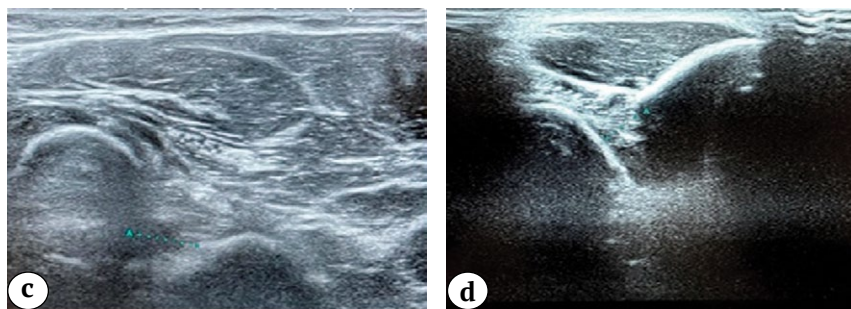


Fig. 2. Radio-ulnar space measurement example during appointment of patient with the distal biceps brachii tendon rupture: c, d – US (volar and dorsal accesses in pronation and supination positions of the forearm)

Evaluation of results

To evaluate the results obtained, the functional scales VAS, DASH and ASES were used. Additionally, the degree of biceps muscle retraction and involvement of lacertus fibrosus were compared with the above classifications of L. Perera and J. Fuente.

Conservative treatment

Conservative treatment was carried out in 20 cases only with partial ruptures (less than 50% of the tendon cross-section, which were detected by ultrasound or MRI) without muscle retraction 0-1 degree according to the classification of L. Perera. The Nc group included patients younger than 30 and older than 60 years engaged in intellectual work, with a high comorbidity index (Charlson ≥ 3 points), the presence of severe osteoporosis according to densitometry (T-criterion ≥ -2.5), as well as with prolonged use of corticosteroids or other hormonal therapy.

Patients were prescribed an orthopedic regimen (restriction of rotation, flexion/extension, power loads after 6 weeks), immobilization with a sling bandage or a stabilizing kinesiotope. With severe edema, from the 1st to the 14th day, patients underwent cryotherapy with the Kryotur apparatus (TUR Therapietechnik GmbH, Germany). Since 2018, in 8 (40%) cases, the method of cellular regeneration was used by introducing platelet-rich plasma (PRP) in the course of palpable DBT. After 3 weeks nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs), individual kinesiotherapy with load potentiation and physiotherapy procedures were prescribed [17].

Surgical technique

Indications for surgical treatment were the presence of a characteristic trauma in the anamne-

sis, at least two positive targeted clinical tests (Ruland, O'Driscoll, comparative kinetic test DC-100) and DBT rupture, confirmed by one or more instrumental diagnostic methods.

In the Ns group, 38 patients with complete rupture and any degree of biceps muscular retraction required the restoration of the “footprint” of both tendon heads by surgical approaches Dobbie, Boyd – Anderson or minimally invasive anterior approach (anterior “double incision” approach) in combination with variable implants: anchor fixators – 4 (10%) cases, cortical button – 30 (79%), combination of cortical button and interference screw – 3 (8%) and ligature type – 1 (2%).

Postoperative management of patients

The rehabilitation program of the underwent surgery patients implied immobilization with a sling bandage until the sutures were removed, followed by kinesiotaping in a stabilizing version, early passive (from the 2nd week Kinetec Centura) and active movements (from the 4th week) in the elbow and shoulder joints, limitation of axial and traction load (horizontal bar, bars) on the upper limb for 12 weeks, physiotherapy (cryotherapy from the 1st to the 7th day, electromyostimulation of the biceps / triceps and deltoid muscles after achieving symmetrical range of motion), NSAIDs, manual kinesiotherapy.

In the late postoperative period (8-12 weeks), training in the pool and physical therapy with an instructor, using dumbbells from 1 kg with a weekly increase in loads. The achievement of symmetrical function during a comparative examination of both elbow joints according to the parameters of goniometry, dynamometry (DC-100) and functional scales was observed within 6-12 weeks since the surgery.

Statistical analysis

Empirical distributions of continuous indicators of age, duration of hospitalization, duration of disability, VAS, DASH and ASES scores were studied in groups for agreement with the law of normal distribution using the Shapiro-Wilk criterion. The comparability of variances was checked using Fischer's F-test. Only the terms of hospitalization and disability turned out to be normally distributed, so the comparison of continuous indicators was carried out using nonparametric criteria. To compare the indicators between groups at one time point, the Mann-Whitney U-test was used, and the dynamics of indicators within groups between time points was compared using the Wilcoxon criterion. Normally distributed indicators were described as mean \pm standard deviation — $M \pm SD$, abnormally distributed — in the form of median — Me (Q1; Q3). Binary indicators of the number of events were described as the number of events and a percentage of the group size — n (%). For categorical indicators of the degrees of biceps muscular retraction, the number of patients with each degree and the percentage of the total number — n (%) were given. Binary and categorical indicators were compared between groups using the exact two-sided Fisher criterion. The dynamics of binary indicators was compared using the McNemar criterion. For all achieved p-levels, if necessary (when comparing more than two groups and degrees of biceps muscle retraction), correction for multiple comparisons by the Benjami-Hochberg method is made. Statistical hypotheses were tested at a critical significance level of $p = 0.05$, i.e. the difference was considered statistically significant at $p < 0.05$.

All statistical calculations were performed in the RStudio program (version 2021.09.2 Build 382 — © 2009-2022 RStudio, Inc., USA) in the R language (v. 4.0.2).

RESULTS

For a checkup in 6 and 36 months 52 (90%) patients of groups Nc and Ns showed up. Six (10%) patients could not come, but each of them reported a subjective good result of treatment during online correspondence and was tested using the VAS, DASH questionnaires after 6 months and ASES 36 months with mandatory registration of indicators in the study database.

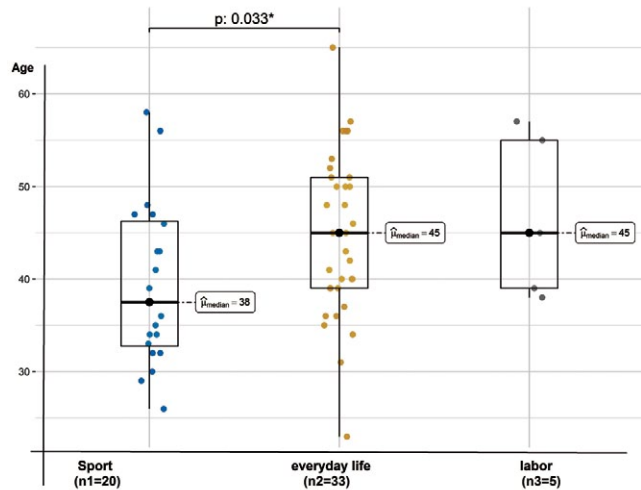


Fig. 3. Age parameters of the patients, depending on the type of the injury: n1 — sport; n2 — everyday life; n3 — industrial accident

The distribution of patients by age and type of injury is shown in Figure 3.

There were more patients with DBT injury who applied in the first 3 weeks — Nc = 18 (90%) and Ns = 20 (53%), ($p = 0.008$) compared to those who applied after 3-6 weeks. — Nc = 2 (10%) and Ns = 10 (26%), ($p = 0.187$) and 12 weeks. — Nc = 0 (0%), Ns = 8 (21%), ($p = 0.041$), respectively.

The degree of biceps muscle retraction was assessed by ultrasound or MRI results, then checked with the Perera and Fuente classifications:

- 0 degree — Nc = 12 (60%); Ns = 0 (0%), $p < 0.001$;
- 1 degree — Nc = 6 (30%); Ns = 13 (34%), $p > 0.999$;
- 2 degree — Nc = 0 (0%); Ns = 11 (29%), $p = 0.011$;
- 3 degree — Nc = 2 (10%); Ns = 14 (37%), $p = 0.035$.

In a single clinical case, a combination of injury period factors (>12 weeks) and a high degree of muscle retraction (3 degree) required the use of autograft technique*.

During the analysis of control ultrasound and MRI results with measurements of the PRUS and the volume of osseointegration of the tendon-bone zone of operated patients in the nD, nBA and nMA subgroups, a combination was proposed combining minimally invasive anterior approach "double incision" with minimal contact with neurovascular structures and a modified

*Patent for invention 2745408 C1. Method of surgical treatment of long-standing and repeated rupture of the distal biceps tendon / Medvedchikov A.E., Kirilova I.A., Anastasieva E.A.

method of fixation with a cortical button [18, 19]. Our variant implied suturing of the tendon stump with a braided non-absorbable tape, the formation of a "sliding loop" in the cortical button, which is considered a "reference" in terms of stiffness and biomechanics, which is important, given the possibility of repeated injury of the elbow joint in young patients involved in sports [15] (Fig. 4).

The postoperative period in 38 cases proceeded without septic complications. The average period of hospitalization was 2.5 bed days. The duration of disability in intellectual work patients

was 33.5 ± 0.5 days, in physically active patients or athletes — 45.5 ± 0.71 days.

Evaluation of the treatment results of all 58 patients was performed after 6 months on the VAS, DASH scales and after 36 months on the ASES scale and showed a decrease in the severity of pain to ≤ 1 point. DASH scores in the Ns and Nc groups decreased to 21 and 43 points ($p < 0.001$), the difference between the groups after 6 months was statistically significant ($p = 0.005$) (Fig. 5). ASES scores were 91 and 71 points ($p < 0.001$), which confirms the null hypothesis about the best functional results after surgical reinsertion of DBT (Fig. 6).

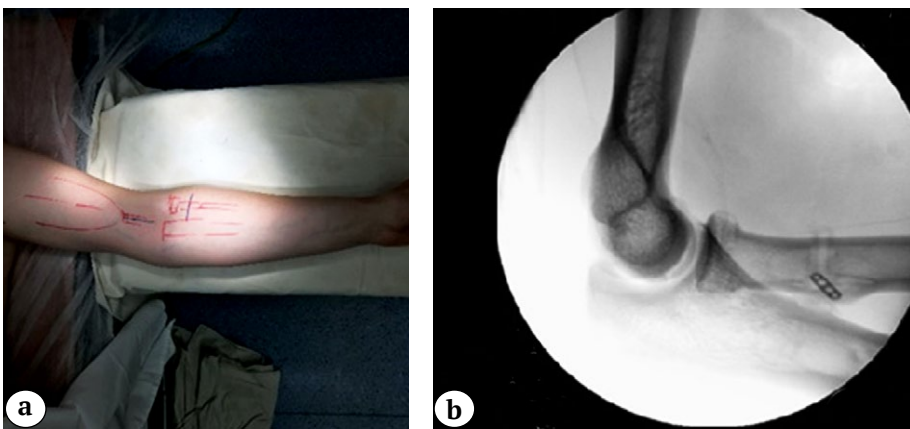


Fig. 4. Patient 41 y.o., Ns group, nMA:
a — planning of surgical approach;
b — intraoperative X-ray control

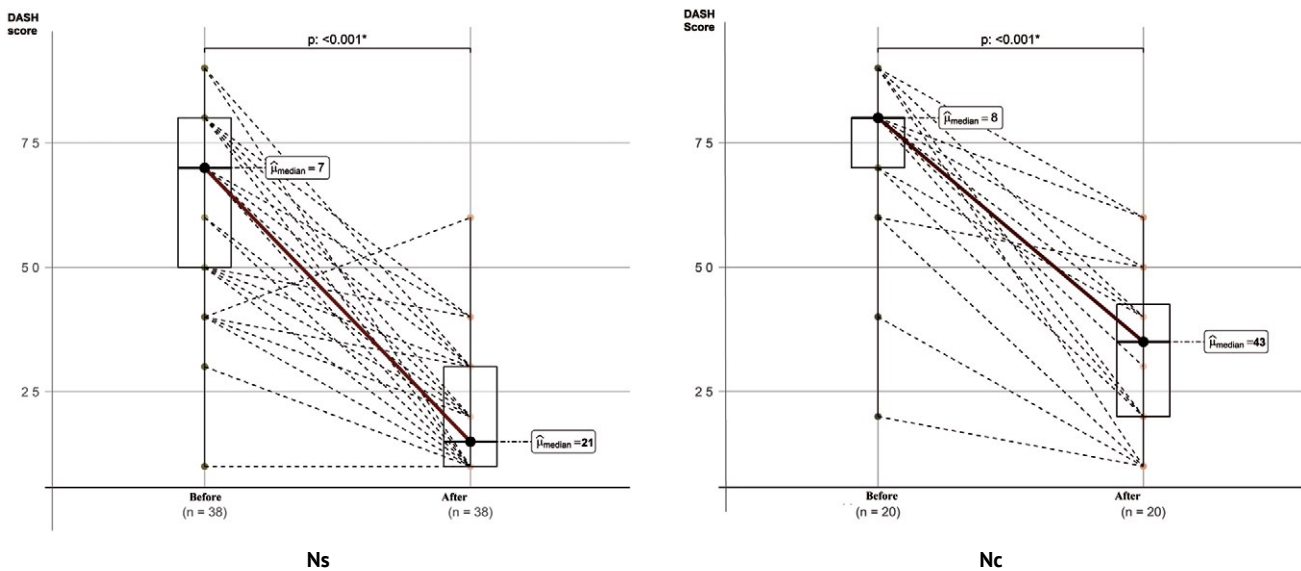


Fig. 5. Treatment outcomes in Ns and Nc groups using DASH in 6 month, scores

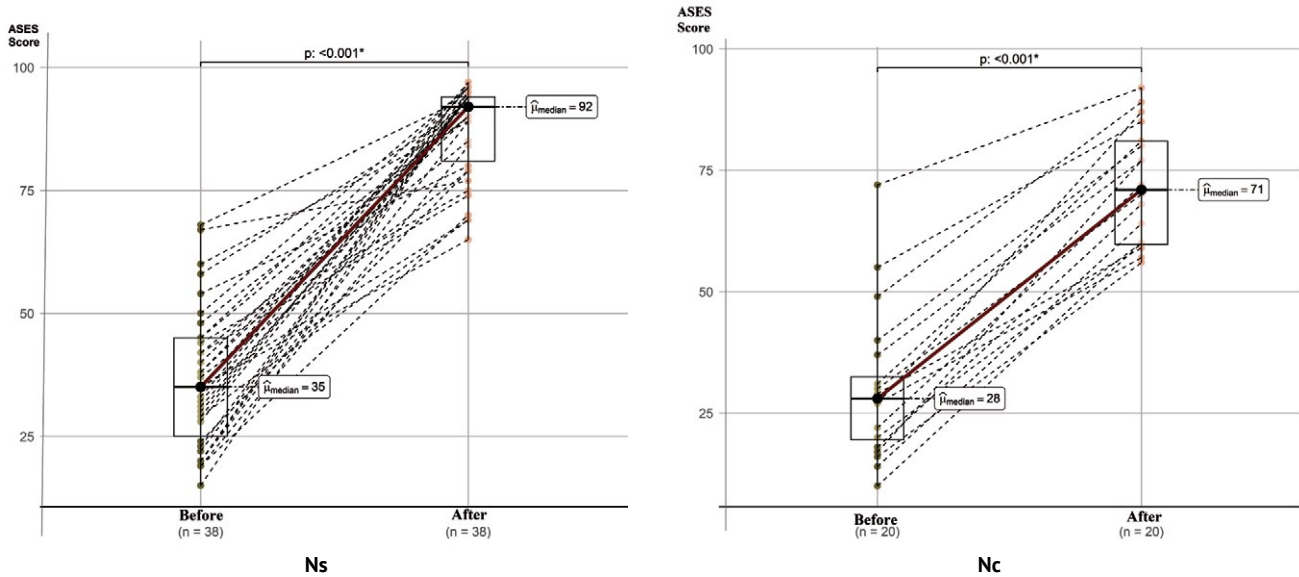


Fig. 6. Treatment outcomes in Ns and Nc groups using ASES in 36 month, scores

Within subgroups with different surgical approaches, methods of anatomical and non-anatomical reinsertion (38 operated patients), the results were:

- on the VAS after 6 months: nD decreased from 6 to 2 points ($p = 0.022$); nBA from 6.5 to 1 point ($p = 0.001$); nMA from 6 to 0 points ($p < 0.001$);
- on the DASH scale: nD from 76 to 31 points ($p = 0.022$); nBA from 71 to 17 points ($p = 0.001$); nMA from 74 to 14 points ($p < 0.001$);
- on the ASES scale after 36 months: nD from 37 to 79 points ($p = 0.016$); nBA from 38 to 91 points ($p = 0.001$); nMA from 31 to 94 points ($p < 0.001$).

These indicators reflect the influence of surgical approach and the method of DBT reinsertion on the functional state of the kinematics of the elbow joint in the medium and long term.

In statistical analysis of data 6 months after surgery, minimally invasive approaches showed better functional results compared to the open variant:

- DASH: nBA vs nD — $p = 0.006$; nMA vs nD $p = 0.013$;
- ASES: nBA vs nD — $p = 0,007$; nBA vs nD $p = 0,002$.

Comparing the pMA and the nBA, we noted insignificant differences only after 36 months.

Of the 31 minimally invasive surgeries, 14 (37%) non-anatomical DBT reinsertions were registered. Regardless of the type of implant, these patients were found to have any complications (stiffness, elbow joint arthrosis, synostosis

of the PRUS, residual pain syndrome) and questionable prospects for early return to sports and work activity, reaching peak functional indicators with comparative morphometry (goniometry, DC-100) after 9-12 weeks. Accordingly, 17 (45%) operations with anatomical reinsertion of DBT were performed. Results for the above indicators:

- VAS: nBA vs nMA — $p = 0,264$;
- DASH: nBA vs nMA — $p = 0,856$;
- ASES: nBA vs pMA — $p = 0.179$.

We revealed the achievement of peak indicators with comparative morphometry (goniometry, DC-100) and readiness for physical labor, as well as for sports training by the time of ≤ 6 weeks without the above negative events.

Complications

The presence of complications in the Ns group was assessed on the 30th and 90th days after surgery, after which an intergroup analysis was performed (Tab. 1).

Transient neuropathy of the lateral cutaneous nerve of the forearm, detected clinically and according to ENMG data in the first 30 days, was completely disappeared after the administration of ipidacrine hydrochloride by the 90th day. Muscle hypotrophy was determined by morphometry, dynamometry DC-100 and resolved after electromyostimulation after 30 days. The stiffness of the elbow joint was assessed using goniometry and was eliminated after the appointment of sequential hardware mechanotherapy (Kinetec

Table 1

Postoperative complications in subgroups of surgical approaches for up to 30 days

Complication	Subgroup		
	nD	nBA	nMA
Transient neuropathy of the lateral cutaneous nerve of the forearm	0 (0%)	2 (14%)	0 (0%)
Muscle hypotrophy	7 (100%)	7 (50%)	7 (41%)
Desmogenic contracture	7 (100%)	5 (36%)	5 (29%)
Heterotopic ossification	7 (100%)	0 (0%)	0 (0%)

Centura), then manual kinesiotherapy by the 90th day. In the operated patients, heterotopic ossification was diagnosed according to MRI data and persisted throughout the study period.

Damage to the posterior interosseous nerve (PIN) was not detected. The Dobbie open surgical approach method has high risks of developing short- and medium-term complications (>90 days), while the minimally invasive Boyd-Anderson variant was accompanied by transient neuropathy in two cases.

Six months after treatment, 52 (89.6%) patients of the Nc and Ns groups underwent ultrasound of the injured and intact elbow joints with volar and dorsal approaches due to its accessibility. The remaining 6 (10.4%) patients underwent MRI at their own request. In all cases, there was no biceps muscle retraction, signs of tendinosis, mucoid degeneration of the tendon. There were no relapses of the DBT rupture in the period from 2012 to 2022.

DISCUSSION

The concepts of the treatment of DBT ruptures vary depending on the period of injury, the area of the tendon lesion, the presence of morphological deviations of the elbow joint (heterotopic ossification, arthrosis, neuropathy), the comorbidity index and functional requirements of the patient and are divided into conservative and surgical [2, 5, 11, 14, 20, 21]. The rarity of the nosological form and the lack of unified clinical and diagnostic treatment algorithms prompted us to conduct a study covering period of ten years. In our opinion, partial ruptures less than 50% of the cross-section of the DBT, detected by ultrasound or MRI methods in patients younger than 30 or older than 60 years engaged in intellectual

work, with the injury period less than 3 weeks and without muscle retraction, they can respond well to conservative treatment. In these cases, we can expect a decrease in the maximum supination force by an average of 40% (26-60%), and the maximum flexion force by an average of 20% (0-40%). In the study Y. Tomizuka et al., performed on 86 cadaver models with ruptures of more than 50% of the DBT thickness, 76% of failures with cyclic loads on the elbow joint are reported; probably, in clinical practice, such cases would have received better functional results using an alternative method [22].

Anatomical and MRI studies show the expansion of the native DBT of the radial tuberosity area from ± 5.3 mm to ± 19.4 mm of the tendon-muscle junction with an average tendon length of 69 mm. The zone of tendon attachment to the bone has variable parameters of length 14-21 mm and width (2-10 mm), as well as a C-shaped configuration [3, 23, 24]. At the moment of moving the forearm from the supination position to the pronation position, there is a narrowing of PRUS up to $\leq 45\%$, which leads to mechanical impingement of the DBT without static and dynamic effort of the surrounding muscles, being the primary cause of rupture of single tendon fibers. The average values of the PRUS in the neutral position are 8.8 ± 4.0 mm, the pronation is 7.8 ± 3.9 mm, making the zone "problematic" when choosing the reinsertion method [3].

Histopathological studies of the injured area show an increased content of proteoglycans, type III collagen, matrix metalloproteinase-1 and matrix metalloproteinase-3 in the tendon stump and radial tuberosity, and disorganized fiber arrangement, which may indicate previously suffered bursitis or tendinopathy [25]. Together, the

dynamic change of the PRUS and the complexity of the attachment area anatomy under cyclic loads contribute to the formation of a zone of hypovascularization and hypooxygenation of DBT tissues, which is a secondary cause of degenerative rupture [24, 25]. Thus, surgeons should avoid bone positioning of the tendon stump, which is typical for methods using anchor and ligature fixators both during primary and revision reinsertion [15, 26].

Due to a thorough study of the neurovascular architectonics of fossa cubitalis and digital analysis of the biomechanics of the elbow joint (dynamic changes of the PRUS), regardless of the method of reinsertion and the type of implant, surgical treatment with open or minimally invasive approach leads to a high degree of subjective patient satisfaction, low pain and excellent functional results [27]. However, despite the optimism, the method has a 25% frequency of general postoperative complications, 4.6% of which are serious (neuropathy, PIN, LABCN, repeated tendon rupture, synostosis of PRUS, etc.) [6].

The generally accepted volar approach to fossa cubitalis by Dobbie was critically evaluated, as well as the most common minimally invasive approach known to us — access by Boyd-Anderson [2, 6, 16]. Both in combination with the bone positioning of the retracted DBT do not give a strong fixation, increase the risks of contact with neurovascular structures (PIN/LABCN, etc.) and ultimately lead to unsatisfactory results [28]. Also in our clinical practice, the technical difficulty of using a cortical button from the Boyd – Anderson approach, developed for ligature fixation after tendon insertion through the interosseous membrane of the forearm, was revealed. Therefore, 37% of patients underwent tendon transposition according to the technology and the formation of channels on the lateral surface of the radial bone diaphysis.

The ratio of surgical approaches, reinsertion methods and types of implants as possible predictors of repeated rupture, as well as the analysis of the role of osseointegration of the attachment area of radial tuberosity during a ten-year study allowed us to identify the most effective method of DBT anatomical reinsertion, combining minimally invasive principles and a high level of intracanal tendon-bone junction. The non-

trivial approach of this method critically reduces the risks of complications in the form of relapse, synostosis of PRUS, heterotopic ossification and desmogenic contracture of the elbow joint in patients engaged in physical labor, or athletes at the peak of their careers in terms of 30 and 90 days. Patients underwent surgery using this method are able to show comparatively better functional results in terms of 6 to 36 months after treatment. The results of surgical treatment of 38 patients with DBT rupture obtained during the study, in general, have no discrepancies with the literature data on this issue and encourage the authors to further search for solutions to reduce the number and severity of postoperative complications, develop other methods of fixation, and reduce the duration of rehabilitation.

Study limitations

A small number of patients were included in the study, which is due to the rarity of the nosological form and could affect the results. The comparative analysis of the results was carried out on our own clinical material within the same clinical base.

CONCLUSION

Improvement of patients with DBT rupture treatment results is possible with an adequately chosen method of treatment, taking into account the period of the injury, the area of the tendon lesion, the patient's need for physical activity, the risks of surgery and predictors of adverse outcomes. Conservative treatment is relevant in cases of partial ruptures in patients with intellectual work and the elderly, while modern minimally invasive interventions with short rehabilitation periods are more suitable for active categories of patients. Comparison of surgical approaches, reinsertion methods and types of implants allowed us to identify the most effective technique. The combination of minimally invasive approach with the option of intracanal fixation with a cortical button is distinguished by anatomicity, strength, ease of implementation, which together reduces the number of complications compared to conventional methods of treatment, and also makes it possible to improve the quality of patient life in a short time.

DISCLAIMERS

Author contribution

Medvedchikov A.E. — conception and design of the study, collection and processing of data, writing and editing the draft.

Anastasieva E.A. — collection and processing of data, text editing.

Korytkin A.A. — text editing.

Lukinov V.L. — collection and statistical processing of data, text editing.

Kirilova I.A. — text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. State budgetary.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

REFERENCES

- Kelly M.P., Perkinson S.G., Ablove R.H., Tueting J.L. Distal Biceps Tendon Ruptures: An Epidemiological Analysis Using a Large Population Database. *Am J Sports Med.* 2015;43(8):2012-2017. doi: 10.1177/0363546515587738.
- Albishi W., Agenor A., Lam J.J., Elmaraghy A. Distal Biceps Tendon Tears: Diagnosis and Treatment Algorithm. *JBJS Rev.* 2021;9(7). doi: 10.2106/JBJS.RVW.20.00151.
- Rausch V., Krieter J.P., Leschinger T., Hackl M., Scaal M., Müller L.P. et al. The Radioulnar Distance at the Level of the Radial Tuberosity. *Clin Anat.* 2020;33(5):661-666. doi: 10.1002/ca.23483.
- Jockel C.R., Mulieri P.J., Belsky M.R., Leslie B.M. Distal biceps tendon tears in women. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(5):645-650. doi: 10.1016/j.jse.2010.01.015.
- Gritsyuk A.A., Kokorin A.V., Smetanin S.M. [Rupture of the distal biceps tendon: current views on the etiology and treatment]. *Kafedra Travmatologii i ortopedii* [Department Traumatology and Orthopedics]. 2016;(2):42-48. (In Russian).
- Goedderz C., Plantz M.A., Gerlach E.B., Arpey N.C., Swiatek P.R., Cantrell C.K. et al. Determining the incidence and risk factors for short-term complications following distal biceps tendon repair. *Clin Shoulder Elb.* 2022;25(1):36-41. doi: 10.5397/cise.2021.00472.
- Johnson A.B. Avulsion of biceps tendon from the radius. *NY Mtd J.* 1897;(1):261-262.
- Biancheri T.M. Sulla rottura sottocutanea del bicipite brachiale. *Chir Organi Mov.* 1925;9:580-602.
- Nielsen K. Partial rupture of the distal biceps brachii tendon. A case report. *Acta Orthop Scand.* 1987;58(3):287-288. doi: 10.3109/17453678709146488.
- Midtgaard K.S., Hallgren H.B., Frånlund K., Gidmark F., Søreide E., Johansson T. et al. An intact lacertus fibrosus improves strength after reinsertion of the distal biceps tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(7):2279-2284. doi: 10.1007/s00167-019-05673-2.
- Perera L., Watts A.C., Bain G.I. Distal Biceps and Triceps Tendon Ruptures. *Oper Elbow Surg.* 2012;555-572. doi: 10.1016/b978-0-7020-3099-4.00037-0.
- de la Fuente J., Blasi M., Martínez S., Barceló P., Cachán C., Miguel M. et al. Ultrasound classification of traumatic distal biceps brachii tendon injuries. *Skeletal Radiology.* 2018;47(4):519-532. doi: 10.1007/s00256-017-2816-1.
- Borzykh A.V., Borzykh N.A. [Treatment of distal biceps tendon rupture in athletes]. *Travma* [Trauma]. 2013;14(4):30-32. (In Russian).
- Kruger N., Phadnis J., Bhatia D., Amarasooriya M., Bain G.I. Acute distal biceps tendon ruptures: anatomy, pathology and management-state of the art. *J ISAKOS.* 2020;5(5):304-313. doi: org/10.1136/jisakos-2019-000279.
- Bellringer S.F., Phadnis J., Human T., Redmond C.L., Bain G.I. Biomechanical comparison of transosseous cortical button and Footprint repair techniques for acute distal biceps tendon ruptures. *Shoulder Elbow.* 2020;12(1):54-62. doi: 10.1177/1758573218815312.
- Kaplunov O.A., Nekrasov E.Yu., Khusainov Kh.Kh. [Miniinvasive reinsertion of the distal biceps tendon of the shoulder by the endo-button technology (preliminary report)]. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii* [Medicine of Extreme Situations]. 2018;20(4):527-532. (In Russian).
- Medvedchikov A.E., Anastasieva E.A., Kulyaev D.A., Kirilova I.A. [Rehabilitation of patients after surgical treatment of avulsion rupture of the distal biceps brachial tendon]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechebnoi fizicheskoi kultury* [Problems of Balneology Physiotherapy, and Exercise Therapy]. 2021;98(3):53-59. (In Russian). doi: 10.17116/kurort20219803153.
- Amarasooriya M., Bain G.I., Roper T., Bryant K., Iqbal K., Phadnis J. Complications After Distal Biceps Tendon Repair: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2020;48(12):3103-3111. doi: 10.1177/0363546519899933.
- Bain G.I. Repair of Distal Biceps Tendon Avulsion With the Endobutton Technique. *Tech Shoulder Elbow Surg.* 2002;3(2):96-101. doi: 10.1097/00132589-200206000-00005.
- Roffman C.E., Buchanan J., Allison G.T. Charlson Comorbidities Index. *J Physiother.* 2016;62(3):171. doi: 10.1016/j.jphys.2016.05.008.
- Pouresmaeili F., Kamalidehghan B., Kamarehei M., Goh Y.M. A comprehensive overview on osteoporosis and its risk factors. *Ther Clin Risk Manag.* 2018;14:2029-2049. doi: 10.2147/TCRM.S138000.

22. Tomizuka Y., Schmidt C.C., Davidson A.J., Spicer C.S., Smolinski M.P., Mauro R.J. et al. Partial distal biceps avulsion results in a significant loss of supination force. *JBJS*. 2021;103(9):812-819. doi: 10.2106/JBJS.20.00445.
23. Beeler S., Hecker A., Bouaicha S., Meyer D.C., Wieser K. Indirect markers for length adjustment in distal biceps tendon allograft reconstruction. *PLoS One*. 2021;16(9):e0257057. doi: 10.1371/journal.pone.0257057.
24. Bhatia D.N., Kandhari V., DasGupta B. Cadaveric Study of Insertional Anatomy of Distal Biceps Tendon and its Relationship to the Dynamic Proximal Radioulnar Space. *J Hand Surg Am*. 2017;42(1):e15-e23. doi: 10.1016/j.jhsa.2016.11.004.
25. Fredberg U., Stengaard-Pedersen K. Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(1):3-15. doi: 10.1111/j.1600-0838.2007.00746.x.
26. Shulepov D.A., Salikhov M.R., Zlobin O.V., Kogan P.G. Results of anatomical reinsertion of the distal tendon of the biceps brachii using a minimally invasive fixation system Biceps Repair System. In: *Sovremennyye dostozheniya travmatologii i ortopedii* [Modern Achievements of Traumatology and Orthopedics]. 2018:298-302. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39971194>. (In Russian).
27. Carrazana-Suarez L.F., Cooke S., Schmidt C.C. Return to Play After Distal Biceps Tendon Repair. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2022;15(2):65-74. doi: 10.1007/s12178-022-09742-x.
28. Bajwa A., Simon M.J.K., Leith J.M., Moola F.O., Goetz T.J., Lodhia P. Surgical Results of Chronic Distal Biceps Ruptures: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2022;10(1):23259671211065772. doi: 10.1177/23259671211065772.

Authors' information

✉ Evgeniya A. Anastasieva

Address: 17, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-9329-8373>

e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Artem E. Medvedchikov

<http://orcid.org/0000-0002-1271-9026>

e-mail: medikea@mail.ru

Andrey A. Korytkin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Vitaliy L. Lukinov — Cand. Sci. (Phys.-Mat.)

<https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

e-mail: vitaliy.lukinov@sci-boost.com

Irina A. Kirilova — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>

e-mail: irinakirilova71@mail.ru



Results of Shoulder Adhesive Capsulitis Treatment With the Use of Platelet Rich Plasma and Nucleotide Drugs: a Comparative Study

Alexey V. Lychagin, Viktor B. Bogatov, Evgeniya Yu. Tselishcheva, Alexey V. Muzychenkov

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Background. Intra-articular injections of autologous platelet-rich plasma (PRP), which is a natural biological stimulant and affects various parts of the regenerative process, are often used in the treatment of adhesive capsulitis. Another line of using the reparative potential of biopolymers is the application of polynucleotides (PN), which, due to their effect on fibroblasts, are able to stimulate regeneration processes during adhesive capsulitis.

Aim of study – to evaluate the clinical efficacy of intra-articular injections of autologous platelet-rich plasma and a polynucleotide-based drug in the complex therapy of shoulder adhesive capsulitis, depending on the stage of the disease.

Methods. Performed prospective cohort study included 42 patients aged 47 to 60 years with the diagnosis of adhesive capsulitis. The duration of the disease varied from 3 months to 5 years. The patients were divided into 2 groups depending on the stage of the disease at the time of the treatment: 24 patients with the first stage of the disease (group AC1) and 18 patients with the second stage (AC2). Each group was divided into 2 subgroups of patients. In subgroups either PRP or PN were administered. The results were assessed 1 week, 1 month, 3 months after the start of the treatment. Evaluation of pain management efficacy was carried out using the visual-analog scale (VAS). The change in the quality of life of patients and the function of the shoulder joint were defined using the DASH questionnaire for assessing the function of the upper limb and the Simple Shoulder Test (SST).

Results. The use of PRP made it possible to achieve pain relief regardless of the stage of the disease. Patients of the AC1 group had a progressive pain syndrome attenuation from 80 to 45 points according to the VAS scale during the first 7 days after the start of the treatment. On the contrary, patients of the AC2 group had a slight pain increase by the end of the 1st week, that was associated with growing physical activity of patients. In the group of patients treated with PN, all experienced pain regression after the first injection. 20% of patients had pain relief within 24-36 hours after the start of the treatment., Increased joint pain was registered in 2 (10%) patients, which passed spontaneously during the first day. Pain syndrome intensity decreased in patients with both stages of the disease. According to the VAS, it decreased from 90-80 to 65 points after the first injection within 4 days in the AC1 group. Patients of the AC2 group did not notice significant effect after the first injection. The second injection reduced the pain to 65-70 points.

Conclusion. The effectiveness of PN-based drugs had no statistically significant difference from that of PRP, but their effect was achieved faster.

Keywords: shoulder adhesive capsulitis, platelet-rich plasma, PRP shoulder range of motions, polynucleotides.

Cite as: Lychagin A.V., Bogatov V.B., Tselishcheva E.Yu., Muzychenkov A.V. [Results of Shoulder Adhesive Capsulitis Treatment With the Use of Platelet Rich Plasma and Nucleotide Drugs: a Comparative Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):126-135. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1782>.

✉ Viktor B. Bogatov; e-mail: vic.bogatov@rambler.ru

Submitted: 23.05.2022. Accepted: 10.10.2022. Published Online: 29.11.2022.

© Lychagin A.V., Bogatov V.B., Tselishcheva E.Yu., Muzychenkov A.V., 2022



Результаты лечения адгезивного капсулита плечевого сустава с применением обогащенной тромбоцитами плазмы и нуклеотидных препаратов: сравнительное исследование

А.В. Лычагин, В.Б. Богатов, Е.Ю. Целищева, А.В. Музыченков

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)», г. Москва, Россия

Актуальность. Внутрисуставные инъекции аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP — platelet rich plasma), которая является естественным биологическим стимулятором и воздействует на различные звенья регенеративного процесса, часто используются при лечении адгезивного капсулита. Другим направлением в использовании репаративного потенциала биополимеров стало применение полинуклеотидов (PN — polynucleotide), которые благодаря своему действию на фибробласты способны стимулировать процессы регенерации при адгезивном капсулите.

Целью данного исследования стала оценка клинической эффективности внутрисуставного применения аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы и препарата на основе полинуклеотида в комплексной терапии адгезивного капсулита плечевого сустава в зависимости от стадии заболевания.

Материал и методы. Выполнено проспективное когортное исследование, в которое было включено 42 пациента в возрасте от 47 до 60 лет с диагнозом «адгезивный капсулит». Длительность заболевания варьировала от 3 мес. до 5 лет. Пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от стадии заболевания на момент обращения: 24 пациента с первой стадией заболевания (группа АК1) и 18 пациентов — со второй стадией (АК2). Обе группы были разделены на две подгруппы пациентов, в каждой из которой вводились PRP или PN. Результаты оценивались через 1 нед., 1 мес., 3 мес. после начала лечения. Оценку результатов купирования болевого синдрома проводили с применением визуально-аналоговой шкалы (ВАШ). Изменение качества жизни пациентов и функции плечевого сустава оценивали с помощью опросника для оценки функции верхней конечности DASH и упрощенной шкалы тестов плеча SST (Simple scale test).

Результаты. Применение PRP позволило добиться уменьшения болевого синдрома вне зависимости от стадии заболевания. В группе АК1 отмечалось прогрессивное снижение болевого синдрома по ВАШ с 80 до 45 баллов в течение первых 7 дней после начала лечения. У пациентов группы АК2, наоборот, отмечалось некоторое усиление боли к концу 1-й нед., что связано с нарастающей физической активностью больных. В группе пациентов, лечившихся с использованием PN, у всех отмечался регресс боли уже после первой инъекции. У 20% пациентов уменьшение боли наступало уже через 24–36 ч. после начала лечения. У 2 (10%) больных отмечалось усиление боли в суставе, которое прошло самостоятельно в течение первых суток. Болевой синдром уменьшался у пациентов с обеими стадиями заболевания. В группе АК1 болевой синдром по ВАШ снизился с 90–80 до 65 баллов после первой инъекции в течение 4 дней. У пациентов группы АК2 ощутимого эффекта после первой инъекции отмечено не было. Повторная инъекция снижала болевой синдром до 65–70 баллов.

Заключение. Препараты на основе PN показали свою эффективность, которая статистически значимо не отличалась от применения PRP, однако эффект достигался быстрее.

Ключевые слова: адгезивный капсулит плечевого сустава, обогащенная тромбоцитами плазма, амплитуда движений в плечевом суставе, PRP, полинуклеотиды.

Лычагин А.В., Богатов В.Б., Целищева Е.Ю., Музыченков А.В. Результаты лечения адгезивного капсулита плечевого сустава с применением обогащенной тромбоцитами плазмы и нуклеотидных препаратов: сравнительное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):126–135. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1782>.

Богатов Виктор Борисович; e-mail: vic.bogatov@rambler.ru

Рукопись получена: 23.05.2022. Рукопись одобрена: 10.10.2022. Статья опубликована онлайн: 29.11.2022.

BACKGROUND

Shoulder pain is rather frequent nowadays, most commonly in people of working age [1]. This problem might be considered multidisciplinary as the pathology has different causes that are not always connected with trauma. That fact presents difficulties in its diagnostics and treatment. Adhesive capsulitis (AC) is one of these pathologies that leads to chronic pain in the shoulder joint and periarticular tissues. Its clinical aspects include above all the pain syndrome of various intensity and severe limitations of the shoulder joint range of motions associated with capsule adhesion and fibrosis and subsequent disorders of bursal elasticity and extensibility [1, 2, 3]. Due to this the pain increases with abduction, the muscles are contracted, the motions are carried out together with the scapula. Chronic and severe pain syndrome not only limits the daily activities, but also affects the sleep and the rest adversely. As a result, the quality of life and the work capacity of patients with adhesive capsulitis get worse [4, 5].

Nowadays the patient's platelet rich plasma (PRP) is considered rather promising and safe method that has anti-inflammatory and regenerative effect [6, 7, 8]. Containing a lot different biologically active factors (clot formation products, thrombocyte growth factors, adhesive molecules and cytokines), it stimulates reparative and anabolic processes in damaged tissues and restores metabolic processes, intensifies tissue immunity, promotes cell metabolism, and tissue respiration as well as develops anti-inflammatory effect [9].

Recent researches indicated that polynucleotides (PN) affected the pain management of musculoskeletal system, especially tendons and ligaments. They are effective with rotator cuff tendinopathies, epicondylitis and plantar fasciitis [10, 11, 12]. PN is a compound of deoxyribonucleotide polymers of different length (from 50 to 2000 base pairs) and nucleosides derived from salmon milt. The PN structure represents low molecular weight species of deoxyribonucleic acid with purine and pyrimidine base monomers. Apart from relieving the pain caused by musculoskeletal disorders or injuries, it also enables regeneration of damaged tendons and ligaments [14, 15, 16]. However, there is still no agreement on optimal PRP therapy methods of treatment of this pathology, as well as there are very few re-

ports concerning objective results of PN use in case of adhesive capsulitis [17, 18, 19]. We consider of great clinical interest the efficacy comparison of these two methods of treating patients with shoulder joint adhesive capsulitis on different disease stages.

Aim of study – to evaluate the clinical efficacy of intra-articular injections of autologous platelet rich plasma and PN-based drugs in shoulder joint adhesive capsulitis management depending on the stage of disease.

METHODS

Study design

The performed prospective cohort study included 42 patients aged 47 to 60 years with the diagnosis of adhesive capsulitis. Among them were 38 women (90.5 %) and 4 men (9.5%). Duration of disease varied from 3 months to 5 years.

The patients were divided into 2 groups depending on the stage of disease determined at the first visit using the Neviasser's method. The first stage is marked by acute inflammation and synovitis, the second is characterized by pain relief and shoulder joint contracture [20]. Thus, all patients were divided into 2 groups, 24 of them had the first stage of disease (AC1 group) and 18 had the second stage of disease (AC2 group). Each group was divided into 2 subgroups, in which either PRP or PN were administered respectively (Fig. 1).

Inclusion criteria:

- discontinuation of non-steroid anti-inflammatory drugs (NSAID) at least 10 days prior to injection therapy;
- clinical signs of the first or the second stage of adhesive capsulitis, confirmed by ultrasound (US) and MRI;
- no shoulder joint injuries in anamnesis;
- no radiographic signs of shoulder joint osteoarthritis and/or presence of cartilage flaps in the joint cavity.

Exclusion criteria:

- local corticosteroid injections;
- continuation of NSAIDs;
- additional physiotherapy treatment and alpha-adrenergic agonists therapy;
- presence of old tendon and ligament injuries of the shoulder joint.

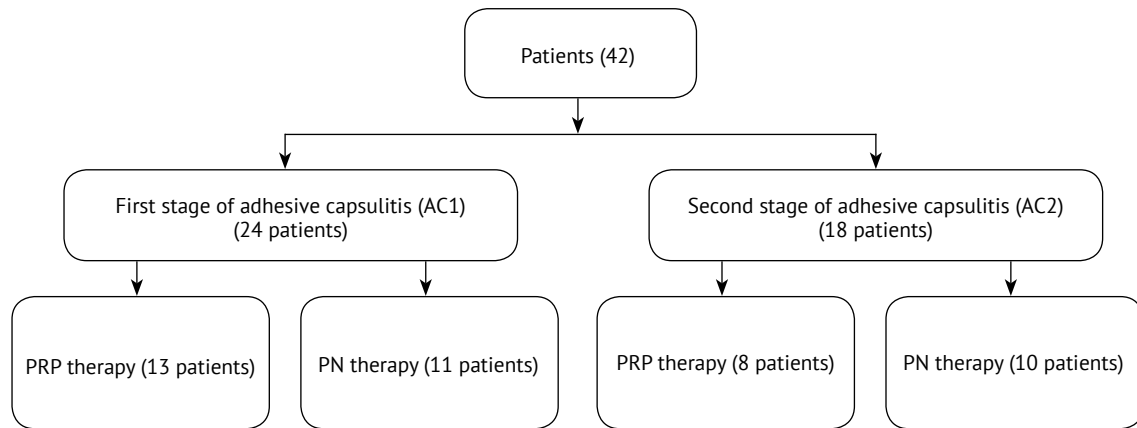


Рис. 1. Flowchart of the study

Before the start of the treatment all patients underwent standard X-ray (Siemens Multitom Rax scanner) and MRI (Hitachi Echelon Oval 1.5T scanner in T2-weighted fat-suppressed TSE PD SPAIR images) of the shoulder joint to evaluate the disease stage and severity for the following group allocation.

PRP extraction

Serum procurement and processing was performed using the unified RegenLab method (Certificate of Validation № FZN 2011/10570 dated 15.09.2011). Blue Regen BCT tubes (Rehegen Lab, Switzerland) with thixotropic separating gel without heparin were used.

Using the vacuum method, 8 ml of patient's blood were collected to a sterile tube. The tube was put into centrifuge right after the blood sampling. Centrifuge ride was carried out with the speed of 3100 rotations per minute over a period of 5 minutes. After centrifugation 4-5 ml of serum were obtained. Then the platelet rich plasma (with thrombocyte concentration of $(343.28 \pm 89.37) \times 10^9/\text{mm}^3$) was injected into the shoulder joint cavity via posterior approach without preliminary anesthesia under the US control. Injection protocol included 3 manipulations at an interval of 2 weeks.

Polynucleotides used in this research belong to class III medical devices (Certificate of Validation № RZN 2019/8994 dated 09.12.2019) and are sold in pharmacies under the trade name of Chronotron (Mastelli s.r.l., Italy).

Single injection contained 2 ml of a drug product with the following composition: 20 ± 2 mg of polynucleotides, 8.0 ± 0.8 mg of sodium chloride, 0.30 ± 0.03 of sodium dihydrogen phosphate dihydrate, 1.50 ± 0.15 of sodium hydrogen phosphate dodecahydrate and water to 1 ml. Injections were introduced into the shoulder joint cavity under the US navigation via posterior approach. One treatment course included 3 injections at an interval of 4-5 days for all patients of that group. Results were evaluated 1 week, 1 month and 3 months after the start of the treatment.

Results of the first part of this research (PRP use) were described in details in our previous publication [21].

Evaluation of results

Evaluation of pain syndrome relief was performed using the 100-point VAS scale, where 0 point meant pain absence and 100 points meant unsufferable pain.

Changes in life quality and shoulder joint functions were evaluated using the DASH questionnaire for assessing the function of the upper limb [2] and the Simple Shoulder Test (SST) [22].

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using the IBM SPSS Statistics 22.0. Evaluation of distribution normality was carried out with the use of Shapiro-Wilk test.

Distribution of numeric variables obtained in this research did not differ from normal, so that parametric statistical methods were applied. Continuous quantity values with normal distribution are represented as $M \pm SD$, where M stands for sample mean, SD stands for standard deviation. Student's t-test was used to compare dependent samples in the light of their normal distribution. Qualitative features were described with relative (%) and absolute frequencies. The differences were considered statistically significant at the level of $p < 0.05$.

Coefficient of variation was calculated to define the difference in shoulder joint range of motions at the one and the same period or at the time of research. The higher this coefficient was, the relatively greater was the spread and the lower was the uniformity of studied values.

The following formula was used:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100,$$

where σ — mean root square deviation;
 \bar{x} — mean of studied value.

RESULTS

Patient examination results before treatment

The following pathological changes were identified during the clinical examination: shoulder is visually elevated on that side, shoulder muscles are shortened, deltoid muscle is hypotrophied.

Acute joint and periarticular muscles pain was registered in active motions and moderate pain in passive ones. Maximum pain severity was registered in extreme points of motions. According to patients, the pain persisted at night time and increased in lateral position leaning on the injured joint.

Range of active and passive motions in the joint was limited: abduction — $61 \pm 4^\circ$, flexion — $85 \pm 5^\circ$ or at a deficit of $15\text{--}20^\circ$; external rotation — $32 \pm 3^\circ$, internal rotation — $37 \pm 4^\circ$.

There was a diffuse tissue swelling around the shoulder joint on palpation, as well as extended pain in the capsule area, local painful tension

(trigger point) in supraspinatus, infraspinatus, trapezius and subscapularis muscles.

X-rays revealed no osteo-traumatic changes and signs of arthrosis or loose bodies. On MRI the capsule was thickened in the area of axillary pouch to 4.4 ± 0.2 and swollen by $88 \pm 3\%$.

The AC2 patients showed deltoid and supraspinatus muscle hypotrophy under clinical examination. They had no pain at rest, but the pain appeared in case of full-range active and passive motions. Range of motions was severely limited: abduction — $40 \pm 7^\circ$, flexion — $50 \pm 5^\circ$, extension — $10 \pm 5^\circ$, external rotation — $20 \pm 3^\circ$, internal rotation — $5 \pm 3^\circ$. Diffuse pain in the joint appeared on palpation.

Shoulder joint MRI revealed 3.5 ± 0.3 mm capsule thickness in the area of axillary pouch, joint capsule swelling in the same area was by $76\text{--}83\%$.

PRP treatment results

PRP use enabled to decrease the pain syndrome regardless of the stage of disease. AC1 patients noticed pain relief after the first injection decreasing by 20 points by the end of the treatment according to the VAS. On the contrary, AC2 patients noticed some pain increase by the end of the first week of treatment due to growing physical activity. They registered pain relief (by 40 points according to the VAS) after the second injection 14 days after the start of the treatment (Fig. 2).

By the end of the first month all patients had significant increase in range of motions regardless of the stage of disease. This increase was higher in patients with earlier disease stage, as far as the pain relief effect was more accentuated and the tissue changes were less discernible (Fig. 3).

Improvement of range of motions in shoulder joint persisted over a period of 3 months.

Being the most affected adhesive capsulitis dynamic parameters, shoulder external rotation and abduction improved significantly nearly by fifty percent, that may provide evidence of medication efficacy.

Patients of both groups had statistically significant function increase according to the scales applied comparing with that in the beginning of the treatment.

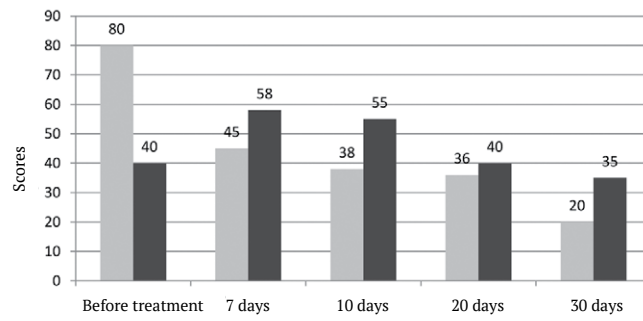


Fig. 2. The intensity of pain syndrome according to VAS during PRP therapy

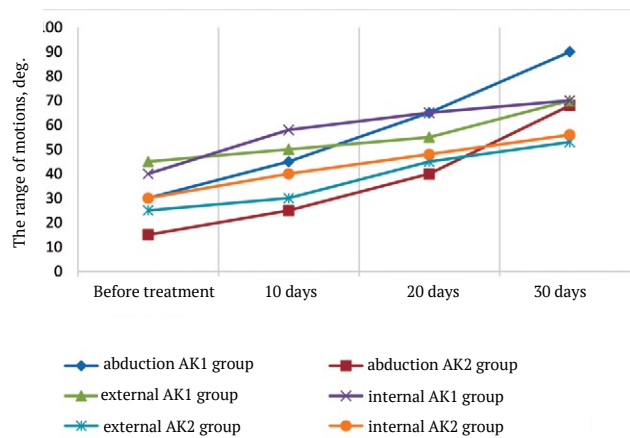


Fig. 3. The range of motions in the shoulder after PRP therapy

Medical effect grew over a period of 3 months of examination. This may indicate that this treatment method has stable and not temporary effect and is focused on pathogenetic aspects of disease. Experiencing pain relief, the patients could mobilize shoulder joint more actively that led to range of motions increase.

PN treatment results

All patients had pain regress after the first PN injection. 20% of patients experienced pain decrease 24-36 hours after the start of the treatment. Two patients (10%) noticed joint pain increase that spontaneously passed within 24 hours. Pain syndrome decreased in patients with both disease stages. According to the VAS, pain intensity in AC1 group diminished from 80-90 points to 65 points within 4 days after the first injection. AC2 patients experienced no signifi-

cant effect after the first injection. The second injection decreased pain syndrome level to 65–70 points. The third injection was given 15-21 days after the start of the treatment; 3-4 days later the patients noticed pain relief to 20-30 points (Fig. 4).

Four patients of the AC1 group increased the range of motions by more than 50% right after the first injection. The second and the third ones been introduced, the range of motions grew insignificantly. Ten patients (91%) of the AC1 group completely recovered active range of motions by the end of the treatment, 1 patient preserved 15° internal rotation deficit. Range of motions recovery in the AC2 group was harder. Coefficient of variation for this group of patients equaled 47%, that indicates great variability in population. Shoulder joint range of motions increased on average by 12% after the first injection, while the linear progression was noticed after

the second and the third injections. At the end of the treatment 7 patients (70%) were able to recover active range of motions completely. Two patients (20%) preserved near 10° abduction deficit and 1 patient (10%) suffered external rotation that was limited to 20°.

In most cases the first PN injection had no significant clinical effect, that resulted in slight SST increase (just 2,5 for patients with the second stage of adhesive capsulitis). However, it increased sharply after the second injection (more than twofold) and remained unchanged after the third injection (Table 1).

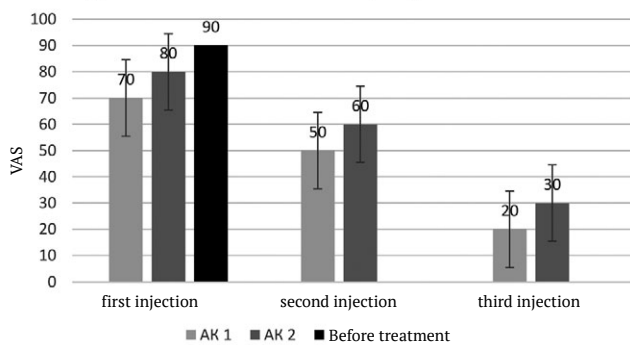


Fig. 4. Dynamics of pain changes in your after administration of a polynucleotide-based drug

Patients that underwent PN therapy as well as PRP treated patients had statistically significant improvements according to applied shoulder joint functional scales in comparison with pre-treatment levels (Table 2).

Being slight after the first injection, further improvements appeared rather dramatic after re-injections. According to the SST scale, significant shoulder function improvement was noticed after the second injection. We also observed upper limb functional improvement according to the DASH scale, that is demonstrated in the Table 3.

Table 1

Dependence of PN treatment results on number of injections

Group of patients	1 st injection	2 nd injection	3 rd injection
SST			
AC1	4.3	6.7	9.8
AC2	2.5	6.6	8.8
DASH			
AC1	38	24	9
AC2	39	28	12

Table 2

Comparison of functional outcomes after PRP and PN treatment (M±m)

Period	Flexion		Extension		Abduction		External rotation		Internal rotation	
	PN	PRP	PN	PRP	PN	PRP	PN	PRP	PN	PRP
Before treatment	110.5±5.9	112.9±7.1	25.1±4.1	24.8±8.7	62.2±5.9	60.0±7.1	32.1±6.1	33.2±3.6	21.7±5.1	23.6±3.1
In 1 month	158.7±8.7	161.2±4.9	39.8±6.2	40.3±7.9	144.3±10.1	141.2±12.3	50.8±13.2	52.0±12.8	38.9±7.1	40.5±9.8
In 3 months	169.1±6.2	170.9±11.1	46.1±9.9	44.7±9.9	170.1±14.7	166.2±13.5	64.6±11.9	62.7±12.1	55.1±6.4	58.5±7.7

p<0.05.

Table 3

Comparative assessment of treatment (M±m)

Scale	Before treatment		In 1 month		In 3 months	
	PN	PRP	PN	PRP	PN	PRP
SST	2.7±0.8	2.8±1.1	6.4±2.7	6.5±1.1	9.1±2.3	9.2±1.4
DASH	42.2±5.8	43.1±8.1	22.5±3.1	21.0±2.4	9.9±3.1	10.7±2.7

p<0.05.

By the end of the treatment PN-based drugs were comparable to PRP in efficacy that reflected in almost complete upper limb functional recovery.

DISCUSSION

The main aim of adhesive capsulitis treatment is to reverse inflammatory process in the joint capsule, decrease pain syndrome and improve function of muscular strength and shoulder joint range of motions that all in all enhances the quality of life. [17, 18, 23]. In most cases (up to 90%) conservative therapy is efficiently applied all over the world to achieve that aim. If it has no effect, the surgical treatment is carried out [20, 24]. Shoulder pain treatment is usually combined and indispensably includes both pharmaceutical (NSAID, glucocorticoids) and non-pharmaceutical methods (passive mechanotherapy, kinesiotaping, physical therapy) [1, 3, 16, 25, 26]. Other authors prefer using anaesthetic blocks before passive joint mobilization [27].

Nowadays the main classification criterion of different PRP medications is their thrombocyte and leucocyte concentration. However, this problem remains under discussion, as there is no precise information on the correlation between PRP thrombocyte concentration and obtained results [28, 29, 30]. That is due to the fact that growth factors may affect cell receptors in different ways. Low PRP thrombocyte concentration has no stimulant effect, while in case of concentration increase to $1000 \times 10^9/l$ and more the regeneration may on the contrary inhibit [25, 31]. The second criterion is the leucocyte concentration in the medication obtained. High leucocyte count increases the number of proinflammatory mediators that stimulate inflammation. However, some fractions including lymphocytes and monocytes have positive effect on growth factors due to their interaction with many bioactive molecules. Patients in our study were injected with PRP with thrombocyte concentration of $(343.28 \pm 89.37) \times 10^9/ml^3$ and partially reduced leucocytes. This blood cell count may probably be optimal, as we observed no inflammation after injections. Choosing PRP, we should take into account that high concentration of externally introduced coagulation factors may lead to local thrombosis [18]. That is why we should use PRP with extra care in elderly patients.

Many clinical studies showed that PN-based drugs are leveraged to manage multiple diseases associated with inflammation such as bursitis, fasciitis, mucositis and tendinopathy [14, 15, 24].

Therapeutic effect of PN injections into subacromial bursa under the US control for chronic supraspinal tendinopathy treatment was acknowledged [10]. Moreover, PN-based drugs administration contributed to pain decrease in case of rotator cuff tendinopathy [11]. Assessment of treatment efficiency in both publications was based on evaluation of shoulder pain index according to the VAS. Thirty-two patients with chronic rotator cuff disease (aged from 30 to 75 years) had significant shoulder pain decrease due to weekly PN injections (max 5 times). Thus, our study do follow the world practice in the application of such medications regarding to nosology and evaluation methods of therapeutical effect.

Comparing the efficiency of both treatment methods (PRP and PN), it is worth mentioning that they are truly alike in their mechanism of action as they both affect the inflammation process locally at the cellular level. However, L.Hwang's et al. recent study results showed deeper PN's mechanism of action. Authors noticed that PN-based drugs inhibited inflammatory response by stimulating A2AR adenosine receptors under inflammation and thereby suppressing IL-1 β and IL-6 inflammatory cytokines expression. Moreover, 100 mcg/ml of PN inhibited secretion of nitrogen oxide (NO) and IL-12 and TNF- α proinflammatory cytokines, as well as stimulated IL-10 anti-inflammatory cytokine secretion [13].

Results of our study elicited different PRP and PN levels of impact. Longer-term period was needed to reach positive dynamics in case of PRP treatment (3 injections at an interval of 2 weeks), while PN-based drugs in most cases showed significant effect right after the second injection with the interval of 4-5 days between them. Such treatment regimens limit the reliability of methods' comparison but still demonstrate faster therapeutic effect of PN-based drugs. As for the persistence of therapeutic efficacy and final outcomes, both methods turned out to be similar. It is worth noticing that patients especially with the second stage of adhesive capsulitis experienced insignificant improvement after the first PN injection, that sharply grew after the last injections.

This fact corresponds to L. Hwang's et al. experimental study results. Apparently PN-based drugs need some time to produce anti-inflammatory effect by blocking inflammatory mediators [13]. That is why we consider reasonable to administer more than 3 injections. What is more, no cases of side effects were registered. One of the most evident advantages of PN-based drugs is their ease of use, as the medication is contained in a sterile syringe and is ready to be injected. PRP medications must be prepared in aseptic conditions and are more traumatic due to necessity of additional patient's vein sampling.

CONCLUSION

Local administration of PRP and PN-based drugs in patients with the first and the second stage of adhesive capsulitis decreases the pain syndrome and affects indirectly the range of motions restoration. PRP and PN therapy are comparable in their efficacy, but the first one requires longer treatment especially in patients with the second stage of adhesive capsulitis.

DISCLAIMERS

Author contribution

Lychagin A.V. — study concept and design.

Bogatov V.B. — evaluation and interpretation of the data, text writing and editing.

Tselishcheva E.Yu. — collection and processing of data.

Muzychenkov A.V. — statistical processing of data.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Sechenov University, protocol No 06-18, 06.06.2018.

Consent for publication. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

REFERENCES

1. Cho C.H., Bae K.C., Kim D.H. Treatment Strategy for Frozen Shoulder. *Clin Orthop Surg.* 2019;11(3):249-257. doi: 10.4055/cios.2019.11.3.249.
2. Franchignoni F., Vercelli S., Giordano A., Sartorio F., Bravini E., Ferriero G. Minimal clinically important difference of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure (DASH) and its shortened version (QuickDASH). *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(1):30-39. doi: 10.2519/jospt.2014.4893.
3. Dolgova L.N., Krasivina I.G. [Shoulder and neck pain: interdisciplinary aspects of treatment]. *Meditsinskiy sovet [Medical Council]*. 2017;(17):50-57. (In Russian). doi: 10.21518/2079-701X-2017-17-50-57.
4. Ibrahim M.I., Johnson A.J., Pivec R., Issa K., Naziri Q., Kapadia B.H. et al. Treatment of adhesive capsulitis of the shoulder with a static progressive stretch device: a prospective, randomized study. *J Long Term Eff Med Implants.* 2012;22(4):281-291. doi: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.2013007061.
5. Leblanc D.R., Schneider M., Angele P., Vollmer G., Docheva D. The effect of estrogen on tendon and ligament metabolism and function. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2017;172:106-116. doi: 10.1016/j.jsbmb.2017.06.008.
6. Zheleznaya A.A., Tsvyashko T.I., Knurov I.J., Shapovalov A.G., Petrov A.G., Lunova N.N. [The use of platelet-rich autoplasm in obstetric-gynecological practice]. *Mediko-sotsial'nye problemy sem'i [Medical and Social Problems of Family]*. 2016;21(1):72-78. (In Russian).
7. Andia I., Abate M. Platelet-rich plasma: combinational treatment modalities for musculoskeletal conditions. *Front Med.* 2018;12(2):139-152. doi: 10.1007/s11684-017-0551-6.
8. Mariani E., Pulsatelli L. Platelet Concentrates in Musculoskeletal Medicine. *Int J Mol Sci.* 2020;21(4):1328. doi: 10.3390/ijms21041328.
9. Aslani H., Nourbakhsh S.T., Zafarani Z., Ahmadi-Bani M., Ananloo M.E., Beigy M. et al. Platelet-Rich Plasma for Frozen Shoulder: A Case Report. *Arch Bone Joint Surg.* 2016;4(1):90-93.
10. Colangelo M.T., Govoni P., Belletti S., Squadrito F., Guizzardi S., Galli C. Polynucleotide biogel enhances tissue repair, matrix deposition and organization. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2021;35(1):355-362. doi: 10.23812/20-320-L.
11. Colangelo M.T., Galli C., Guizzardi S. The effects of polydeoxyribonucleotide on wound healing and tissue regeneration: a systematic review of the literature. *Regen Med.* 2020. Online ahead of print. doi: 10.2217/rme-2019-0118.
12. Lee D.W., Hyun H., Lee S., Kim S.Y., Kim G.T., Um S. et al. The Effect of Polydeoxyribonucleotide Extracted from Salmon Sperm on the Restoration of Bisphosphonate-Related Osteonecrosis of the Jaw. *Mar Drugs.* 2019;17(1):51. doi: 10.3390/md17010051.
13. Hwang L., Ko I.G., Jin J.J., Kim S.H., Kim C.J., Hwang J.J. et al. Attenuation effect of polydeoxyribonucleotide on inflammatory cytokines and apoptotic factors induced by particulate matter (PM10) damage in human bronchial cells. *J Biochem Mol Toxicol.* 2021;35(2):22635. doi: 10.1002/jbt.22635.

14. Kim T.H., Heo S.Y., Oh G.W., Heo S.J., Jung W.K. Applications of Marine Organism-Derived Polydeoxyribonucleotide: Its Potential in Biomedical Engineering. *Mar Drugs*. 2021;19(6):296. doi: 10.3390/md19060296.
15. Codsí M.J. The painful shoulder: when to inject and when to refer. *Cleve Clin J Med*. 2007;74(7):473-474, 477-478, 480-482 passim. doi: 10.3949/ccjm.74.7.473.
16. Chan H.B.Y., Pua P.Y., How C.H. Physical therapy in the management of frozen shoulder. *Singapore Med J*. 2017;58(12):685-689. doi: 10.11622/smedj.2017107.
17. Robinson C.M., Seah K.T., Chee Y.H., Hindle P., Murray I.R. Frozen shoulder. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(1):1-9. doi: 10.1302/0301-620X.94B1.27093.
18. Itoi E., Arce G., Bain G.I., Diercks R.L., Guttman D., Imhoff A.B. et al. Shoulder Stiffness: Current Concepts and Concerns. *Arthroscopy*. 2016;32(7):1402-1414. doi: 10.1016/j.arthro.2016.03.024.
19. Yoon Y.C., Lee D.H., Lee M.Y., Yoon S.H. Polydeoxyribonucleotide Injection in the Treatment of Chronic Supraspinatus Tendinopathy: A Case-Controlled, Retrospective, Comparative Study With 6-Month Follow-Up. *Arch Phys Med Rehabil*. 2017;98(5):874-880. doi: 10.1016/j.apmr.2016.10.020.
20. Neviasser R.J., Neviasser T.J. The frozen shoulder. Diagnosis and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;(223):59-64.
21. Tselischeva E.Yu., Lychagin A.V., Yavlieva R.Kh., Goncharuk Yu.R., Romadin D.V., Kalinsky E.B. [Application of autologous blood plasma preparations in treatment of adhesive capsulites]. *Kafedra travmatologii i ortopedii* [Department of Traumatology and Orthopedics]. 2021;2(44):5-11. (In Russian). doi: 10.17238/issn2226-2016.2021.2.5-11.
22. Angst F., Schwyzer H.K., Aeschlimann A., Simmen B.R., Goldhahn J. Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and its short version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society standardized shoulder assessment form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63(11):174-188. doi: 10.1002/acr.20630.
23. Kothari S.Y., Srikumar V., Singh N. Comparative Efficacy of Platelet Rich Plasma Injection, Corticosteroid Injection and Ultrasonic Therapy in the Treatment of Periarthritis Shoulder. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(5):RC15-RC18. doi: 10.7860/JCDR/2017/17060.9895.
24. Setayesh K., Villarreal A., Gottschalk A., Tokish J.M., Choate W.S. Treatment of Muscle Injuries with Platelet-Rich Plasma: a Review of the Literature. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018;11(4):635-642. doi: 10.1007/s12178-018-9526-8.
25. Yadav S., Mittal V., Chabra A., Kumar A. Management of post traumatic shoulder using autologous Platelet Rich Plasma intra-articular injection. *GJRA*. 2017;6(4):95-97.
26. Gautam V.K., Verma S., Batra S., Bhatnagar N., Arora S. Platelet-rich plasma versus corticosteroid injection for recalcitrant lateral epicondylitis: clinical and ultrasonographic evaluation. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2015;23(1):1-5. doi: 10.1177/230949901502300101.
27. Hussain N., Johal H., Bhandari M. An evidence-based evaluation on the use of platelet rich plasma in orthopedics - a review of the literature. *SICOT J*. 2017;3:57. doi: 10.1051/sicotj/2017036.
28. Chahla J., Cinque M.E., Piuze N.S., Mannava S., Geeslin A.G., Murray I.R. et al. A Call for Standardization in Platelet-Rich Plasma Preparation Protocols and Composition Reporting: A Systematic Review of the Clinical Orthopaedic Literature. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(20):1769-1779. doi: 10.2106/JBJS.16.01374.
29. Rybin A.V., Kuznetsov I.A., Netylko G.I., Rumakin V.P., Rykov Yu.A. [Use of platelet-rich plasma for bioplastic processes stimulation after arthroscopic reconstruction of anterior cruciate ligament (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2015;(2):106-116. (In Russian).
30. Malanin D.A., Tregubov A.S., Demeshchenko M.V., Cherezov L.L. [PRP-therapy for osteoarthritis of large joints]. Volgograd: Volgograd SMU; 2018. 49 p. (In Russian).
31. Lin J. Platelet-rich plasma injection in the treatment of frozen shoulder: A randomized controlled trial with 6-month follow-up. *Int J Clin Pharmacol Ther*. 2018;56(8):366-371. doi: 10.5414/CP203262.

Authors' information

✉ Viktor B. Bogatov — Dr. Sci. (Med.),
Address: 8-2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-0526-4932>
e-mail: vic.bogatov@rambler.ru

Alexey V. Lychagin — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>
e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Evgeniya Yu. Tselishcheva — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1669-3935>
e-mail: ts.jane@bk.ru

Alexey V. Muzychenkov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>
e-mail: battle-hamster@mail.ru



Comparative Biomechanical Analysis of Ankle Arthrodesis Techniques: Experimental Study

Vladimir V. Khominets¹, Sergey V. Mikhailov¹, Sayan E. Zhumagaziev¹, Alexey V. Shchukin¹, Dmitry V. Ivanov²

¹ Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

² Chernyshevsky Saratov National Research State University, Saratov, Russia

Background. Despite the existing significant number of various techniques for ankle arthrodesis, a number of authors point to certain technical difficulties of these operations, the loss of the talus and tibia position during ankylosing, nonunion. The problem of the ankle arthrodesis technique improving requires new solutions.

The aim of the study was to compare the stability of various fixation systems in ankle arthrodesis by the finite element method.

Methods. The finite element method was used to evaluate the biomechanical characteristics of three variants of ankle arthrodesis systems: three cancellous screws, the originally designed plate combined with two cancellous screws, when the screw in the proximal plate's hole is cortical, and the same plate combined with two cancellous screws, when the screw in the proximal plate's hole with angular stability. The stresses and strains under the application of various types of loads are studied.

Results. In the anterior plate ankle fixation model combined with two cancellous screws and a proximal cortical screw, the implants and the talus experienced the least stresses compared to the other two models. Thus, the maximum equivalent stress in implants in the second variant was 68-124 MPa, in the first variant 92-147 MPa, in the third variant – 130-331 MPa. The equivalent stress in the talus in the second version of fixation ranged from 20 to 46 MPa, in the first and third versions – 28-58 MPa and 47-65 MPa, respectively. The indicators of maximum contact pressure at the border of the tibia and talus turned out to be the highest in the first variant compared to the other two models (34 MPa, 31 MPa and 31 MPa, respectively).

Conclusions. Among the studied ankle fixation systems for arthrodesis, an anterior plate combined with two cancellous screws and a proximal cortical screw is the most preferable in terms of biomechanics.

Keywords: biomechanical modeling, ankle arthrodesis, plate, cancellous screws, finite element method.

Cite as: Khominets V.V., Mikhailov S.V., Zhumagaziev S.E., Shchukin A.V., Ivanov D.V. [Comparative Biomechanical Analysis of Ankle Arthrodesis Techniques: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):136-147. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1989>.

✉ Vladimir V. Khominets; e-mail: vkhominets@yandex.ru

Submitted: 02.09.2022. Accepted: 01.11.2022. Published Online: 25.11.2022.

© Khominets V.V., Mikhailov S.V., Zhumagaziev S.E., Shchukin A.V., Ivanov D.V., 2022

Научная статья

УДК 616.728.48-089.881:612.76

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1989>

Сравнительный биомеханический анализ способов артродезирования голеностопного сустава: экспериментальное исследование

В.В. Хоминец¹, С.В. Михайлов¹, С.Е. Жумагазиев¹, А.В. Шукин¹, Д.В. Иванов²

¹ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБВОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского» Минобрнауки России, г. Саратов, Россия

Актуальность. Несмотря на значительное количество разнообразных методик, применяемых для артродеза голеностопного сустава, ряд авторов указывают на определенные технические сложности указанных операций, потерю коррекции заданного положения таранной и большеберцовой костей в процессе анкилозирования, несращения. Проблема совершенствования методики фиксации при артродезе голеностопного сустава требует новых решений.

Цель — сравнить методом конечных элементов стабильность различных вариантов систем фиксации при артродезе голеностопного сустава.

Материал и методы. Методом конечных элементов выполнена оценка биомеханических характеристик трех вариантов систем фиксации голеностопного сустава при артродезе: три спонгиозных винта, разработанная пластина, комбинируемая с двумя спонгиозными винтами, проксимальный винт в пластине кортикальный, а также разработанная пластина, комбинируемая с двумя спонгиозными винтами, проксимальный винт в пластине с угловой стабильностью. Изучены напряжения и деформации при приложении различных видов нагрузок.

Результаты. В модели фиксации голеностопного сустава передней пластиной, комбинируемой с двумя спонгиозными винтами и проксимальным кортикальным винтом, имплантаты и таранная кость испытывали наименьшие напряжения по сравнению с двумя другими моделями. Так, максимальное эквивалентное напряжение в имплантатах при втором варианте составило 68–124 МПа, при первом варианте — 92–147 МПа, при третьем — 130–331 МПа. Эквивалентное напряжение в таранной кости во втором варианте фиксации составило от 20 до 46 МПа, в первом и третьем вариантах — 28–58 МПа и 47–65 МПа соответственно. Показатели максимального контактного давления на границе большеберцовой и таранной костей оказались наибольшими в первом варианте по сравнению с двумя другими моделями (34 МПа, 31 МПа и 31 МПа соответственно).

Заключение. Среди изученных систем фиксации голеностопного сустава при артродезе применение передней пластины, комбинируемой с двумя спонгиозными винтами и проксимальным кортикальным винтом, является наиболее предпочтительным с точки зрения биомеханики.

Ключевые слова: биомеханическое моделирование, артродез голеностопного сустава, пластина, спонгиозные винты, метод конечных элементов.

Хоминец В.В., Михайлов С.В., Жумагазиев С.Е., Шукин А.В., Иванов Д.В. Сравнительный биомеханический анализ способов артродезирования голеностопного сустава: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):136–147. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1989>.

Хоминец Владимир Васильевич; e-mail: vkhominets@yandex.ru

Рукопись получена: 02.09.2022. Рукопись одобрена: 01.11.2022. Статья опубликована онлайн: 25.11.2022.

© Хоминец В.В., Михайлов С.В., Жумагазиев С.Е., Шукин А.В., Иванов Д.В., 2022

BACKGROUND

Enhancement of ankle arthrodesis techniques when treating patients with the end-stage osteoarthritis still remains one of the main problems of modern traumatology and orthopedics. Nowadays many authors consider ankle arthrodesis as a gold standard for the treatment of patients with this pathology [1, 2, 3].

It is known that one of the main aspects, indispensable for the ankle bone ankylosing is to create conditions for the foot fixation at a functionally advantageous or specified position [1, 4, 5]. Screws, plates, intramedullary nails, external fixators and their combinations are applied to definitively fix the attained optimal position of the talus in relation to the tibia [6, 7, 8]. Screws and plates are the most frequent in case of the ankle arthrodesis. They provide sufficient stability and adequate compression between the ankylosed tibial and talar surfaces [2, 9, 10]. However, some authors report on the loss of correct position of the ankylosed bones during the treatment due to the implant failure. This problem particularly often occurs when starting the axial load (1.5-2.0 months after the surgery). It might be caused by poor bone quality, insufficient contact between the bones, lysis of bone transplants used during the surgery, joint contracture of the forefoot [3, 11, 12]. Limitation of movements mentioned above does not contribute to the rock-up from heel to toe when walking, while the cyclic load leads to the construct loosening [13]. Thus, the problem of reliable fixation of the ankle joint do exist and pushes for new decisions.

In the hospital of military trauma and orthopedics of the Kirov Military Medical Academy we developed a method of the ankle arthrodesis with the use of 3 cancellous screws (patent RU 2633945). The first 2 screws are introduced through the anterior margin of the distal metaepiphysis of the tibia into the trochlea of the talus, while the third screw is introduced through the posteromedial part towards the neck of the talar bone. To perform that, it is necessary to turn over the patient on one side or raise his leg and hold it in this position during a certain time that is needed to introduce a guide wire, make a hole with a cannulated drill bit, select the cancellous screw of appropriate length and insert it [7].

All these indispensable procedures increase the surgery duration and C-arm operating period, creating some difficulties for the surgical team [14].

Taking this into account, on the basis of the hospital of military trauma and orthopedics of the Military Medical Academy we developed an anterior plate for the ankle arthrodesis that is used instead of the third screw and is combined with 2 cancellous screws inserted through the anterior surface of the distal tibial metaepiphysis.

Several biomechanical studies concerning the stability of different implants for the ankle joint fixation when performing arthrodesis have been published in the special literature [15, 16, 17]. Nowadays the comparative analysis of various types of metal fixators is more often carried out by applying biomechanical (or math) modeling. Among them is the finite element method [17, 18, 19]. However, there are only few studies dedicated to the evaluation of stability of different variants of the ankle fixation with the use of this method [18, 19]. Despite a big number of existing techniques of ankle arthrodesis, we chose for our comparative analysis the method of 3 cancellous screws for the following reasons. Firstly, it is sufficiently studied by many authors concerning the surgery technique and the long-term treatment results. Secondly, according to the specialists, ankle arthrodesis with screws is the most frequently used and is considered as a gold standard [3, 10]. Thus, to facilitate the surgical intervention, we suggested our originally designed plate that substitutes the third screw, introduced through the posterior part of the distal tibial metaepiphysis towards the talar neck. Due to this reason, we did not include in our study the variant of ankle joint arthrodesis with serial plates.

Aim of the study – to compare the stability of various fixation systems in ankle joint arthrodesis, using the finite element method.

METHODS

Anterior plate for the ankle arthrodesis was developed by the employees of the Military Trauma and Orthopedics department of the Military Medical Academy in collaboration with “Osteomed” company. The implant is made of Ti6Al4V titanium alloy according to the

National State Standard R ISO 5832-3 (application for an invention RF N°2022123335). L-shaped implant with preset anatomic angle can be optimally positioned over the ankle joint and has minimal profile. The plate has a short and widened arm that allows to place it on the talar neck eliminating the risk of impingement syndrome in the talonavicular joint between the plate and the navicular bone. Long arm of the plate has combination holes that enable the use of both cortical and angular-stable screws (Fig. 1).



Fig. 1. Anterior plate for ankle arthrodesis

Virtual reconstruction of the variants of ankle arthrodesis was made using the computed tomography (CT). Initial processing of CT scans of the left ankle joint (1051 axial slices) of the patient (born in 1967) was carried out with the use of Mimics software (Materialise, Belgium). As a result, surface models of the distal third of the tibia and the talar bone were obtained. After that the surface models were transformed in 3Matic software (Materialise, Belgium) into solid ones which were exported to the Step format (universal standard of data model exchange of the product). Solid models of the screws and the plate were designed using SolidWorks automatic design system and were combined together in this system. Thus, three variants of ankle joint fixation for arthrodesis in functionally advantageous position were simulated. The first variant of fixation implies the use of three 6.5 mm cancellous screws with partial thread and 16 mm thread length (patent RU 2633945) (Fig. 2a). In case of the second and the third variants, the fixation is performed with our designed plate in combination with two 6.5 mm cancellous screws with partial thread and 16 mm thread length (Fig. 2b, c).

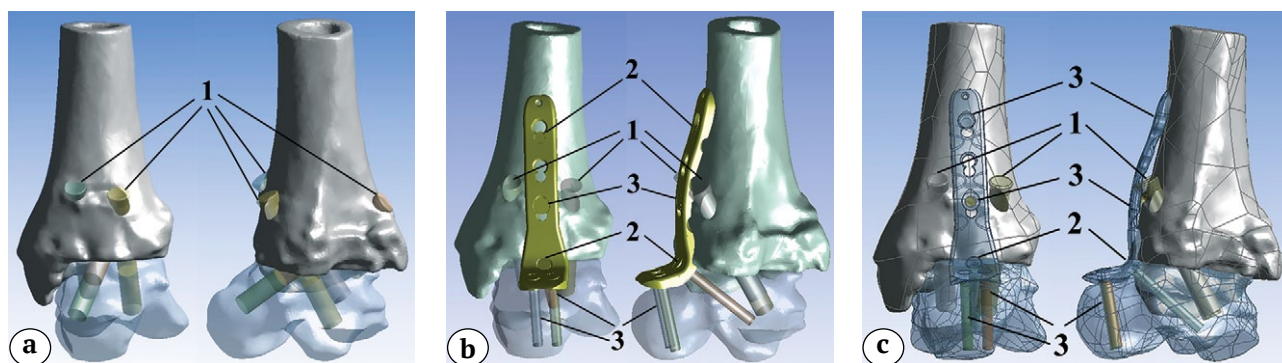


Fig. 2. 3D models in two projections (frontal and lateral) of ankle arthrodesis: a – with three cancellous screws; b – the originally designed plate and two cancellous screws, the proximal screw is cortical; c – the originally designed plate and two cancellous screws, proximal screw with angular stability 1 – cancellous screw, 2 – cortical screw, 3 – screw with angular stability

The models were constructed as follows. The first two cancellous screws were inserted through the anterior margin of the distal metaphysis of the tibia into the trochlea of the talus. Then the plate was fixed to the talar bone with one cortical screw, introduced via the hole at the curve of the plate, and with two angular-stable screws, inserted via the holes of the short arm of the plate. At the next stage, the implant was secured to the tibia with an angular-stable screw, introduced via the distal hole, and with a cortical screw via the proximal hole (the second variant) or with two angular-stable screws (the third variant).

The problems of “bone-fixator” system loading by external forces and the moments in static position are described in details in the study of A.V. Dolya et al. [20]. They were solved numerically using the finite element method and Ansys software (Ansys Inc., USA). Coordinate axes, relative to which the external forces were applied, were aligned as follows: Z-axis – along the axis of the tibia and vertically upwards, Y-axis – along the axis of the foot from calcaneus to toes, X-axis – perpendicular to Y- and Z-axes (Fig. 3).

As an external load, the force acting along the axis of the tibia was applied with a rigid fixation of the talar bone to the horizontal surface. That force was equivalent to the half of human weight. Bending and torsion moments with the value of 10 N·m were also applied. Authors of the publication concerning the study of the ankle joint with the use of the finite element method, had recommended exactly these values [19]. Bending and torsion moments with the force value of 400 N and the moment value of

10 N·m were applied to the lower third of the tibia. They acted in the following directions: valgus load (around Y-axis), varus load (around Y-axis), dorsiflexion (around X-axis), plantar flexion (around X-axis), inversion (around Z-axis), eversion (around Z-axis). Fixation systems’ behaviour under the load while walking (body weight multiplied by 3.3) was also studied. Recommendations, suggested by T. Wehner et al., were used for calculations [21].

Bones and implants were considered isotropic and linear elastic [18, 19, 23]. Young’s modulus and Poisson’s ratio are the quantitative characteristics of elastic properties of isotropic material. Mechanical properties of materials for the tibia according to Young’s modulus were 837 MPa, for the talar bone – 13000 MPa, for the implants (titanium alloy) – 110,000 MPa; according to Poisson’s ratio they were 0.3 and equal [18, 19].

While modeling, we took into account the contact interaction between the tibia and the talar bone and between the bones and fixation systems, that are recommended by M. Zhu et al. [19]. Properties of contact pairs were the following: bone-to-bone – with friction, index of friction 0.1; bone-to-screw – with friction, index of friction 0.5; bone-to-plate – full contact without friction and sliding [19].

Threads of the screws were modeled by Ansys tool, simulating a thread joint [22]. The pressure of 50 MPa was applied to the tops of the screw-heads, simulating the tightening force. These parameters were preset to standardize the experiment and were adapted from the similar studies of other authors [18, 19].

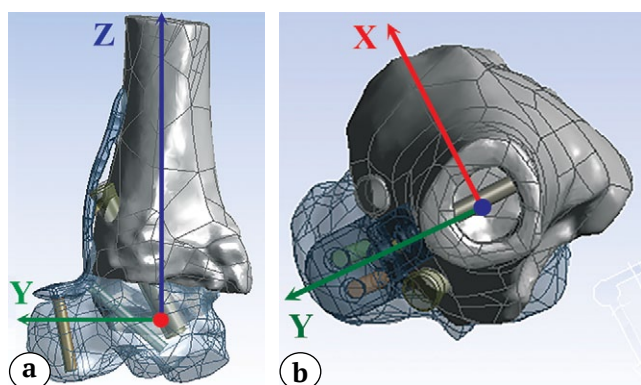


Fig. 3. The axes of the model coordinate system, relative to which the external loads were set: a – side view; b – top view

Analysis of necessary mesh independence was performed in order to maximally approximate the study to real biologic objects [23]. It allowed to determine the typical dimension of computing mesh element, minimally affecting the results of simulation. Computing mesh was significantly condensed around the threads of the screws in order to register with high precision the thread contact interaction between the screw and the bone. Total amount of finite element for each model was 600.000, which corresponded to approximately 1.900.000 nodes.

RESULTS

The following characteristics of stress-strain state of the talar bone, the tibia and the implants were analyzed for each model: maximum equivalent stress in the bones and the implants (Fig. 4); maximum contact pressure at the border of the tibia and the talar bone (Fig. 5).

Obtained results of all studied variants of movements attest to the fact that the maximum equivalent stress in the implants was noted in the third variant in case of foot dorsiflexion (331 MPa), while the minimum equivalent stress – in the second variant in case of plantar flexion of the foot (124 MPa).

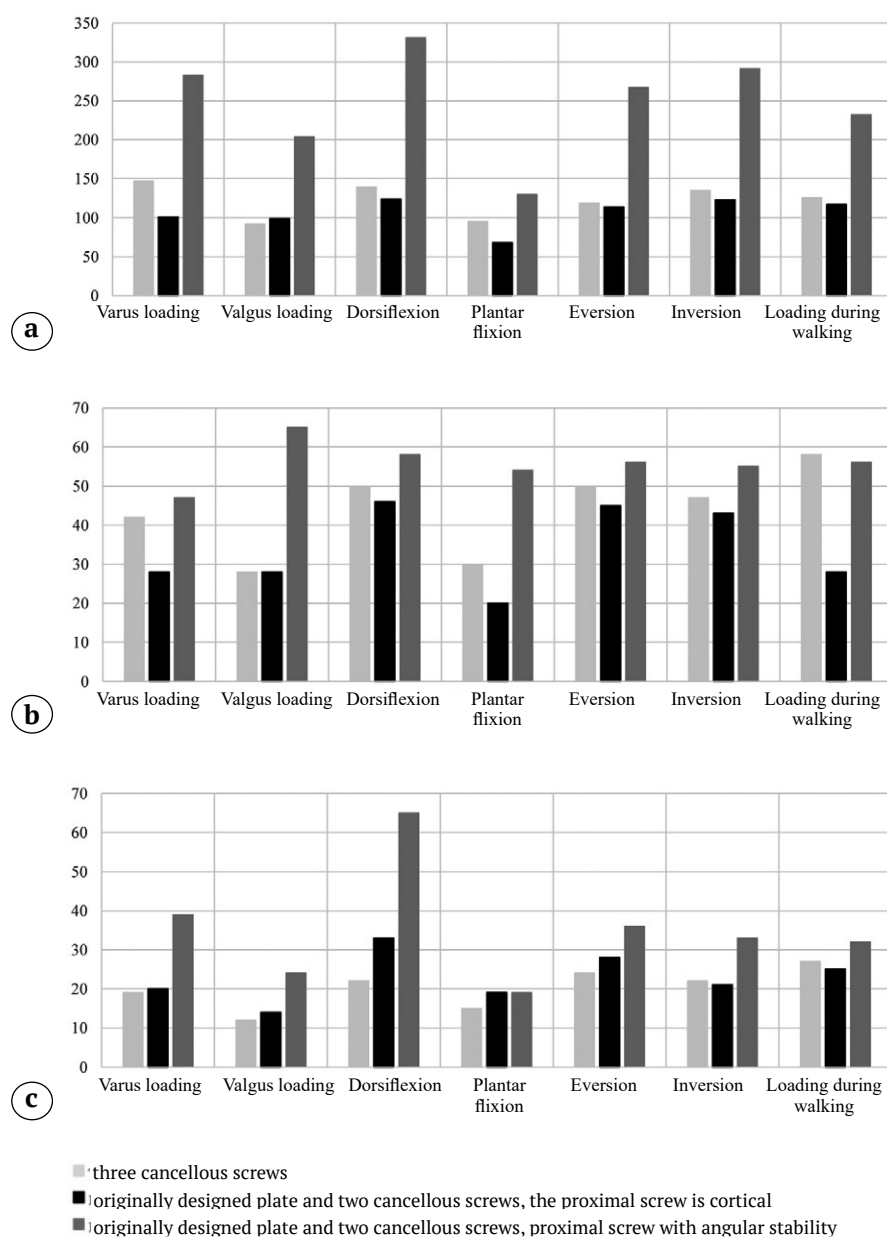


Fig. 4. Maximum equivalent stresses for various types loads of on the ankle joint, MPa: a – in the studied implants; b – in the talus; c – in the tibia

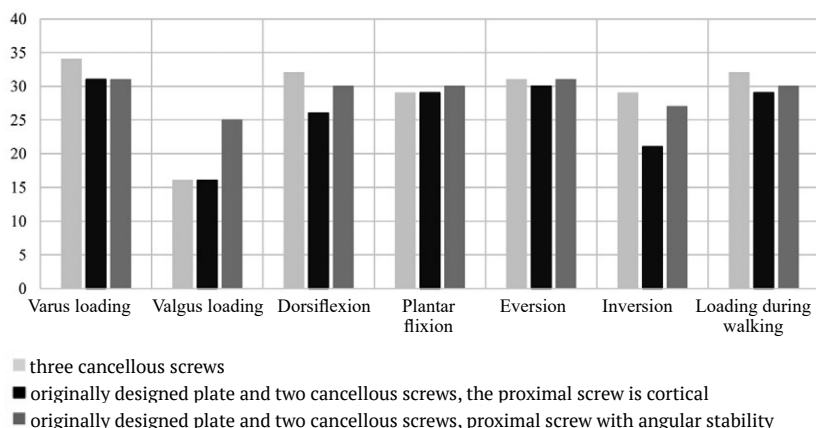


Fig. 5. Contact pressure at the border of the tibia and talus when using various options for fixation and loads on the ankle, MPa

Equivalent stresses in the talar bone being studied, the maximum loads were observed in the third variant in case of valgus displacement, while the minimum loads – in the second variant in case of plantar flexion of the foot. They were equal to 65 MPa and 20 MPa respectively.

The maximum equivalent stress in the tibia was registered in the third variant in case of plantar flexion, while the minimum stress – in the first variant in case of valgus load. They were equal to 65 MPa and 12 MPa respectively.

Obtained results showed that the maximum values of contact pressure at the boarder of the tibia and the talar bone were observed in the first variant in case of varus load, while the minimum load – in the first and the second variants in case of valgus load. They were equal to 34 MPa and 16 MPa respectively (see Fig. 5).

As the dorsiflexion of the foot, according to literature data, is the main stress factor for the ankle joint ankylosis while walking [25], we pre-

sent below more detailed results of the study of stress-strain state while simulating this load.

Figure 6 shows the example of typical areas of full displacement for all models in case of dorsiflexion of the foot. The maximum displacement for fixation model with three cancellous screws was 1.2 mm (Fig. 6a), for the third variant – 1.04 mm (Fig. 6c), while for the second variant the displacement did not exceed 1 mm (Fig. 6b). At the same time, the maximum displacement in all models was observed in the distal third of the tibia above the implants' insertion sites.

Typical areas of equivalent stresses for all implant models in case of dorsiflexion of the foot are calculated to identify the optimal variant of fixation. It should be noted, that the maximum equivalent stress was concentrated around the upper screw that fixed the plate to the tibia in the second and the third models. The values were 124 MPa and 331 MPa respectively. The maximum equivalent stress of implants in the first model was 139 MPa (Fig. 7).

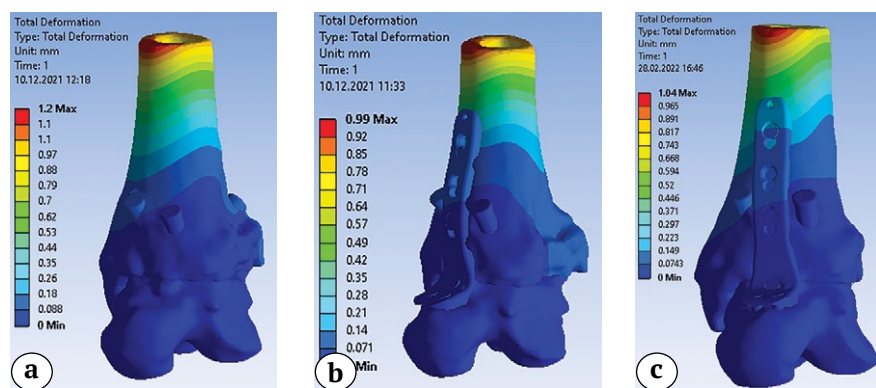


Fig. 6. Total displacement fields for three models of dorsiflexion fixation, mm:
 a – three cancellous screws; b – the plate and two cancellous screws, the proximal screw is cortical;
 c – the plate and two cancellous screws, proximal screw with angular stability

The maximum equivalent stresses in the talar bone in case of dorsiflexion of the foot were equal to 50 MPa, 46 MPa and 58 MPa in the first, the second and the third model variants respectively (Fig. 8).

In the models of ankle fixation with the plate and two cancellous screws under all studied loads

the maximum equivalent stress in the tibia was observed around the hole for the upper screw, fixing the plate. For example, these parameters were equal to 33 and 65 MPa in the second and the third variants in case of dorsiflexion of the foot respectively (Fig. 9).

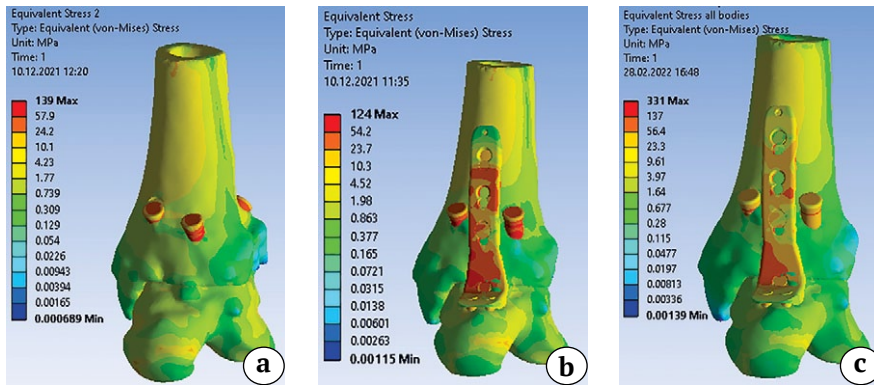


Fig. 7. Equivalent stress fields for dorsiflexion models, MPa:
 a – three cancellous screws; b – the plate and two cancellous screws, the proximal screw is cortical;
 c – the plate and two cancellous screws, proximal screw with angular stability

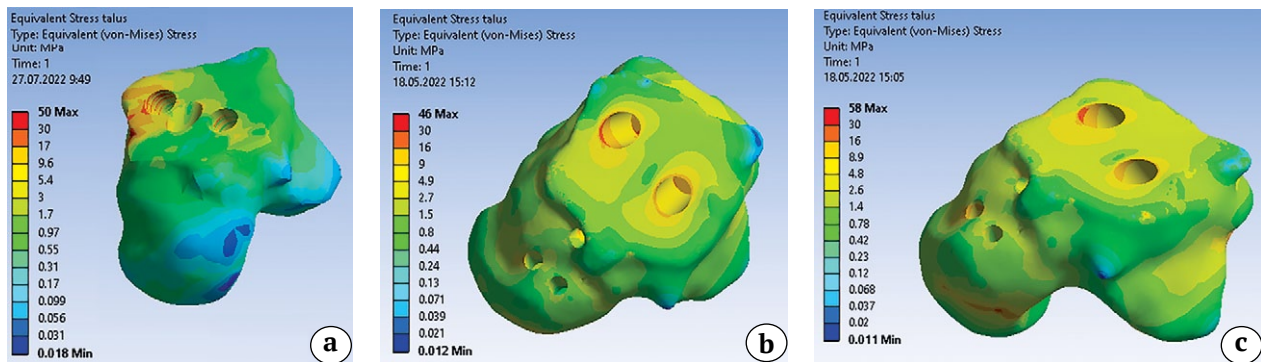


Fig. 8. Equivalent stresses in the talus during loading simulating dorsiflexion of the foot, MPa:
 a – three cancellous screws; b – the plate and two cancellous screws, the proximal screw is cortical;
 c – the plate and two cancellous screws, proximal screw with angular stability

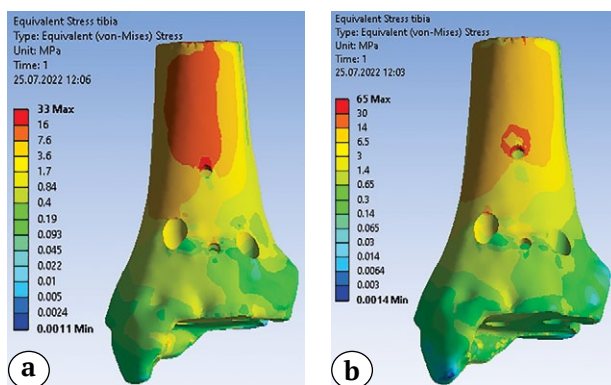


Fig. 9. Equivalent stresses in the tibia during a load simulating dorsiflexion of the foot, MPa:
 a – second option; b – third option

DISCUSSION

Although the ankle arthrodesis as osteoarthritis treatment method exists for more than 140 years, the searches for the best implants enabling tight bone contact between the tibia and the talar bone and their stable fixation until complete bone union still continue. In order to evaluate the stability of ankle fixation when performing the arthrodesis, some biomechanical studies are still carried out to make quantitative analysis of strength and stiffness of the used implants as well as relative motions between the talar and the tibial bones [5, 15, 26, 27]. Nowadays different methods of digital modeling of biological objects and their loads are frequently used along with the bench tests on cadaver extremities or artificial bones and joints. The infinite model method is one of the most common instruments for calculation of stress-strain state of the musculoskeletal system as well as of the load-bearing implants [17, 18, 28, 29].

Some studies have recently been published concerning the application of biomechanical modeling of ankle arthrodesis with screw fixation in different combination and quantity. Thus, M. Zhu et al. performed the finite element modeling of ankle arthrodesis with two cancellous screws with the offered combination with two previously used combinations. Basing on biomechanical characteristics of developed models, the authors concluded that the offered combination of two cancellous screws had great initial stability and equivalent stress distribution [19]. Using the finite model method, A.A. Vázquez et al. carried out biomechanical validation of the optimal insertion angle of two cancellous screws in relation to the long axis of the tibia when performing the ankle arthrodesis [30].

Our study presents the results of numerical biomechanical modeling of 3 fixation variants in ankle arthrodesis. We analyzed 6 types of static loads as well as the load imitating the walk and evaluated the stability and the strength of each fixation variant.

Ankle fixation with two cancellous screws combined with the designed plate and the proximal cortical screw resulted more preferable in terms of implant strength in all load types. Analysis of equivalent stress in the implants is performed to measure their maximal values and compare with

the strength limit (strength margin coefficient equals to 3)*. The implants are made of Ti6Al4V titanium alloy, their strength limit is 970 MPa [24]. Thus, the allowable stress is no more than 323 MPa. It is worth mentioning that the equivalent stress in the first two studied constructions do not exceed the allowable values for titanium alloys. This means that the systems of fixation provide the maximum strength in case of the tested loads. Analyzing the third variant of ankle fixation, the maximum equivalent stress in implants surpasses the allowable value. The maximum stress in this model is registered in case of dorsiflexion of the foot around the proximal screw that fixes the plate to the tibia. It is also worth pointing out that the maximum equivalent stress in the second and the third models is concentrated around the upper screw that secures the plate to the tibia, but it is 2.5-fold higher in the third model than in the second one. Meanwhile the maximum equivalent stress in the first model is concentrated around all three inserted screws. The implants resulted less loaded during the varus load and the plantar flexion of the foot in the first variant of fixation and during the plantar flexion only in the second and the third variants.

Analyzing the results of equivalent stress in the talar bone, we noticed that the latter was less loaded in case of ankle fixation with the anterior plate combined with two cancellous screws and one cortical screw comparing to other models. It is necessary to emphasize that the maximum equivalent stress in the talar bone in the second variant of ankle fixation resulted 2 times less under the load imitating the walk and 1.5 times less in case of varus flexion and plantar foot flexion than in the first and the third variants. The lowest stress in the talus was registered in the first model of ankle fixation in case of varus load, in the second one - in case of plantar foot flexion and in the third one - under the varus load.

Equivalent stress in the tibia was lower than in the talar bone under the similar loads. The maximum stress in the tibia in the first and the second variants of ankle fixation was almost the same and 1.5 times higher - in the third variant. When modeling the variants of ankle fixation with the plate and two cancellous screws, we found out that the hole in the tibia for the upper screw fixing the

* National State Standard R 52857.1-2007 Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation. General requirements.

plate was under the maximum stress comparing with other parts of the bone. This conclusion is true for all studied types of load. The tibia resulted the less loaded in case of varus load.

As for the contact pressure at the boarder of the tibia and the talar bone, its maximum values were observed in case of varus load in all ankle fixation variants. It was equal to 34 MPa in the first fixation variant and 31 MPa – in the second and the third ones. The model of ankle joint fixation with the plate and two cancellous screws showed slightly better biomechanical properties under the majority of load types. It should be noted, that excessive contact pressure under the load is a negative factor, as it can lead to local osteolysis and loss of correct position of ankylosed bones.

It is worth mentioning, that the majority of parameters of the first model stress-strain state are similar to those, presented in the publication of S. Wang et al. For example, the authors had studied parameters of stress-strain state of ankle joint arthrodesis models, secured with three cancellous screws in five different combinations, and had reported close values of maximum stress in the talar bone and the tibia, that equaled to 45.8 and 23.4 MPa respectively [18].

CONCLUSION

Minimum parameters of stress-strain state of the “bone-fixator” model were identified in the second variant among all studied fixation systems of ankle joint arthrodesis. Thus, the obtained results showed that the most biomechanically preferable variant of arthrodesis was the combination of our designed plate with two cancellous screws and the proximal cortical screw. Conducted biomechanical study allows to recommend ankle arthrodesis for clinical use in patients with the end-stage osteoarthritis, although ankle joint ankylosing depends not only on mechanical factors, but on biological as well.

DISCLAIMERS

Author contribution

Khominets V.V. — study concept and design, analysis of the data.

Mikhailov S.V. — analysis and interpretation of data; editing the text.

Zhumagaziev S.E. — collection, analysis and interpretation of data; writing the text.

Shchukin A.V. — analysis and interpretation of data; editing the text.

Ivanov D.V. — collection and processing of material; analysis and interpretation of data.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Morash J., Walton D.M., Glazebrook M. Ankle Arthrodesis Versus Total Ankle Arthroplasty. *Foot Ankle Clin.* 2017;22(2):251-266. doi: 10.1016/j.fcl.2017.01.013.
2. Prissel M.A., Simpson G.A., Sutphen S.A., Hyer C.F., Berlet G.C. Ankle Arthrodesis: A Retrospective Analysis Comparing Single Column, Locked Anterior Plating to Crossed Lag Screw Technique. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(3):453-456. doi: 10.1053/j.jfas.2017.01.007.
3. Suo H., Fu L., Liang H., Wang Z., Men J., Feng W. End-stage Ankle Arthritis Treated by Ankle Arthrodesis with Screw Fixation Through the Transfibular Approach: A Retrospective Analysis. *Orthop Surg.* 2020;12(4):1108-1119. doi: 10.1111/os.12707.
4. DeHeer P.A., Catoire S.M., Taulman J., Borer B. Ankle arthrodesis: a literature review. *Clin Podiatr Med Surg.* 2012;29(4):509-527. doi: 10.1016/j.cpm.2012.07.001.
5. Somberg A.M., Whiteside W.K., Nilssen E., Murawski D., Liu W. Biomechanical evaluation of a second generation headless compression screw for ankle arthrodesis in a cadaver model. *Foot Ankle Surg.* 2016;22(1):50-54. doi: 10.1016/j.fas.2015.04.010.

6. Mikhaylov K.S., Emelyanov V.G., Tikhilov R.M., Kochish A.Yu., Sorokin E.P. [Substantiation of surgery method in patient with ankle osteoarthritis: arthrodesis or arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2016;(1):21-32. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-21-32.
7. Khominets V.V., Mikhailov S.V., Shakun D.A., Shumagaziev S.E., Komarov A.V. [Ankle Arthrodesis with Three Cancellous Screws]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(2):117-126. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-117-126.
8. Onodera T., Majima T., Kasahara Y., Takahashi D., Yamazaki S., Ando R. et al. Outcome of transfibular ankle arthrodesis with Ilizarov apparatus. *Foot Ankle Int.* 2012;33:964-968.
9. Teramoto A., Nozaka K., Kamiya T., Kashiwagura T., Shoji H., Watanabe K. et al. Screw Internal Fixation and Ilizarov External Fixation: A Comparison of Outcomes in Ankle Arthrodesis. *J Foot Ankle Surg.* 2020;59(2):343-346. doi: 10.1053/j.jfas.2019.09.012.
10. Heuvel S.B.M., Doorgakant A., Birnie M.F.N., Blundell C.M., Schepers T. Open Ankle Arthrodesis: a Systematic Review of Approaches and Fixation Methods. *Foot Ankle Surg.* 2021;27(3):339-347. doi: 10.1016/j.fas.2020.12.011.
11. Steginsky B.D., Suhling M.L., Vora A.M. Ankle Arthrodesis With Anterior Plate Fixation in Patients at High Risk for Nonunion. *Foot Ankle Spec.* 2020;13(3):211-218. doi:10.1177/1938640019846968.
12. van den Heuvel S.B.M., Penning D., Schepers T. Open Ankle Arthrodesis: A Retrospective Analysis Comparing Different Fixation Methods. *J Foot Ankle Surg.* 2022;61(2):233-238. doi: 10.1053/j.jfas.2021.07.012.
13. Ross B.J., Savage-Elliott I., Wu V.J., Rodriguez R.F. Complications Following Total Ankle Arthroplasty Versus Ankle Arthrodesis for Primary Ankle Osteoarthritis. *Foot Ankle Spec.* 2021;1938640020987741. doi: 10.1177/1938640020987741.
14. Zwipp H., Rammelt S., Endres T., Heineck J. High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(4):958-968. doi: 10.1007/s11999-009-1074-5.
15. Clifford C., Berg S., McCann K., Hutchinson B. A biomechanical comparison of internal fixation techniques for ankle arthrodesis. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54(2):188-191. doi: 10.1053/j.jfas.2014.06.002.
16. Gutteck N., Martin H., Hanke T., Matthies J.B., Heilmann A., Kielstein H. et al. Posterolateral plate fixation with Talarlock® is more stable than screw fixation in ankle arthrodesis in a biomechanical cadaver study. *Foot Ankle Surg.* 2018;24(3):208-212.
17. Dubrov V.E., Zyuzin D.A., Kuzkin I.A., Shcherbakov I.M., Donchenko S.V., Saprykina K.A. [Finite element modelling of biologic system in orthopedic trauma]. *Rossiiskii zhurnal biomekhaniki* [Russian Journal of Biomechanics]. 2019;23(1):140-152. (In Russian). doi:10.15593/RZhBiomeh/2019.1.12.
18. Wang S., Yu J., Ma X., Zhao D., Geng X., Huang J., Wang X. Finite element analysis of the initial stability of arthroscopic ankle arthrodesis with three-screw fixation: posteromedial versus posterolateral home-run screw. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):252. doi: 10.1186/s13018-020-01767-7.
19. Zhu M., Yuan C.S., Jin Z.M., Wang Y.J., Shi Y.X., Yang Z.J. et al. Initial stability and stress distribution of ankle arthroscopic arthrodesis with three kinds of 2-screw configuration fixation: a finite element analysis. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):263. doi: 10.1186/s13018-018-0972-1.
20. Dol A.V., Dol E.S., Ivanov D.V. [Biomechanical modelling of surgical reconstructive treatment of spinal spondylolisthesis at 14–15 level]. *Rossiiskii zhurnal biomekhaniki* [Russian Journal of Biomechanics]. 2018;22(1):31-44. (In Russian). doi: 10.15593/RZhBiomeh/2018.1.03.
21. Wehner T., Claes L., Simon U. Internal loads in the human tibia during gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009;24(3):299-302. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2008.12.007.
22. López-Campos J.A., Segade A., Casarejos E., Fernández J.R., Vilán J.A., Izquierdo P. Finite Element Study of a Threaded Fastening: The Case of Surgical Screws in Bone. *Symmetry.* 2018;10(8):335. doi: 10.3390/sym10080335.
23. Ivanov D.V., Dol A.V. [Biomechanical Modeling]. Saratov: Amirite, 2021. 250 p.
24. Zherebtsov S., Salishchev G., Galeev R., Maekawa K. Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Titanium Alloy with Submicrocrystalline Structure Produced by Severe Plastic Deformation. *Materials Transactions.* 2005;46(9):2020-2025. doi: 10.2320/matertrans.46.2020.
25. Nasson S., Shuff C., Palmer D., Owen J., Wayne J., Carr J. et al. Biomechanical comparison of ankle arthrodesis techniques: crossed screws vs. blade plate. *Foot Ankle Int.* 2001;22(7):575-580. doi: 10.1177/107110070102200708.
26. Friedman R.L., Glisson R.R., Nunley J.A. A biomechanical comparative analysis of two techniques for tibio-talar arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 1994;15(6):301-305. doi: 10.1177/107110079401500604.
27. Miller R.A., Firoozbakhsh K., Veitch A.J. A biomechanical evaluation of internal fixation for ankle arthrodesis comparing two methods of joint surface preparation. *Orthopedics.* 2000;23(5):457-460. doi: 10.3928/0147-7447-20000501-14.

28. Erdemir A., Guess T.M., Halloran J., Tadepalli S.C., Morrison T.M. Considerations for reporting finite element analysis studies in biomechanics. *J Biomech.* 2012;45(4):625-633. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.11.038.
29. Kluess D., Wieding J., Souffrant R., Mittelmeier W., Bader R. Finite element analysis in orthopaedic biomechanics. In: Moratal D., ed. *Finite Element Analysis*. València; 2010. p. 151-170.
30. Vázquez A.A., Lauge-Pedersen H., Lidgren L., Taylor M. Finite element analysis of the initial stability of ankle arthrodesis with internal fixation: flat cut versus intact joint contours. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003;18(3):244-253. doi: 10.1016/s0268-0033(02)00207-3.

Authors' information

✉ Vladimir V. Khominets — Dr. Sci. (Med.), Professor
Address: 6, St. Petersburg, Akademika Lebedeva st.,
194044 Russia

<http://orcid.org/0000-0001-9391-3316>

e-mail: khominets_62@mail.ru

Sergey V. Mikhailov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0098-8085>

e-mail: msv06@mail.ru

Sayan E. Zhumagaziev

<https://orcid.org/0000-0002-5169-2022>

e-mail: shumagasiev@mail.ru

Alexey V. Shchukin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7754-8478>

e-mail: ossa.76@mail.ru

Dmitry V. Ivanov — Cand. Sci. (Phys.-Math.)

<https://orcid.org/0000-0003-1640-6091>

e-mail: ivanovdv.84@ya.ru



Safe Arthroscopic Approaches for Epicondylitis: Topographic-Anatomical Study

Marsel R. Salikhov¹, Ali I. Midaev¹, Nikolay F. Fomin^{1,2}

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Background. Arthroscopic methods of diagnosis and treatment of elbow diseases have not yet become widespread due to the small volume of the joint, the close location to neurovascular bundles and the manipulation difficulty.

The aim of the study was to determine the safe zones for the minimally invasive approaches to the elbow in patients with lateral and medial epicondylitis.

Methods. A complex anatomical and clinical study was performed. The anatomical part was carried out on 30 non-fixed anatomical preparations of the upper limb. The features of the tendon-muscular and neurovascular structures surrounding the elbow were studied, depending on the angle of elbow flexion at three different levels: level I – 5 cm above the articular gap, level II – the articular gap, level III – the neck of the radius. In the clinical part of the study, these structures were studied by MRI in 30 patients.

Results. The brachial artery at the level I is located from the bone at a distance 28.6 (28.4-28.7) mm at the elbow flexion to 90°. The radial nerve at level II is located at a distance of 15.8 (15.6-16.0) mm from the nominal medial epicondylar line (NMEL). From the NMEL the median nerve is located at a distance of 17.5 (16.6-18.1) mm, the brachial artery – 22.4 (20.5-22.8) mm. The anterior bundle of the medial collateral ligament has the following average width throughout: the proximal part – 6.2±1.4 mm; the middle part – 6.5±1.5 mm; the distal part – 9.3±1.4 mm. The average area of the medial collateral ligament attachment to the medial condyle of the humerus was 45.5±9.3 mm² and has a rounded shape. The average length of the radial collateral ligament was 20.5±1.9 mm; width – 5.2±0.8 mm, the average area of its attachment to the humerus was 13.6±1.4 mm². The average area of the extensor carpi radialis brevis on the lateral condyle of the humerus was 53.1±3.7 mm². The average distance from the entrance of the deep branch of the radial nerve into the supinator canal to the articular gap – 28 (25.5-29.6) mm.

Conclusion. The results of the study make it possible to choose the safe arthroscopic approaches to the elbow with minimal risk of damage to neurovascular structures in the treatment of patients with lateral and medial epicondylitis.

Keywords: medial epicondylitis, lateral epicondylitis, arthroscopy, supinator canal, surgical approach to the elbow joint.

Cite as: Salikhov M.R., Midaev A.I., Fomin N.F. [Safe Arthroscopic Approaches for Epicondylitis: Topographic-Anatomical Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):148-158. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1977>.

✉ Ali I. Midaev; e-mail: midaewali@gmail.com

Submitted: 27.07.2022. Accepted: 27.10.2022. Published Online: 29.11.2022.

© Salikhov M.R., Midaev A.I., Fomin N.F., 2022



Безопасные артроскопические доступы к локтевому суставу при эпикондилитах: топографо-анатомическое обоснование

М.Р. Салихов¹, А.И. Мидаев¹, Н.Ф. Фомин^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. Артроскопические методики диагностики и лечения заболеваний локтевого сустава пока не приобрели широкого распространения в связи с малым объемом сустава, близким расположением сосудисто-нервных структур и сложностью манипулирования.

Цель исследования — определение безопасных зон для формирования малоинвазивных доступов к локтевому суставу при лечении пациентов с латеральным и медиальным эпикондилитами.

Материал и методы. Выполнено комплексное топографо-анатомическое и клиническое исследование. Топографо-анатомическая часть проведена на 30 нефиксированных анатомических препаратах верхней конечности. Изучались особенности сухожильно-мышечных и сосудисто-нервных структур, окружающих локтевой сустав, в зависимости от угла сгибания в локтевом суставе на трех различных уровнях: I уровень — 5 см выше суставной щели, II уровень — суставная щель, III уровень — шейка лучевой кости. В клинической части исследования вышеописанные структуры изучались с помощью МРТ у 30 пациентов.

Результаты. Плечевая артерия на I уровне находится на расстоянии 28,6 (28,4–28,7) мм от кости при сгибании конечности в локтевом суставе до 90°. Лучевой нерв на II уровне находится на расстоянии 15,8 (15,6–16,0) мм от условной медиальной эпикондиллярной линии (УМЭЛ). Срединный нерв расположен от УМЭЛ на расстоянии 17,5 (16,6–18,1) мм, а плечевая артерия — на 22,4 (20,5–22,8) мм. Передний пучок медиальной коллатеральной связки (МКС) имеет следующие средние значения ширины: проксимальная часть — 6,2±1,4 мм; средняя часть — 6,5±1,5 мм; дистальная часть — 9,3±1,4 мм. Средняя площадь прикрепления МКС к медиальному надмышелку плечевой кости составляет 45,5±9,3 мм² и имеет округлую форму. Средняя длина лучевой коллатеральной связки — 20,5±1,9 мм; ширина — 5,2±0,8 мм, средняя площадь ее прикрепления на плечевой кости — 13,6±1,4 мм². Средняя площадь короткого лучевого разгибателя запястья на латеральном надмышелке плечевой кости составляет 53,1±3,7 мм². Среднее расстояние от входа глубокой ветви лучевого нерва в супинаторный канал до суставной щели — 28 (25,5–29,6) мм.

Заключение. В результате исследования определены наиболее безопасные артроскопические доступы к локтевому суставу с минимальным риском повреждения сосудисто-нервных структур при лечении пациентов с латеральным и медиальным эпикондилитом.

Ключевые слова: медиальный эпикондилит, латеральный эпикондилит, артроскопия, канал супинатора, хирургические доступы к локтевому суставу.

Салихов М.Р., Мидаев А.И., Фомин Н.Ф. Безопасные артроскопические доступы к локтевому суставу при эпикондилитах: топографо-анатомическое обоснование. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4): 148-158. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1977>.

Мидаев Али Илесович; e-mail: midaewali@gmail.com

Рукопись получена: 27.07.2022. Рукопись одобрена: 27.10.2022. Статья опубликована онлайн: 29.11.2022.

© Салихов М.Р., Мидаев А.И., Фомин Н.Ф., 2022

BACKGROUND

Incomplete satisfaction of patients with enthesopathies of the distal humerus with the results of open surgical treatment led to the development of minimally invasive techniques [1]. The difficulty of surgical treatment of this pathology is associated with the complexity of the anatomical structure and biomechanics of the elbow joint (LS), as well as with contractures and heterotypic ossifications developing in the postoperative period [2].

Arthroscopy of elbow joint allows not only to diagnose intraarticular changes, but also to simultaneously perform all the necessary medical manipulations [3]. At the same time, elbow joint arthroscopy is a complex procedure compared to arthroscopy of the knee and shoulder joints, which is due to the small volume of the joint, the close location of neurovascular structures and the technical complexity of the procedure [4]. Therefore, it has not been widely distributed. The share of arthroscopic procedures on elbow joint in the overall structure of arthroscopies is 11% [5].

To date, there are six generally accepted arthroscopic approaches to elbow joint, which have their advantages, disadvantages and risks of iatrogenic complications [3]. The risk of damage to neurovascular structures during elbow joint arthroscopy is up to 11.8% [4, 6]. A lot of studies have been carried out to examine the topographical and anatomical features of neurovascular structures in the area of elbow joint, as well as the risk of their injury by instruments inserted into the joint cavity through formed arthroscopic approaches [7, 8, 9]. There are isolated studies that investigate the degree of neurovascular structures displacement depending on the flexion angle in the elbow joint [10, 11]. Along with this, there are practically no studies of the topography of neurovascular structures in relation to arthroscopic treatment of patients with enthesopathies of the distal humerus [12]. Quite a lot of cadaveric studies have been carried out aimed at research of safe and effective arthroscopic approaches to elbow joint [5, 10, 11, 13].

The following arthroscopic approaches are most often used for the treatment of patients with pathology of elbow joint: proximal medial, anterolateral, proximal lateral and anteromedial, however, there are practically no publications de-

voted to justification of arthroscopic approaches to elbow joint safety in enthesopathies of the distal humerus [14, 15, 16].

The aim of the study was to determine the safest areas promising for the formation of minimally invasive approaches to the elbow joint in the treatment of patients with enthesopathies of the distal humerus.

METHODS

A two-center complex topographic anatomical and clinical study was performed.

Topographic anatomical study

Topographic anatomical study was performed on 30 unfixed human elbow joints cadaver specimens (16 women and 14 men) who died at the age of 22 to 65 years. The study did not include cadavers that were exposed to external influences (injuries, burns), as well as cadavers with diseases that cause destruction of the joint and articular surfaces.

The following parameters were studied:

1) topography and location of the main neurovascular structures in relation to adjacent bone structures, as well as changes in these parameters depending on the angle elbow joint flexion;

2) anatomical features and topography of the radial collateral and ulnar collateral ligaments and their relationship with the tendons of the extensor carpi radialis brevis (ECRB) and the flexor carpi ulnaris (FCU);

3) the area of ECRB and FCU tendons attachment to the distal humerus;

4) the location of the Frohse arcade (*canalis supinatorius*).

The first stage was to determine the shortest distance from the radial nerve to the humerus and radius and from the median nerve to the humerus and ulna with different functional positions of the elbow joint. Measurements were performed at three levels: level I – 5 cm above the articular gap; level II – at the level of the joint; level III – at the level of the radius neck (Fig. 1).

After dissection of the neurovascular bundle in the axilla, a subclavian single-channel catheter was inserted into the axillary artery, through which an oil suspension of lead whitewash was injected.

Radiopaque marks made of copper wire were stretched along the radial and median nerves, after which angiorentgenography of the elbow joint area was performed in AP and lateral projections in three functional positions: in 90°, 120° and 0° of flexion. According to the obtained images, the distance from the marked structures to the anterior border of the adjacent bone was measured in the lateral projection (Fig. 2).

Measurements were performed at levels I, II and III. Then the analysis of the obtained data was carried out in order to determine the position of the limb at which the studied distance was maximal. Using angiorentgenograms in AP projection at level II in the position of full extension, the distances from the conditional lateral epicondylar line (CLEL) to the radial nerve and from the conditional medial epicondylar line (CMEL) to the median nerve and brachial artery were studied (Fig. 3). This stage of the study was necessary to determine safe zones in which nerve-vascular structures injury is mini-

mized, since level II is the most convenient for the location of arthroscopic approaches.

The next stage was to study individual characteristics, in particular, the variability of the anatomy, topography, and the mutual disposition of the tendon groups of the flexor and extensor muscles of the forearm. Particular attention was paid to the tendons most susceptible to degenerative changes in epicondylitis of the distal forearm. According to the literature, FCU, the pronator teres humeral head in medial epicondylitis and ECRB in lateral epicondylitis are most often affected [17, 18] (Fig. 4).

To determine the volume required for full-fledged resection of a degeneratively altered tendon, the areas of enthesis to the condyles of the humerus were determined. To perform this task, careful preparation of the studied tendons was carried out, followed by their cutting off from the humerus, morphometric measurements were performed and the area of the attachment zone was calculated using selected formulas.

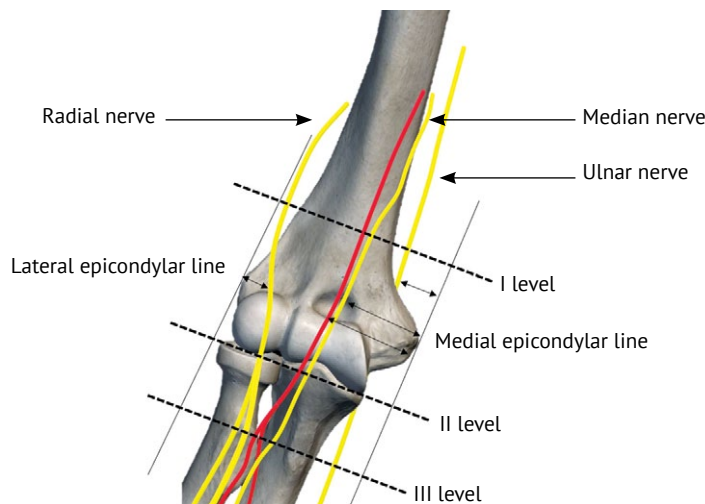


Fig. 1. Scheme of anatomical structures at three levels in the area of the elbow (front view)

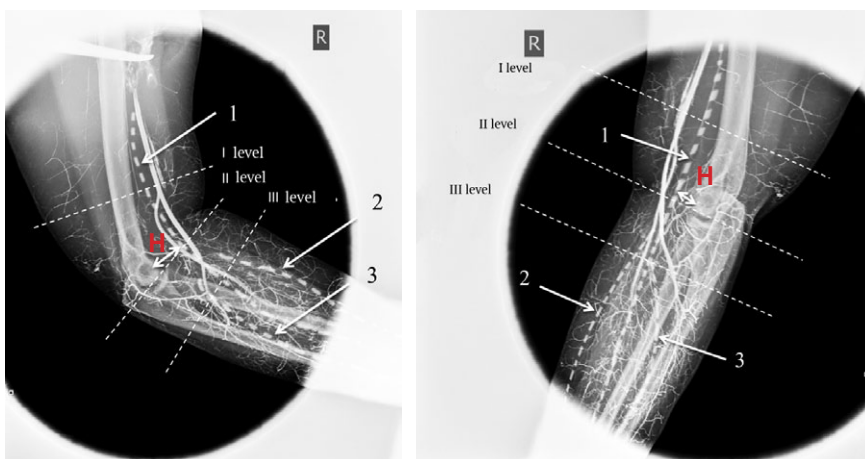


Fig. 2. Angiograms of the right elbow: a – lateral projection, flexion by 0°; b – lateral projection, flexion by 90°, where the arrows indicate X-ray contrast marks: 1 – median nerve; 2 – superficial branch of the radial nerve; 3 – deep branch of the radial nerve; H – distance from brachial artery to the anterior surface of the humerus

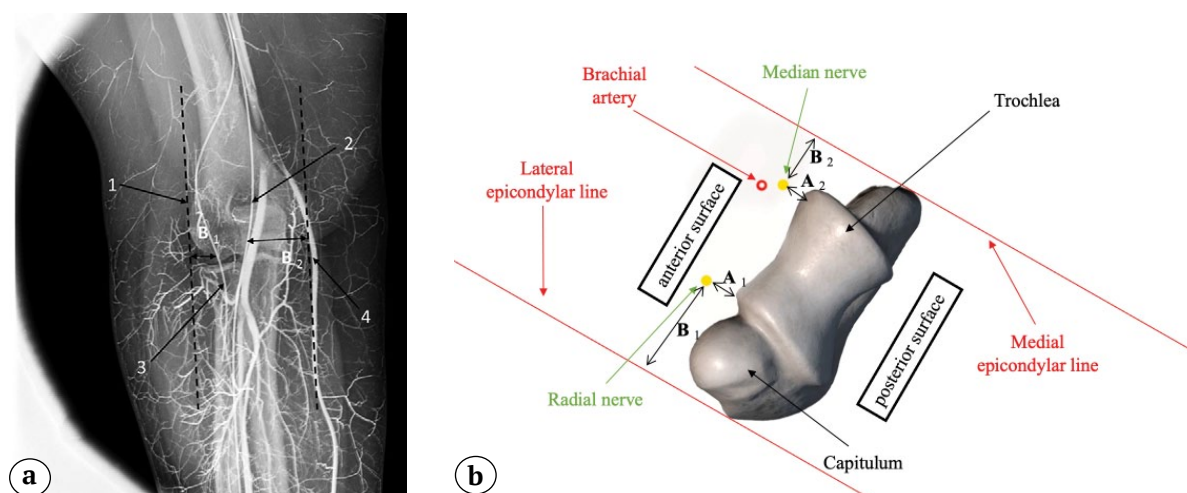


Fig. 3. Vascular and nerve structures at the elbow II level:

a – angiogram; b – schematic image; A_1 – the distance from the radial nerve to the humerus anterior surface; A_2 – from the median nerve to the humerus anterior surface; B_1 – from the radial nerve to the lateral epicondylar line; B_2 – from the median nerve to the medial epicondylar line; 1 – lateral epicondylar line; 2 – median nerve; 3 – radial nerve; 4 – medial epicondylar line

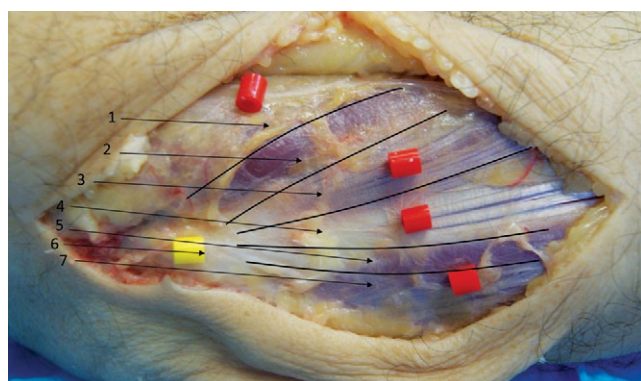


Fig. 4. Unfixed anatomical preparation of right elbow, view from the lateral surface of the forearm. Topography of the extensor tendons in the area of the lateral epicondyle of the humerus. Black lines marked to intermuscular borders: 1 – brachioradialis muscle; 2 – *extensor carpi radialis longus*; 3 – *extensor carpi radialis brevis*; 4 – *superficial extensor digitorum*; 5 – extensor of the little finger; 6 – lateral epicondyle of the humerus; 7 – *flexor carpi ulnaris*

Then we studied the supinator channel location – the so-called supinator arc, or Frohse arcade. To do this, the topographic area in the projection of the radial nerve was dissected on 30 macro-preparations from the level of the elbow joint articular gap to the entry of the radial nerve deep branch into the supinator canal, followed by fixing this distance on each macro-preparation.

The results of the topographic anatomical study were recorded in the protocols. To preserve the actual material and the possibility of additional analysis, the main stages of the study were recorded using digital photography. To analyze the variability of the studied distances and their statistical analysis, the results of the protocols were entered into an Excel spreadsheet.

Clinical study

In the clinical part of the study, variants the neurovascular (brachial artery, ulnar, median, radial nerves) and tendon-muscle structures anatomy were studied by analyzing 30 magnetic resonance imaging scans of elbow joints performed on a Philips 3.0 T tomograph. MRI was performed on 16 men and 14 women with the initial stages of osteoarthritis, the average age was 44.0 ± 6.3 years (from 21 to 67). The Dicom Viewer Radiant computer program (Medixant, Poland) was used to process the MRI data.

The distances from the radial and median nerves and the brachial artery to the anterior border of the humerus shadow were measured in axial projection on the MRI of the elbow joint at level II. Distances to CLEL and CMEL were also measured from the above-mentioned structures (Fig. 5).

The features of the topography and morphometric characteristics of the elbow joints liga-

ments, namely the radial collateral ligament (RCS) and the anterior bundle of the medial collateral ligament (ABMCL), were studied on tomograms in the coronary projection (Fig. 6). On tomograms in the sagittal projection, the sizes of the ECRB and FCU tendons attachment zones to the lateral and medial condyles of the humerus were studied.

Statistical analysis

Statistical data processing was carried out using the Past 306 program, followed by the construction of tables. The normality of the data distribution was evaluated using the Shapiro–Wilk criterion. For normally distributed indicators, the average values, standard deviation and 95% confidence interval are presented. The statistical significance of the differences in the mean values

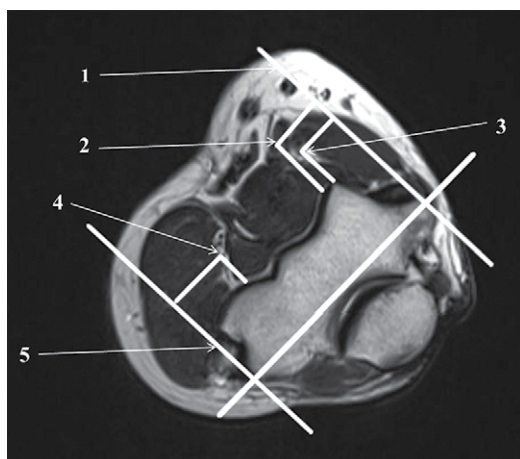


Fig. 5. MRI of the elbow joint, axial projection, where:
1 – medial epicondylar line; 2 – brachial artery;
3 – median nerve; 4 – radial nerve;
5 – lateral epicondylar line

in the dependent samples was assessed using the Wilcoxon t-test of paired comparisons. The critical value was considered to be $p < 0.05$. For indicators that are not normally distributed, descriptive characteristics were represented by the median and upper and lower quartiles (Q1-Q3).

RESULTS

Topographic-anatomical study results

The results of the first stage of the topographic anatomical study showed that when the upper limb is flexed in the elbow joint from 0° to 90° , the radial and median nerves are at the maximum distance from the bone structures, however, flexion up to 120° leads to a decrease in this distance (Tab. 1). Due to an increase in the maximum distance between the studied nerves and bone structures at levels II and III manipulations in elbow joint and approaches at these levels are safer than at level I.

Cadaveric X-ray angiographic studies of the brachial artery in the area of the elbow joint showed that in flexion up to 90° , the brachial artery moves away from the bone and is at the maximum distance at level I (Tab. 2).

Then the safe intervals of possible approach displacement from the humerus condyles in the frontal plane at level II were determined, since this level is the most convenient for the release of injured tendons. When studying the distances from the CLEL to the radial nerve and from the CLEL to the median nerve and brachial artery, angiorentgenograms at level II determined that the radial nerve is located at a distance of 15.8 (15.6-16.0) mm, the median nerve is 17.5 (16.6-18.1) mm away from the CLEL, and the brachial artery is 23.7 (20.5-22.8) mm.

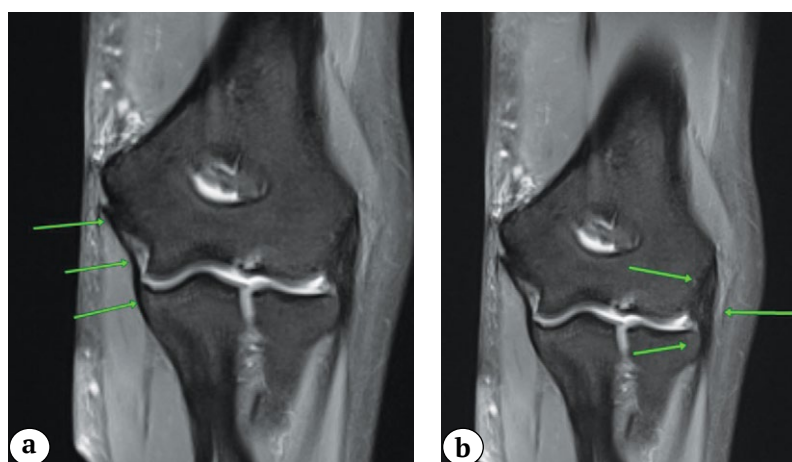


Fig. 6. MRI of the elbow, axial projection. Arrows indicate:
a – anterior bundle of the ulnar collateral ligament;
b – radial collateral ligament

Table 1
Distance from the anterior shadow of bone structures to peripheral nerves

Level	Nerve	Angle of elbow flexion, deg.	Me (Q ₁ -Q ₃), mm
I	Radial	0	6,4 (6,2-6,6)
		90	7,8 (7,4-8,4)
		120	6,9 (6,7-7,1)
	Median	0	15,4 (15,2-16,0)
		90	16,2 (15,8-16,5)
		120	15,5 (15,3-16,2)
II	Radial	0	13,4 (13,1-13,7)
		90	16,4 (16,0-16,5)
		120	16,1 (15,7-16,2)
	Median	0	13 (12,6-13,5)
		90	21,8 (21,6-22,5)
		120	21,6 (21,4-22, 2)
III	Radial	0	9,7 (9,5-9,9)
		90	14,7 (14,3-15,2)
		120	14,6 (14,4-15,0)
	Median	0	6,4 (5,8-6,8)
		90	15,2 (14,9-15,6)
		120	14,9 (14,4-15,2)

Table 2
The distance from the brachial artery to the anterior shadow of the adjacent bone at three levels

Level	Angle of elbow flexion, deg.	Me (Q ₁ -Q ₃), mm
I	0	26,9 (26,6-27,2)
	90	28,6 (28,4-28,7)
	120	27,8 (27,7-28,1)
II	0	15,3 (15,2-15,4)
	90	16,8 (16,5-17,1)
	120	15,8 (15,6-16,0)
III	0	19,7 (19,5-19,9)
	90	21,4 (21,2-21,7)
	120	20,8 (20,7-21,0)

The most comfortable level to manipulate injured tendons of the extensor and flexor muscle groups of the forearm is level II. The distances from the condyles to important neurovascular structures are determined:

1) for the lateral approach, the zone is located no more than 15 mm from the CLEL, with a displacement of more than 15 mm, the risk of injury to the radial nerve increases;

2) for the medial port, the zone is limited to 15 mm from the CMEL, with an increase in this distance, the risk of damage to the brachial artery and median nerve increases.

During the second stage, it was revealed that the average proximal width of the ABMCL is 6.2 ± 1.4 (4.2-9.1) mm. The average width of the middle part is 6.5 ± 1.5 (4.3-9.2) mm, the average distal width is 9.3 ± 1.4 (6.2-13.5) mm. The average area of the zone of its attachment to the medial condyle of the humerus is 45.5 ± 9.3 (25.9-59.4) mm² and had a rounded shape. In the area of the ulna (coronoid process), it has an oblong shape, the average area of attachment is 65.4 (54.3-78.6) mm², the total length of the ABMCL is 21.5 (20.0-23.0) mm.

The RCS is very closely adjacent to the ECRB tendon and is located above the middle humero-radial line of the joint, when attempting to release the RCS below this line, there is a high risk of damage to the RCS. The average total length of the RCS is 20.5 ± 1.9 mm, the beam width of the RCS is 5.2 ± 0.8 mm, the average total length is 44.6 ± 1.9 mm. The average area of the RCS attachment zone on the humerus is 13.6 ± 1.4 mm².

The ECRB is located directly under the extensor carpi radialis longus (ECRL), and to reach this structure it is necessary to dissect or displace it. It was also found that the ECRB is adjacent directly to the anterior capsule of the elbow joint. The average area of the ECRB is shown in Table 3.

During the study of the ECRB tendon in the area of attachment to the humerus lateral condyle, it was revealed that this area has the rhomboid shape (Fig. 7).

The tendon part of the FCU is located above the middle humero-radial line, directly adjacent to the ABMCL, and when performing the FCU release below the middle humero-radial line, the probability of the medial collateral ligament injury increases. The average area of the FCU in the area of attachment to the humerus medial condyle is shown in Table 3.

Table 3
The area of tendons attachment to the humerus condyles at the II level

Tendon	M±SD, mm ²
ECRB	53,1±3,7
FCR	58,3±6,3

During the study of flexor muscle group of the forearm tendons, namely the area of attachment of the FCU tendon to the medial condyle of the humerus, it was revealed that it has the shape of a circle (Fig. 8).

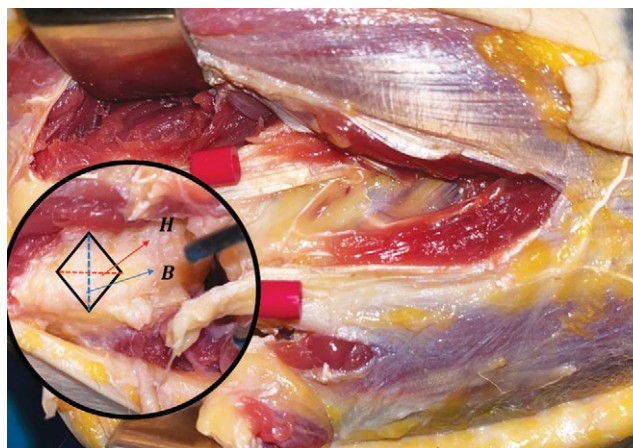


Fig. 7. Unfixed anatomical macropreparation of the right elbow. Attachment of *extensor carpi radialis brevis*, where the tendon is indicated by a rhombus, the blue arrow indicates the width, the red arrow — the height

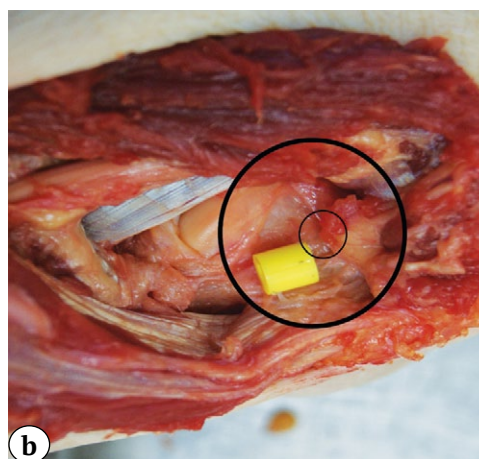
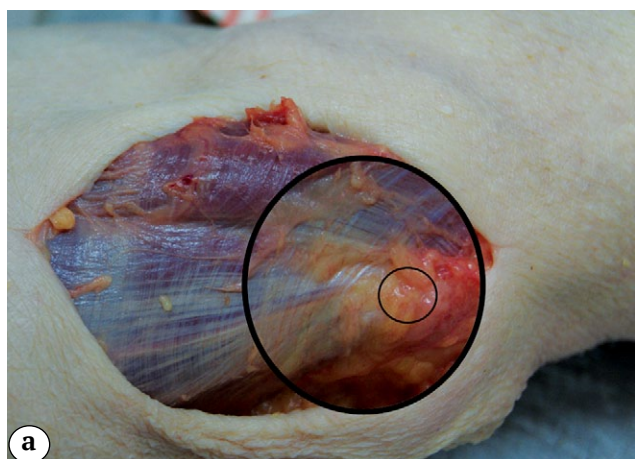


Fig. 8. Unfixed macropreparation of the left elbow. Measurement of the attachment of the tendon of the flexor carpi radialis of the left elbow joint, where the area of attachment of the flexor carpi radialis is marked by a circle a — the macropreparation of the tendons of the flexors of the left elbow joint, where the area of attachment of the radial flexor of the wrist is marked by a circle. b — the macropreparation, a condition after exposure of the area of attachment of the tendon of the radial flexor of the wrist to the area of the medial condyle of the humerus (marked by a yellow label)

The median distance from the articular gap to the entrance of the deep motor branch of the radial nerve into the supinator canal was 28 (25.5-29.6) mm, which causes a high risk of damage to this structure manipulating in these areas.

Clinical study results

During the MRI examination of the elbow joint in axial projections at level II, the distances from the neurovascular structures (radial and median nerves, brachial artery) to the anterior border of

the humerus shadow, as well as from the radial nerve to the CLEL and from the median nerve and brachial artery to the CMEL were measured (Tab. 4).

The results obtained were not have statically significant differences with the data obtained by analyzing angioentgenograms in the topographic anatomical part of the study ($p > 0.05$). The safe distance from the conditional epicondylar lines can be considered 16 mm versus 15 mm obtained by angioentgenograms (Tab. 5).

Table 4
The distance from the neurovascular structures to the CLEL and CMEL at the II level with full extension of the upper limb

Structure	Level	Me (Q ₁ -Q ₃), mm
Radial nerve	CLEL	17,6 (17,4-17,9)
Brachial artery	CMEL	22,8 (22,7-23,2)
Median nerve		18,8 (18,7-19,2)

Table 5
The distance from the neurovascular structures to the anterior surface of the humerus at level II with full extension of the upper limb according to anatomical examination and MRI, Me (Q1-Q3), mm

Structure	MRI	Anatomical
Radial nerve	12,8 (12,4-13,7)	13,4 (13,1-13,7)
Brachial artery	15,7 (15,7-15,9)	15,3 (15,2-15,4)
Median nerve	14,9 (14,3-15,8)	13 (12,6-13,5)

$p > 0,05$.

In the final part of the clinical study, the length of the medial and radial collateral ligaments, as well as the area of their attachment zones, were determined. According to MRI data, the average length of ABMCL is 20.5 (19.6-23.5) mm. It is best visualized on MRI on frontal sections.

The average length of the RCS is 26.5 (24.7-28.7) mm. The revealed parameters of ligament length can be useful in cases of their iatrogenic injury during the release of damaged tendons.

Also, according to the MRI data, the average areas of the attachment zones were determined: the tendons of the ECRB — 52.4 mm², the FCU — 56.2 mm². The average width of the ECRB in the attachment area was 3.1 ± 1.7 mm: in the middle part — 7.2 ± 2.1 mm and in the distal part — 4.5 ± 1.8 mm. The average width of the FCU in the attachment area was 4.3 ± 1.3 mm: in the middle part — 8.1 ± 2.3 mm and in the distal part — 5.7 ± 2.1 mm. The results obtained have no statistically significant differences with the

data obtained in the topographic anatomical part of the study ($p > 0.05$).

DISCUSSION

The risk of neurovascular structures injury during arthroscopy of elbow joint is due to various factors: insufficient experience of the surgeon, poor knowledge of the neurovascular structures topography, the close location of nerves in the area of arthroscopic approach [20]. In arthroscopic treatment of lateral epicondylitis, the deep branch of the radial nerve, the medial cutaneous nerve of the forearm, the anterior interosseous nerve of the forearm, which is also a branch of the median nerve, are the most vulnerable to injury [21, 22]. The deep branch of the radial nerve and the anterior interosseous nerve are motor branches, when damaged, the functions of the hand are violated.

According to the results of our topographic anatomical study, the radial and median nerves are at the maximum distance from the bone structures at the angle of elbow joint flexion from 0 to 90 °, but further flexion leads to a decrease in the distance. According to C.D. Miller et al., the distance of the median and radial nerves from the bone is 12 and 6 mm, respectively in 90 ° flexion. It is worth noting that in their study, the authors used a saline solution for insufflation, which significantly increases the distance of the neurovascular structures to the bone, but they estimated the distance from the joint capsule to the nerve structures [10]. A similar study was performed by M. Hackl et al., who estimated the distance from the neurovascular structures to the bone during flexion in the elbow joint, as well as during 20 ml insufflation of saline solution into the joint [11].

In the Russian literature, we have not found reports of topographic anatomical studies devoted to determine safe zones for the arthroscopic approaches in the treatment of medial epicondylitis of the humerus. Previously, we performed a combined topographic anatomical and clinical study on 12 human elbow joints cadaver specimens to determine the structural features of the medial collateral ligament and safe arthroscopic ports when performing the release of elbow joint [23]. The results of this study showed that the safe zone for surgery is located above the midline of the humeroulnar joint by 2 (1.0-3.2) mm. In this zone, there is a minimal risk of damage to the ABMCL.

During the study of ABMCL, it was revealed that it has a dense location in relation to the FCR. The width of the ulnar collateral ligament was measured in three places. And these values are consistent with the values obtained in the studies of S. Floris with co-authorset al. [24], L.A. Timmerman et al. [25], W.D. Regan et al. [26] The measurements performed in this study showed that the width of the ligament is uneven, increases in the distal direction (to the place of attachment) to an average of 9.3 mm. There are no particular differences in the area of ligament attachment to the distal humerus, the results are similar [27]. The data obtained has great importance for the surgeon, because due to the topographic features during the release of the FCU, the ABMCL can be injured. In case of injury to this structure by more than 50% (in the proximal part – more than 3.0 ± 1.4 mm, in the middle part of the ligament – 3.5 ± 1.5 mm), the risk of valgus elbow joint instability development increases.

According to our data, the average area of attachment of ABMCL to the medial condyle of the humerus is 45.5 ± 9.3 mm², which coincides with the results of the study by M.E. Cinque aet al. [28]. During the study of FCU, it was revealed that the average area of its attachment to the condyles of the humerus is 13.6 ± 1.4 mm². This differs from the data presented by D. Berholt et al. – 7.1 mm² [29].

According to the results of this study, the distance from the articular gap to the entrance of the deep motor branch of the radial nerve to the supinator arch is 28 (25.5–29.6) mm. Its injury is possible when an arthroscopic approach is performed 3 cm distal and 1 cm anteriorly from the lateral condyle of the humerus. The data obtained completely coincide with the results of the study by N.F. Hilgersom et al [21].

CONCLUSION

To perform approaches, the safest level for arthroscopic treatment of the distal humerus enthesopathy is level II. For arthroscopic release of ECRB, it is recommended to use a proximal medial approach 2.0 cm proximal and 0.5 cm anteriorly from the medial epicondyle of the humerus, and an anterolateral approach located 1.0 cm distal and 1.0 cm anteriorly from the lateral epicondyle of the humerus. For arthroscopic release of FCU, it is recommended to use an anterolateral approach located 1.0 cm distal and 1.0 cm anteriorly from

the lateral condyle of the humerus, and anteromedial approach located 2.0 cm distal and 2.0 cm anteriorly from the medial condyle of the humerus.

DISCLAIMERS

Author contribution

All authors made equal contributions to the study and the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

REFERENCES

1. Baker C.L., Murphy K.P., Gottlob C.A., Curd D.T. Arthroscopic classification and treatment of lateral epicondylitis: two-year clinical results. *J Shoulder Elbow Surg.* 2000;9(6):475-482. doi: 10.1067/mse.2000.108533.
2. Riff A.J., Saltzman B.M., Cvetanovich G., Frank J.M., Hemu M.R., Wysocki R.W. Open vs Percutaneous vs Arthroscopic Surgical Treatment of Lateral Epicondylitis: An Updated Systematic Review. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2018;47(6). doi: 10.12788/ajo.2018.0043.
3. Chow H.Y., Eygendaal D., The B. Elbow arthroscopy – Indications and technique. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;19:147-153. doi: 10.1016/j.jcot.2021.05.022.
4. Elfeddali R., Schreuder M.H.E., Eygendaal D. Arthroscopic elbow surgery, is it safe? *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(5):647-652. doi: 10.1016/j.jse.2013.01.032.
5. Erickson B.J., Chalmers P.N., Cvetanovich G.L., Frank R.M., Romeo A.A., Harris J.D. Quality and Quantity of the Elbow Arthroscopy Literature: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2016;45(5):E290-298.
6. Kelly E.W., Morrey B.F., O'Driscoll S.W. Complications of elbow arthroscopy. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83(1): 25-34. doi: 10.2106/00004623-200101000-00004.
7. Adolfsson L. Arthroscopy of the elbow joint: a cadaveric study of portal placement. *J Shoulder Elbow Surg.* 1994;3(2):53-61. doi: 10.1016/S1058-2746(09)80110-9.
8. Drescher H., Schwering L., Jerosch J., Herzig M. [The risk of neurovascular damage in elbow joint arthroscopy. Which approach is better: anteromedial or anterolateral?]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1994;132(2): 120-125. (In German). doi: 10.1055/s-2008-1039829.

9. Omid R., Hamid N., Keener J.D., Galatz L.M., Yamaguchi K. Relation of the radial nerve to the anterior capsule of the elbow: anatomy with correlation to arthroscopy. *Arthroscopy*. 2012;28(12):1800-1804. doi: 10.1016/j.arthro.2012.05.890.
10. Miller C.D., Jobe C.M., Wright M.H. Neuroanatomy in elbow arthroscopy. *J Shoulder Elbow Surg*. 1995;4(3): 168-174. doi: 10.1016/s1058-2746(05)80047-3.
11. Hackl M., Lappen S., Burkhart K.J., Leschinger T., Scaal M., Müller L.P. et al. Elbow Positioning and Joint Insufflation Substantially Influence Median and Radial Nerve Locations. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(11): 3627-3634. doi: 10.1007/s11999-015-4442-3.
12. Cho B.K., Kim Y.M., Kim D.S., Choi E.S., Shon H.C., Park K.J. et al. Mini-open muscle resection procedure under local anesthesia for lateral and medial epicondylitis. *Clin Orthop Surg*. 2009;1(3):123-127. doi: 10.4055/cios.2009.1.3.123.
13. Cushing T., Finley Z., O'Brien M.J., Savoie F.H., Myers L., Medvedev G. Safety of Anteromedial Portals in Elbow Arthroscopy: A Systematic Review of Cadaveric Studies. *Arthroscopy*. 2019;35(7):2164-2172. doi: 10.1016/j.arthro.2019.02.046.
14. Thon S., Gold P., Rush L., O'Brien M.J., Savoie F.H. Modified Anterolateral Portals in Elbow Arthroscopy: A Cadaveric Study on Safety. *Arthroscopy*. 2017;33(11): 1981-1985. doi: 10.1016/j.arthro.2017.06.012.
15. Andrews J.R., Carson W.G. Arthroscopy of the elbow. *Arthroscopy*. 1985;1(2):97-107. doi: 10.1016/s0749-8063(85)80038-4.
16. Marshall P.D., Fairclough J.A., Johnson S.R., Evans E.J. Avoiding nerve damage during elbow arthroscopy. *J Bone Joint Surg Br*. 1993;75(1):129-131. doi: 10.1302/0301-620X.75B1.8421009.
17. Field L.D., Altchek D.W., Warren R.F., O'Brien S.J., Skyhar M.J., Wickiewicz T.L. Arthroscopic anatomy of the lateral elbow: a comparison of three portals. *Arthroscopy*. 1994;10(6):602-607. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80055-6.
18. Cyriax J.H. The pathology and treatment of tennis elbow. *J Bone Joint Surg Am*. 1936;18(4):921-940.
19. Nirschl R.P., Pettrone F.A. Tennis elbow. The surgical treatment of lateral epicondylitis. *J Bone Joint Surg Am*. 1979;61(6A):832-839.
20. Nirschl R.P. Tennis elbow. *Orthop Clin North Am*. 1973;4(3):787-800.
21. Hilgersom N.F.J., van Deurzen D.F.P., Gerritsma C.L.E., van der Heide H.J.L., Malessy M.J.A., Eygendaal D. et al. Nerve injuries do occur in elbow arthroscopy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(1):318-324. doi: 10.1007/s00167-017-4719-z.
22. Kim S.J., Shin S.J. Arthroscopic treatment for limitation of motion of the elbow. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;(375): 140-148. doi: 10.1097/00003086-200006000-00017.
23. Salikhov M.R., Shulepov D.A., Zlobin O.V., Dmitrieva N.N., Midaev A.I. [Minimally Invasive Arthroscopic Treatment of Patients with Medial Epicondylitis]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(2):44-53. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-2-44-53.
24. Floris S., Olsen B.S., Dalstra M., Søjbjerg J.O., Sneppen O. The medial collateral ligament of the elbow joint: anatomy and kinematics. *J Shoulder Elbow Surg*. 1998;7(4):345-351. doi: 10.1016/s1058-2746(98)90021-0.
25. Timmerman L.A., Andrews J.R. Histology and arthroscopic anatomy of the ulnar collateral ligament of the elbow. *Am J Sports Med*. 1994;22(5):667-673. doi: 10.1177/036354659402200515.
26. Regan W.D., Korinek S.L., Morrey B.F., An K.N. Biomechanical study of ligaments around the elbow joint. *Clin Orthop*. 1991;(271):170-179.
27. O'Driscoll S.W., Jalszynski R., Morrey B.F., An K.N. Origin of the medial ulnar collateral ligament. *J Hand Surg Am*. 1992;17(1):164-168. doi: 10.1016/0363-5023(92)90135-c.
28. Cinque M.E., Schickendantz M., Frangiamore S. Review of Anatomy of the Medial Ulnar Collateral Ligament Complex of the Elbow. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020;13(1):96-102. doi: 10.1007/s12178-020-09609-z.
29. Bernholt D.L., Rosenberg S.I., Brady A.W., Storaci H.W., Viola R.W., Hackett T.R. Quantitative and Qualitative Analyses of the Lateral Ligamentous Complex and Extensor Tendon Origins of the Elbow: An Anatomic Study. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(10): 2325967120961373. doi: 10.1177/2325967120961373.

Authors' information

✉ Ali I. Midaev

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1998-0400>

e-mail: midaewali@gmail.com

Marsel R. Salikhov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-5706-481X>

e-mail: virus-007-85@mail.ru

Nikolay F. Fomin — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-3961-1987>

e-mail: fominmed@mail.ru



Hemodynamics and Tissue Temperature During Long Bones Fracture Healing: *in vivo* Experiment

Azam A. Kosimov^{1,2}, Iskandar Yu. Khodzhanov¹, Natalia A. Kononovich³

¹Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Traumatology and Orthopaedics, Tashkent, Republic of Uzbekistan

²Tashkent Medical Academy, Tashkent, Republic of Uzbekistan

³National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedic, Kurgan, Russia

Background. Adequate blood flow in tissues during bone union is a factor that enables to achieve positive treatment results.

Aim of study – to study *in vivo* the features of temperature response and blood flow in consolidation area of tibial primary fractures and refractures.

Methods. A tibial fracture was simulated in rats and then immobilized with external fixator. In series 1 (n = 13) the fixation was kept until union. In series 2 (n = 18) a refracture was simulated 21 days after the surgery and refixed until union. The blood flow and tissue temperature were studied in the fracture area in normal conditions; 21 and 35 days after fracture or refracture; 28 days after the end of fixation.

Results. The temperature and blood flow were of the same type, but of different intensity. Three types of reactions were identified: 1) reduced blood flow velocity and tissue temperature, signs of venous outflow difficulty; 2) increased blood flow, unchanged venous outflow, reduced tissue temperature; 3) slight blood flow decrease, increased venous outflow, slight tissue temperature increase. By the end of fixation (35 days) all parameters in series 1 returned to normal. 28 days after the end of fixation the tissue temperature and venous outflow returned to normal in series 2 animals with the first and the second types of hemodynamics, their blood flow velocity decreased. As for the third type, the tissue temperature returned to normal, the venous outflow and the blood flow velocity increased.

Conclusion. In case of primary fractures, the blood flow and the tissue temperature normalized by the end of fixation. In case of refractures the changes persisted 1 month after the end of fixation.

Keywords: fracture, refracture, hemodynamics, tissue temperature, experimental study.

Cite as: Kosimov A.A., Khodzhanov I.Yu., Kononovich N.A. [Hemodynamics and Tissue Temperature During Long Bones Fracture Healing: *in vivo* Experiment]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):159-169. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1976>.

✉ Natalia A. Kononovich; e-mail: n.a.kononovich@mail.ru

Submitted: 18.08.2022. Accepted: 27.10.2022. Published Online: 24.11.2022.

© Kosimov A.A., Khodzhanov I.Yu., Kononovich N.A., 2022

Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного переломов длинных костей: эксперимент *in vivo*

А.А. Косимов^{1,2}, И.Ю. Ходжанов¹, Н.А. Кононович³

¹ Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии Минздрава Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Ташкентская медицинская академия Минздрава Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Актуальность. Адекватное кровообращение в тканях при сращении переломов является фактором достижения положительных результатов лечения.


Цель исследования — в эксперименте *in vivo* изучить особенности температурной реакции и кровообращения в области сращения первичного и повторного переломов большеберцовой кости.


Материал и методы. Крысам моделировали перелом большеберцовой кости, зафиксированный наружной конструкцией. В 1-й серии ($n = 13$) фиксацию продолжали до сращения. Во 2-й серии ($n = 18$) через 21 сут. моделировали рефрактуру и повторно фиксировали. Изучали кровообращение и температуру тканей в проекции перелома в норме; через 21 и 35 сут. после перелома и рефрактуры; через 28 сут. после прекращения фиксации.

Результаты. Температура и кровообращение были однотипными, но разной степени выраженности. Выявили следующие типы реакции: 1) пониженная скорость кровотока и температура тканей, признаки затруднения венозного оттока; 2) усиленный кровоток, неизменный венозный отток, пониженная температура тканей; 3) незначительно сниженный кровоток, усиленный венозный отток, незначительно повышенная температура тканей. К окончанию фиксации (35 сут.) в 1-й серии параметры нормализовались. Во 2-й серии через 28 сут. после прекращения фиксации у животных с первым и вторым типами реакции температура и венозный отток нормализовались, скорость кровотока снижалась. При третьем типе температура нормализовалась, венозный отток усиливался, скорость кровотока увеличивалась.

Заключение. При сращении первичного перелома кровообращение и температура тканей нормализовались к окончанию фиксации, а при рефрактурах через месяц после прекращения фиксации изменения сохранялись.

Ключевые слова: перелом, рефрактура, гемодинамика, температура тканей, экспериментальное исследование.

 Косимов А.А., Ходжанов И.Ю., Кононович Н.А. Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного переломов длинных костей: эксперимент *in vivo*. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):159-169. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1976>.

 Кононович Наталья Андреевна; e-mail: n.a.kononovich@mail.ru

Рукопись получена: 18.08.2022. Рукопись одобрена: 27.10.2022. Статья опубликована онлайн: 24.11.2022.

© Косимов А.А., Ходжанов И.Ю., Кононович Н.А., 2022

BACKGROUND

The problem of prevention and management of long bone shaft refractures particularly among pediatric patients appears relevant nowadays. According to different authors, the frequency of refractures varies from 0,4 to 21,3% of cases and has no tendency to decrease [1, 2, 3]. The causes of this pathological condition might be different. The major of them are improper clinical and laboratory patient examination, bone injury type and localization, inaccurate bone fragments reduction, insufficient and incorrect immobilization regardless of the chosen treatment tactics, as well as big number of surgeries and reduction procedures on the injured segment, systemic skeletal disorders, osteomyelitis. Early end of immobilization might also lead to refracture of the united bone as the reparative osteogenesis has not finished yet and the bone callus has insufficient mechanical load resistance.

Bone union signs are crucial to decide upon the external fixation removal. Two standard X-rays views (anteroposterior and lateral) are commonly taken in that case, and the union signs are an uninterrupted cortical plate on three or four sides in the area of consolidation [4, 5]. However, some authors admit that standard X-rays do not provide enough information [6, 7]. Therefore, the scientists keep searching unexpensive and easy-to-do non-invasive or minimally invasive evaluation methods of quality of regenerated bone [8, 9, 10]. Blood flow evaluation methods of bone and soft tissues seem to be rather promising, that is pointed out by many researchers [11, 12, 13].

Many scientific publications mention blood flow features of tissues at different stages of bone union of primary fractures in both pediatric and adult patients [14, 15, 16, 17]. However, available data have no information on hemodynamic changes in the consolidation process of refractures occurred due to an early end of immobilization. As a consequence, investigation of hemodynamic changes and other corresponded processes including temperature response in the area of ongoing bone union of primary fractures and refractures is of great scientific and clinical significance.

Aim of study — to investigate during in vivo experiment the features of temperature response and blood flow in the area of bone union of tibial primary fractures and refractures.

METHODS

Study design

36 rats of Wistar line of both sexes with the weight from 306 to 506 grams were picked for our in vivo experiment. In all cases the transverse osteotomy was performed in the middle of diaphysis of the right tibia. Bone fragments were fixed with unilateral external fixator. All animals were randomly divided in two experimental groups after the surgery. In series 1 (n = 13) after simulating the primary fracture, the fixation was preserved until the bone union that was registered clinically and radiologically. In series 2 (n = 18) the refracture of the damaged area was simulated by the application of flexion forces to the bone fragments 21 days after the surgery, then the external fixation was reapplied until the bone union [18].

Inclusion criteria. Clinically healthy animals at the age of 5-6 months were used in the experiment.

Exclusion criteria. 5 animals in experimental series 1 had refracture of the bone callus area in the period through to 28 days after the registered bone union and the end of external fixation. This was regarded as an exclusion criterion, so these cases were not taken into account in the analysis of obtained results. Thus, the series 1 experiment included 13 out of 18 animals that underwent the surgery.

Experiment conditions

All animals were managed in individual cages in vivarium. Identical light and temperature conditions were provided in the room. Identical nutritionally balanced feed and clean drinking water were used in the diet. One and the same researcher performed physiological examinations in a specially equipped room.

Duration of study

Blood flow and local temperature in the bone injury area were evaluated to achieve the aim of study at the following stages: before experiment; in 21 days of fixation after fracture simulation and osteosynthesis in series 1 and 2; in 35 days of fixation after fracture simulation and osteosynthesis in series 1; in 35 days of fixation after refracture simulation and osteosynthesis in series 2; in 28 days after bone union and end of external fixation in series 1 and 2.

Physiologic examination procedures, main study results and registration methods

Examinations were performed using rheograph-polyanalyser RGPA-6/12 "Rean-Poly" (SPCF "Medicom MTD", Russia) and accessories coming with it. Animals were anesthetized by intramuscular injections of Zoletil at the dose of 2-5 mg/100 g. After that the fur on the medial side of experimental segment was cut out with scissors avoiding skin damage. The DT-3 contact temperature sensor was installed in the projection of the fracture to record local temperature (T, °C). Thermometry was performed for 3 min. Then the photoplethysmography (PPG) of the same area was carried out for 1 min using the PPG-2 detector (superficial). Vasomotor reactions of large, medium and small arteries were evaluated by the changes of the maximum speed of rapid blood filling (MSRBF, ohm per second) and the average speed of slow blood filling (ASSBF, ohm per second). Venous outflow index (VOI, %) changes were analyzed to assess the venous outflow. Values of studied parameters acquired before the experiment and gathered from 15 intact animals were used as references.

Additional study results their registration methods

Heart rate (HR) was additionally registered at the examination stages by recording electrocardiogram with the same equipment. Overall body temperature (To) was taken using digital thermometer. The presence of soft tissues pathologic changes in the fracture area (exudative inflammation, hematoma etc.) was visually noticed during the examinations.

Statistical analysis

Statistical analysis of quantitative data was performed with the use of AtteStat 13.1 software (Russia). Population of quantitative data was described by the median value (Me) and lower and upper quartiles (Q1-Q3). Statistical significance of differences was evaluated using Wilcoxon test for paired and independent samples. Differences were considered statistically significant at the $p < 0.05$ significance level.

RESULTS

Main study results

There were no cases of animal death during the whole experiment. Reference ranges for experimental variables were the following: T — 31,1 (30,48–31,81) °C, MSRBF — 2,3 (1,76–2,55) ohm per second, ASSBF — 0,88 (0,54–1,49) ohm per second, VOI — 56,73 (53,4–65,0) %.

Results obtained during the local tissue temperature recording and PPG revealed different dynamics of changes of experimental variables in the period of external fixation.

21 days after the surgery 38,7% (n = 12) of examined animals had statistically significant T decrease by 1,11°C (p = 0,02) comparing to preoperative values. MSRBF and ASSBF parameters decreased by 75,77% (p = 0,003) and 79,76% (p = 0,03) respectively. Among the cases with such dynamics (hereinafter — animals «T↓ MSRBF↓ ASSBFна ↓», in figures «Type ↓↓↓») 50% of animals were included in the experimental series 1 and 50% - in the series 2. These experiments recorded VOI increase by more than 20% (p = 0,01).

Other series of experiments (38,7%; n = 12) recorded significant T decrease by 1,77°C (p = 0,0006). At the same time MSRBF and ASSBF increased 2,97-fold (p = 0,006) and 2,96-fold (p = 0,01) respectively (hereinafter — animals «T↓ MSRBF↑ ASSBF↑», in figures «Type ↓↑↑»). 33,3% (n = 4) of cases were included in the experimental series 1, 66,7% (n = 8) - in the series 2. These animals had no venous outflow disorder, their VOI values corresponded to normal, although were insignificantly higher in the series 2 than preoperative ones (p = 0,03).

22,6% (n = 7) of animals had insignificant T increase by 0,32±0,20°C (p = 0,56) on average. However, MSRBF and ASSBF had statistically significant decrease by 29,82% (p = 0,02) and 10,07% (p = 0,02) respectively. 42,9% (n = 3) of cases were included in the experimental series 1, 57,1% (n = 4) - in the series 2 (hereinafter — animals «T↑ MSRBF↓ ASSBF↓», in figures «Type ↑↓↓»). These animals had a weak tendency for venous outflow increase during all experiments. That was marked by the VOI decrease comparing to preoperative values (p = 0,03). Thus, there were no statistically significant difference of this parameter from the norm (p = 0,08).

T parameter in animals with «T↓ MSRBF↓ ASSBF_{на} ↓» increased by 0,48°C in the experimental series 1 by the end of external fixation (35 days after the surgery) comparing to previous experimental period. Its values varied within the lower limit of physiological range. MSRBF and ASSBF parameters increased comparing to previous experimental period and reached normal values. Meanwhile, the VOI parameter decreased a little. Its difference from preoperative and intact values was not statistically significant.

As for experimental series 2, the T parameter increased and became physiologically normal ($p = 0,06$) 35 days after refracture simulation and osteosynthesis. Although the VOI parameter corresponded to intact values, it still did increase by 11% compared to preoperative values. That was considered as a mild venous outflow difficulty. MSRBF and ASSBF continued decreasing, their values dropped off by 88,80% ($p = 0,002$) and 82,14% ($p = 0,004$) respectively.

The values of arteries vasomotor reactions parameters (T, MSRBF and MSSBF) also returned to normal in series 1 animals with «T↓ MSRBF↑ ASSBF↑» changes. Signs of venous outflow increase were identified. It was confirmed by statistically significant VOI decrease compared to both preoperative ($p = 0,03$) and previous experimental stage values ($p = 0,02$). T values in series 2 animals with «T↓ MSRBF↑ ASSBF↑» changes increased by more than 0,5°C ($p = 0,05$) comparing to normal and more than 2,0°C ($p = 0,04$) comparing to previous experimental stage. MSRBF decreased but kept being 1,4-fold ($p = 0,04$) increased compared to normal. ASSBF decreased and varied its values within the upper limit of

physiological range ($p = 0,3$). At the same time the VOI parameter returned to normal.

Values of all studied parameters in series 1 animals with «T↑ MSRBF↓ ASSBF↓» changes corresponded to preoperative and normal ones and were obtained by investigating intact animals. Series 2 parameters increased comparing to preoperative values. The T parameter increased by more than 1°C ($p = 0,03$), MSRBF — 3,8-fold ($p = 0,001$), ASSBF — 2,1-fold ($p = 0,001$). VOI remained the same.

Figures 1-4 show all dynamic changes of local temperature and cover tissues as well as arteries vasomotor reactions and venous outflow parameters at the stage of external fixation of damaged bone.

Regardless of the blood flow type, the studied parameters in series 1 animals varied their values within the physiological range during all experiments 28 days after the end of external fixation.

T and VOI parameters in series 2 animals with «T↓ MSRBF↓ ASSBF↓» and «T↓ MSRBF↑ ASSBF↑» changes usually had no statistically significant difference comparing to normal values ($p = 0,4$ and $p = 0,6$ respectively) 28 days after the end of external fixation. Other parameters decreased significantly compared to the norm (more than 3-fold, $p = 0,001$). During that period the T parameters in «T↑ MSRBF↓ ASSBF↓» animals decreased by 0,95°C ($p = 0,04$) comparing to the previous experimental stage and did not significantly differ from the norm ($p = 0,3$). MSRBF and ASSBF increased 1,5-fold comparing to the values obtained at the end of external fixation ($p = 0,002$). The VOI values were 24,6% ($p = 0,009$) lower than physiologically normal and preoperative ones.

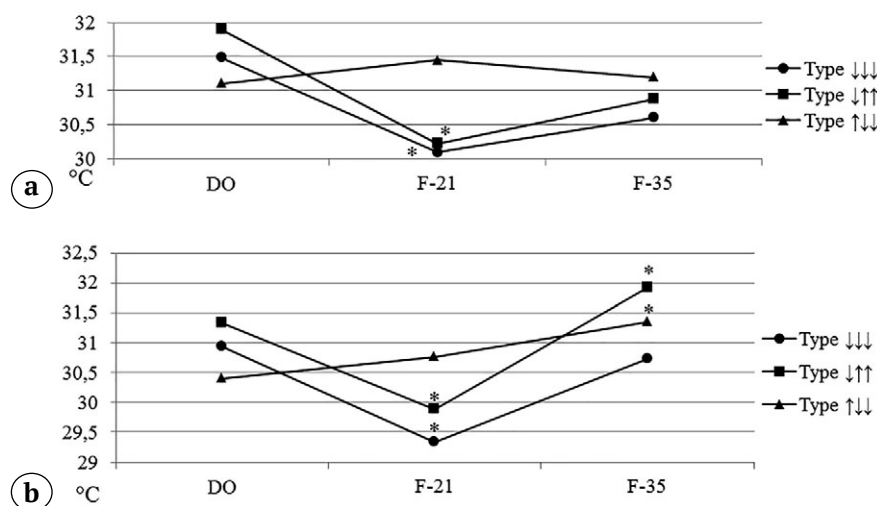


Fig. 1. Dynamics of changes in the soft tissues temperature in the projection of bone trauma at the fixation stage with different variants of blood flow: a — 1st series; b — 2nd series; * — $p > 0,05$. Hereafter: DO — before surgery; F-21 — fixation 21 days; F-35 — fixation 35 days

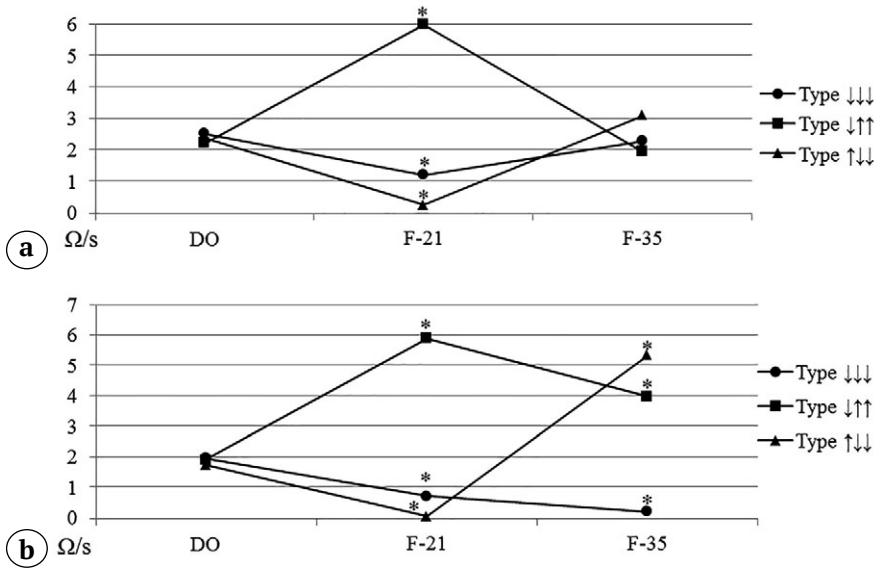


Fig. 2. Dynamics of changes in the maximum rate of rapid blood filling at the fixation stage with different variants of blood flow: a – 1st series; b – 2nd series; * – $p > 0.05$

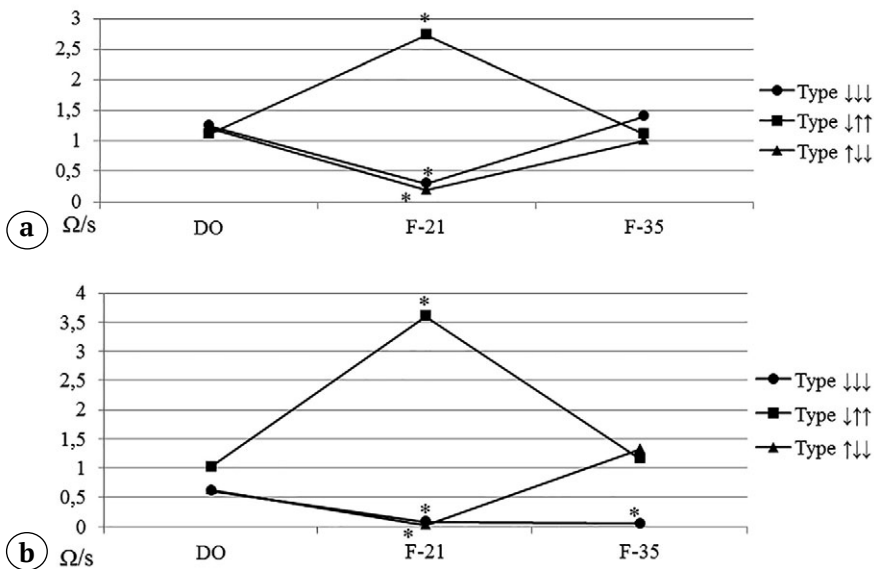


Fig. 3. Dynamics of changes in the average rate of slow blood filling at the fixation stage with different variants of blood flow: a – 1st series; b – 2nd series; * – $p > 0.05$

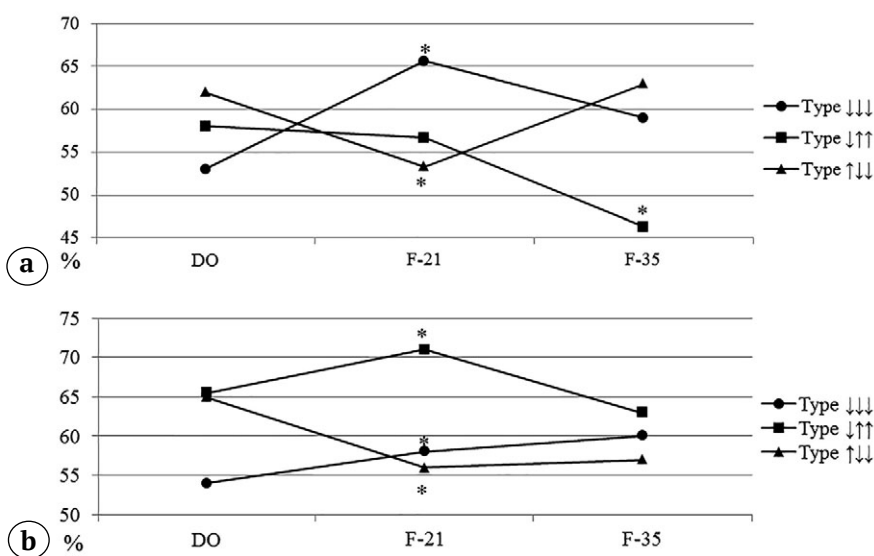


Fig. 4. Dynamics of changes in the venous outflow index at the fixation stage with different variants of blood flow: a – 1st series; b – 2nd series; * – $p > 0.05$

Additional study results

In the course of experiments all animals had no pathological changes in soft tissues in the area of simulated fracture. There were also no statistically significant changes in heart rate and overall body temperature at different experimental stages comparing to preoperative values. No statistically significant difference of these parameters was registered at all experimental stages and between series (Tab. 1).

DISCUSSION

Temperature and blood flow hypo- or hyperkinetic changes during the bone union of primary fractures or refractures (due to an early end of fixation) of lower-leg bones diaphysis were rather similar but had varying intensity. The dynamics of the primary fracture union being quite the same, the blood flow and the temperature normalized 1 month after the end of fixation. At the same time the consolidation of refracture was associated with prominent vasomotor reaction changes that persisted 1 month after the end of fixation.

It is acknowledged that recovery of peripheral circulation and its intensity represent one of the main factors that influence the remodeling process after bone and soft tissues injuries [19,

20]. Nowadays, non-invasive diagnostic methods based on near infrared optical systems are most commonly used to evaluate the tissue perfusion in the bone union area. PPG is considered the cheapest and easiest to use [21, 22]. Optical wavelength from 470 nm and longer enables to reach the human derma that is equivalent to 0.5–6.0 mm of tissue depth. The sensor pressed down, the PPG signal is enhanced, so the optical wave is able to reach the deeper layers including deep-seated vessels [23].

The PPG method was also used in the experimental research to study the hemodynamics under created conditions. As a result, it became clear that similar but intensively different blood circulation changes may occur during the bone union of primary fractures or refractures of lower-leg bones diaphysis under external fixation. As for the hemodynamic process, it may be of hypo- or hyperkinetic nature.

33% of cases shew up venous outflow changes comparing to preoperative values 21 days after the fracture simulation and osteosynthesis. Nevertheless, these changes had no statistically significant difference from the physiological norm. At the same time vasodilatation of arteries of different sizes prevailed, that was demonstrated by the blood inflow velocity decrease by more than 70%. That fact explained the tempera-

Table 1

Dynamics of changes in heart rate and total body temperature, Me (Q1–Q3)

Serial number	Stages of the experiment			
	Before the experience	Fixation 21 days	Fixation 35 days	28 days without ex-fix
	Heart rate, beats/min			
1 (n=13)	294 (246.5–325.0)	264 (256–308)	304.5 (251.5–327.0)	278 (257.5–299,0)
2 (n=18)	291 (254.5–331.0)	276.5 (245–322)	302 (290.5–332.0)	276.5 (238–322)
	T _{total} , °C			
1 (n=13)	34.3 (33.9–34.9)	34.74 (34.0–34.9)	35.0 (34.2–35.5)	34.52 (34.1–34.8)
2 (n=18)	34.7 (34.0–35.4)	34.8 (34.3–35.3)	34.97 (34.1–35.7)	34.9 (34.7–35.3)

In relation to the preoperative values and at different stages between the series, the significance level of differences is $p > 0.05$

ture decrease of cover tissues in the damaged area. Such circulation dynamics allowed to restore the arteries vasomotor properties and tissue temperature by the end of external fixation in case of primary fractures. The venous outflow also normalized. There were no blood circulation changes in the bone union area afterwards. The animals with simulated refracture restored the tissue temperature response by the time of consolidation. Nevertheless, the blood flow velocity continued decreasing and the venous outflow became a bit restricted. External fixation ended up, the blood circulation in the fracture area did not manage to be restored by the end of experiment.

There is information that the blood circulation in the damaged area increases in children with long bone fractures 7-14 days after osteosynthesis and normalizes in the bone union period [14, 15]. The same hyperkinetic circulation type was recorded in more than 30% of experimental cases. Thus, the blood flow velocity increased significantly in the bone union area 21 days after fixation. The venous outflow was in those cases sufficient. It appears that the blood filling speed-up was caused by hypertonic vessel walls. During that period the arteries vasoconstriction, especially of small ones, led to the temperature decrease of cover tissues by more than 1,5° C.

Such dynamics enabled to increase the venous outflow and normalize the arteries vasomotor properties and the tissue temperature as soon as mechanically strong bone union was formed after the primary fracture. As for the cases of refracture consolidation, the vasoconstriction level of large vessels increased while the small arteries tonus normalized. That increased the blood flow to the damaged area. As a result, the tissue temperature increased and the venous outflow normalized, both persisting after the end of fixation. However, the tonus of arteries walls decreased significantly, as evidenced by the fact that the blood filling velocity decreased.

22% of animals had the circulation type 3 that was registered 21 days after the fracture simulation and osteosynthesis. These cases were characterized by the mild arteries vasodilatation along with the venous hyperoutflow. Such dynamical changes concerning vessel functioning led to the mild tissue temperature increase,

so that all the parameters normalized by the time of the primary fracture consolidation and did not change afterwards. By the end of external fixation in case of refracture consolidations there was a sharp vessel tonus increase with the blood filling speed-up. The cover tissue temperature increased as well. After the end of fixation, the arteries were in a state of vasoconstriction while the venous outflow increased even more. All these circumstances caused the tissue blood filling deterioration and consequently led to its temperature decrease.

Other authors also reported different variants of blood circulation while treating patients with low or upper limbs injuries [16, 24, 25]. Some of researches mainly observed the blood inflow increase to the limb tissues when managing fractures by the use of various methods [26, 27]. Other researchers mentioned the blood inflow decrease [17, 28, 29].

All experimental animals had no refractures after the end of external fixation (except the cases that corresponded to exclusion criteria). That attests to the fact that all 3 types of hemodynamic changes and tissue temperature reactions in the damaged area can be considered as positive criteria of osteogenesis process after primary fractures and refractures caused by an early end of immobilization. The clinical value of our findings is determined by the fact that they can be used to predict the reparative osteogenesis process when managing long bone fractures particularly via external fixation.

CONCLUSION

Hypo- or hyperkinetic changes of blood circulation during the bone union of primary fractures or refractures (due to an early end of fixation) of lower leg bones diaphysis are rather similar but have varying intensity.

Local hemodynamics changes may be favorable prognostic criteria of reparative osteogenesis process. These changes can be represented by blood flow velocity decrease associated with tissue hypothermia and signs of venous outflow difficulties, blood flow velocity increase with local hypothermia and preserved venous outflow, insignificant blood flow deceleration, local tissue hyperthermia and venous outflow increase.

In case of primary fracture consolidation, the blood circulation and tissue temperature response in the area of bone callus restore during the bone union. Consolidation of refractures is accompanied by more significant changes of these variables and they do not restore 1 month after the end of fixation.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kosimov A.A. — the idea and design of the study, writing the draft, editing.

Khodzhanov I.Yu. — the idea and design of the study, text editing.

Kononovich N.A. — data collection and analysis, manuscript writing

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. The work was carried in the National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedic under contract No. 165 for the implementation of research work with the financial support of A.A. Kosimov.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedic, protocol No 18, 19.03.2018.

The study was carried out in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Khodzhanov I.Yu., Khrapovitskaya A.Yu., Kosimov A.A. [Refractures long bones in children (literature review)]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 2012;1:117-120. (In Russian).
2. Shalygina O.I., Kuznetsova N.L. [The reasons for promoting the development of long bones refracture after isolated and multiple injuries]. *Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala* [Medical Science and Education in the Urals]. 2012;13(3-1):120-122. (In Russian).
3. Fernandez F.F., Langendörfer M., Wirth T., Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop.* 2010;4(2):159-167. doi: 10.1007/s11832-010-0245-y.
4. Starr K.A., Fillman R., Raney E.M. Reliability of radiographic assessment of distraction osteogenesis site. *J Pediatr Orthop.* 2004;24(1):26-29. doi: 10.1097/00004694-200401000-00006.
5. Ten Berg P.W.L., Kraan R.B., Jens S., Maas M. Interobserver Reliability in Imaging-Based Fracture Union Assessment – Two Systematic Reviews. *J Orthop Trauma.* 2020;34(1):e31-e37. doi: 10.1097/BOT.0000000000001599.
6. Atwan Y., Schemitsch E.H. Radiographic evaluations: Which are most effective to follow fracture healing? *Injury.* 2020;51(Suppl 2):S18-S22. doi: 10.1016/j.injury.2019.12.028.
7. Litrenta J., Tornetta P. 3rd, Ricci W., Sanders R.W., O'Toole R.V., Nascone, J.W. et al. In vivo correlation of radiographic scoring (radiographic union scale for tibia fractures) and biomechanical data in a sheep osteotomy model: can we define union radiographically? *J Orthop Trauma.* 2017;31(3):127-130. doi: 10.1097/BOT.0000000000000753.
8. Kononovich N.A., Popkov A.V. [Hemodynamics in different muscle groups when treating comminuted fractures of leg bones (an experimental study)]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2015; (5-2):246-250. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6720>. (In Russian).
9. Sadoughi F., Behmanesh A., Najd Mazhar F., Joghataei M.T., Yazdani S., Shams R. et al. Bone Healing Monitoring in Bone Lengthening Using Bioimpedance. *J Healthc Eng.* 2022;2022:3226440. doi: 10.1155/2022/3226440.
10. Glatt V., Evans C.H., Tetsworth K. A Concert between Biology and Biomechanics: The Influence of the Mechanical Environment on Bone Healing. *Front Physiol.* 2017;7:678. doi: 10.3389/fphys.2016.00678.
11. Kononovich N.A., Shastov A.L. Use of impedance plethysmography for assessment of intraosseous hemodynamics in Ilizarov transosseous osteosynthesis. *Biomed Eng.* 2021;55(4):245-249. doi: 10.1007/s10527-021-10111-0.
12. Han S., Proctor A.R., Vella J.B., Benoit D.S., Choe R. Non-invasive diffuse correlation tomography reveals spatial and temporal blood flow differences in murine bone grafting approaches. *Biomed Opt Express.* 2016;7(9):3262-3279. doi: 10.1364/BOE.7.003262.

13. Ren J., Han S., Proctor A.R., Desa D.E., Ramirez G.A., Ching-Roa V.R.D. et al. Longitudinal 3D blood flow distribution provided by diffuse correlation tomography during bone healing in a murine fracture model. *Photochem Photobiol.* 2020;96(2):380-387. doi: 10.1111/php.13201
14. Vatolin K.V., Pykov M.I., Vubornov D.Yu., Gurevich A.I., Sinitsyna N.V. [Possibility of complex ultrasound examination of the long bones fractures in children with normal osteogenesis]. *Vestnik Rossijskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii* [Bulletin of the Russian Scientific Center for Roentgen Radiology]. 2011;(11-2). (In Russian). Available from: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/sinits_v11.htm.
15. Zusko A.V., Sitko L.A., Nikonov V.M., Stepanov M.A., Tishenko A.B. [Ultrasound investigation of children long bone fracture including monitoring of reduction and reparation process]. *Medicinskaya vizualizaciya* [Medical Visualization]. 2012;6:112-119. (In Russian).
16. Shpagina L.A., Karpenko A.G., Kolosov N.G., Shelepova N.V., Firsov S.A. [Microcirculation state in patients with the skeletal injury in dynamic treatment]. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij* [Journal of New Medical Technologies]. 2008;(1):107-110. (In Russian).
17. Shchurov V.A., Macukatov F.A. [Functional state of patients with fractures of the shin bones during treatment using the Matsoukidis-Shevtsov apparatus]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 2013;(2):69-72. (In Russian).
18. Kosimov A.A., Khodzhanov I.Iu., Gorbach E.N., Silanteva T.A., Diuriagina O.V., Borzunov D.Yu. [Morphological features of bone regeneration in simulated refracture of growing long bones]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2019;25(4):555-560. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-555-560.
19. Pliefke J., Rademacher G., Zach A., Bauwens K., Ekkernkamp A., Eisenschenk A. Postoperative monitoring of free vascularized bone grafts in reconstruction of bone defects. *Microsurgery.* 2009;29(5):401-407. doi: 10.1002/micr.20662.
20. Belokrylov N.M., Belokrylov A.N., Mukhamadeev I.S., Denisov A.S., Kiryakov V.N., Gorkovets K.I. [Damage to the major limb vessels with complete disturbance of blood flow in children (results of clinical observations)]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2022;28(1):7-11. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-7-11.
21. Becker R.L., Siamwala J.H., Macias B.R., Hargens A.R. Tibia bone microvascular flow dynamics as compared to anterior tibial artery flow during body tilt. *Aerosp Med Hum Perform.* 2018;89(4):357-364. doi: 10.3357/AMHP.4928.2018.
22. Rodrigues L.M., Rocha C., Ferreira H., Silva H. Different lasers reveal different skin microcirculatory flow motion-data from the wavelet transform analysis of human hindlimb perfusion. *Sci Rep.* 2019;9(1):16951. doi: 10.1038/s41598-019-53213-2.
23. Castaneda D., Esparza A., Ghamari M., Soltanpur C., Nazeran H. A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in healthcare. *Int JBiosens Bioelectron.* 2018;4(4):195-202. doi: 10.15406/ijbsbe.2018.04.00125.
24. Baklanova D.A., Shakirova F.V., Akhtyamov I.F., Klushkina Yu.A. [Arterial hemodynamics in rabbit hind limbs after intramedullary osteosynthesis using implants coated with titanium and hafnium nitrides]. *Veterinarnyj vrach* [Veterinary Surgeon]. 2015;(5):37-40. (In Russian).
25. Melnyk M., Henke T., Claes L., Augat P. Revascularisation during fracture healing with soft tissue injury. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(10):1159-1165. doi: 10.1007/s00402-007-0543-0.
26. Plakhov A.I., Kolesnikova L.I., Korytov L.I., Vinogradov V.G., Darenskaya M.A. [Changes in indicators of microcirculation in the early postoperative period in the treatment of diaphyseal fractures of the shin bones using a plate with limited contact]. *Acta Biomedica Scientifica* 2019;4(3):58-62. (In Russian). doi: 10.29413/ABS.2019-4.3.8.
27. Rakhmatulina A.A., Luneva S.N., Nakoskina N.V., Kliushin N.M., Lyulin S.V., Dolganova T.I. et al. [The serum vascular endothelial growth factor levels in patients with high-energy trauma complicated with infection]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2021;27(3):325-330. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-325-330.
28. Pisarev V.V., L'vov S.E., Vasin I.V., Tikhomolova E.V. [Regional hemodynamics in different types of surgical treatment of diaphyseal fractures of the shin bone]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics in Russia]. 2012;(1):36-42. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2012-0-1-36-43.
29. Kalbas Y., Qiao Z., Horst K., Teuben M., Tolba R.H., Hildebrand F. et al. Early local microcirculation is improved after intramedullary nailing in comparison to external fixation in a porcine model with a femur fracture. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018;44(5):689-696. doi: 10.1007/s00068-018-0991-y.

Authors' information

✉ *Natalia A. Kononovich*— Cand. Sci. (Vet.)

Address: 6, M. Ulyanova str., Kurgan, 640014, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5990-8908>

e-mail: n.a.kononovich@mail.ru

Azam A. Kosimov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9253-2597>

e-mail: azamrefracture@mail.ru

Iskandar Yu. Khodzhanov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9420-3623>

e-mail: prof.Khodjanov@mail.ru



К вопросу о репаративной регенерации у детей

Редакционный комментарий к статье А.А. Косимова с соавторами
«Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного перелома длинных костей: эксперимент *in vivo*»


<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1976>


А.М. Мироманов

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Чита, Россия

В комментарии затрагивается трактовка термина «рефрактура» и обсуждаются гемодинамические особенности в области формирующегося сращения при первичном и повторном переломах у детей. В частности, не только рассматривается роль методов исследования кровообращения в диагностике нарушений репаративных процессов, но и акцентируется внимание на риске осложнений при консервативном и оперативном лечении переломов длинных костей конечностей у детей. Подчеркивается, что для минимизации рисков развития рефрактур необходимо учитывать индивидуальные особенности пациента детского возраста, способ фиксации перелома, реабилитацию и диспансерное наблюдение. В комментарии представлен краткий обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов по этой проблеме.

Ключевые слова: перелом, рефрактура, гемодинамика, термометрия, регенерация костной ткани, дети.

 Мироманов А.М. К вопросу о репаративной регенерации у детей. Редакционный комментарий к статье А.А. Косимова с соавторами «Гемодинамика и температура тканей в области сращения первичного и повторного перелома длинных костей: эксперимент *in vivo*». *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):170-174. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2034>.

 Мироманов Александр Михайлович; e-mail: miromanov_a@mail.ru

Рукопись получена: 09.12.2022. Статья опубликована: 16.12.2022.

© Мироманов А.М., 2022



To the Question of Reparative Regeneration in Children

Editorial Comment on the Article by A.A. Kosimov et al.

“Hemodynamics and Tissue Temperature in Bone Union Area of Long Bones Primary Fractures and Refractures: in vivo Experiment”

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1976>

Aleksandr M. Miromanov

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

The commentary touches upon the interpretation of the term “refracture” and discusses the hemodynamic features in the area of the emerging fusion in primary and repeated fractures in children. In particular, not only the role of methods for studying blood circulation in the diagnosis of disorders of reparative processes is considered, but attention is also focused on the risk of complications in the conservative and surgical treatment of fractures of the long bones of the extremities in children. It is emphasized that in order to minimize the risks of refractory development, it is necessary to take into account the individual characteristics of a pediatric patient, the method of fixing a fracture, rehabilitation and dispensary observation. The commentary provides a brief overview of publications by domestic and foreign authors on this problem.

Keywords: fracture, refracture, hemodynamics, thermometry, bone tissue regeneration, children.

Cite as: Miromanov A.M. [To the Question of Reparative Regeneration in Children. Editorial Comment on the Article by A.A. Kosimov et al. “Hemodynamics and Tissue Temperature in Bone Union Area of Long Bones Primary Fractures and Refractures: in vivo Experiment”]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):170-174. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2034>.

✉ Aleksandr M. Miromanov; e-mail: miromanov_a@mail.ru

Submitted: 09.12. 2022. Published: 16.12.2022.

© Miromanov A.M., 2022

Актуальность данной работы не вызывает сомнений ввиду увеличения как частоты переломов длинных костей конечностей у детей, так и различных осложнений при их лечении [1, 2, 3, 4, 5]. Одним из осложнений переломов длинных сегментов конечностей у детей, в том числе и после хирургического лечения, является рефрактура.

К сожалению, на сегодняшний день отсутствует общепризнанное толкование термина «рефрактура». Еще в 1987 г. D. Grob и F. Magerl охарактеризовали данное повреждение как фокальное (совпадающее с первым переломом по плоскости) и парафокальное (в зоне патологической перестройки кости) [6]. S.B. Kessler и L. Schweiberer считают, что данный диагноз правомочно выставлять только при соблюдении всех следующих условий:

- перед первым переломом кость была здорова;
- второй перелом наступил только после сращения первого;
- если первый перелом лечился оперативно, фиксатор удален прежде чем произошел второй перелом;
- второй перелом наступил в месте локализации первого без адекватной травмы [7].

Учитывая продолжающиеся дискуссии о термине «рефрактура» до настоящего времени, можно говорить о неоднозначности трактовки специалистами данного осложнения в практической деятельности. Частота рефрактур, о которых сообщается в литературе, составляет примерно 5% [3]. Установлено, что при раннем удалении металлоконструкций, открытых переломах и/или открытых вправлениях, частота рефрактур может увеличиваться до 9% [3, 8]. Однако, несмотря на множественные медицинские технологии, применяемые при данной патологии, вопрос полного и быстрого восстановления костной ткани на сегодня остается открытым из-за сохраняющихся осложнений. Процесс выявления (прогнозирования, диагностики) осложнений на этапе их доклинического развития также не решен до настоящего времени.

Ревозографическому методу оценки кровообращения сегментов конечностей, применяемому при исследовании репаративной регенерации длинных сегментов конечностей, в том числе и *in vivo*, посвящено значительное количество публикаций как отечественных [9, 10, 11, 12], так и зарубежных [1, 2, 3, 4, 5].

Так какую же роль в диагностике нарушений репаративных процессов у детей имеет метод ревозографии и термометрии? Несомненно, данная методика позволяет оценить кровообращение конечности. Однако хотелось бы акцентировать внимание на том, что у детей имеются прекрасные адаптивные возможности организма и, как показа-

но в многочисленных исследованиях, большинство педиатрических пациентов с переломами длинных костей конечностей имеют отличные конечные результаты лечения и возвращаются к полноценной деятельности [5]. В диссертационном исследовании Е.А. Захарьян (Комплексное лечение деформаций нижней конечности у детей с врожденным ложным суставом костей голени, 2017) доказано, что у ранее оперированных детей с врожденным ложным суставом костей голени (ВЛСКГ) даже на фоне нейрофиброматоза и миелодисплазии, в исследуемых сегментах не выявлено статистически значимых отклонений ревозографических показателей как от расчетных нормативов, так и от соответствующих показателей контралатеральных сегментов нижних конечностей. Периферическая гемодинамика была стабильной, капиллярный кровоток не затруднен, венозный отток не замедлен, что указывает на хорошую адаптацию опорно-двигательной и центральной нервной систем ребенка после восстановления опороспособности оперированной конечности. Изменения регистрировались только на фоне фиброзной дисплазии. У пациентов с консолидированным ВЛСКГ на фоне фиброзной дисплазии сохранялись нарушения кровоснабжения всей пораженной нижней конечности, которые характеризовались пониженной микроциркуляцией пораженной голени, однако они были компенсированными, что свидетельствует о перспективности выполнения оперативных вмешательств, направленных на коррекцию деформаций и удлинение пораженной нижней конечности. Автором доказано, что предупреждение развития таких осложнений, как несращения и повторные рефрактуры, зависит от индивидуально подобранного, своевременно выполненного оперативного лечения и диспансерного наблюдения. Аналогичные данные получены и авторами других работ. Таким образом, говорить о важном влиянии нарушения процессов кровоснабжения при переломах у детей можно только при наличии тяжелой сопутствующей патологии и/или грозных осложнений, например при сочетанной высокоэнергетической травме, компартмент-синдроме, ожирении и пр., что закономерно [1, 2, 5].

Так каков риск осложнений при консервативном и оперативном лечении переломов длинных костей у детей? Заживают ли переломы с внутренней фиксацией быстрее, чем переломы, леченные иммобилизацией? Показано, что внутренняя фиксация переломов диафиза большеберцовой кости со смещением у детей стала более популярной, чем раньше. В исследованиях, проведенных с 1970-х по 2000-е гг., все закрытые переломы лечили гипсовой иммобилизацией, тогда как в недавних публикациях частота хирургического лечения колеблется от 29 до 100% [4]. Так, А. Egger с соавторами

в 2020 г. показали, что результаты после установки гибких стержней при переломах большеберцовой кости у детей превосходны, а для предупреждения осложнений необходимо строго соблюдать технологию установления данных стержней [2].

В исследовании J.E. Martus отмечено, что большинство переломов диафиза большеберцовой кости у подростков можно успешно лечить с помощью закрытой репозиции и иммобилизации гипсовой повязкой, однако этот метод требует рентгенологического наблюдения для исключения потери репозиции в течение первых 3 нед. Смена гипса или переход на оперативное лечение может потребоваться в 25–40% случаев [1]. Факторы риска неэффективного консервативного лечения не всегда понятны. Обнаружено, что ассоциированный перелом малоберцовой кости и начальное смещение перелома более чем на 20% представляют собой независимые факторы риска для оперативного лечения, в то время как в других работах высказано предположение, что интактная малоберцовая кость может привести к варусной деформации и, соответственно, к оперативному лечению [3].

Нестабильные переломы, не поддающиеся лечению гипсовой повязкой, следует лечить оперативно. Гибкий интрамедуллярный стержень, жесткий интрамедуллярный стержень, пластинчатый и винтовой остеосинтез и внешняя фиксация являются приемлемыми вариантами лечения, которые могут быть рассмотрены для отдельного пациента в зависимости от клинического сценария. Введение гибких стержней обеспечивает

относительную стабильность перелома, не травмируя при этом зоны роста, а дополнительная послеоперационная иммобилизация позволяет осуществлять раннюю нагрузку, что дает положительный эффект [1]. Схожие результаты получены и в работе A.I. Cruz Jr. с соавторами [5].

К сожалению, в настоящее время нет однозначного ответа на вопрос о воздействии оперативного или консервативного метода на процессы репаративной регенерации. При этом у детей младшего возраста (младше 10 лет), как правило, происходит более быстрое сращение переломов независимо от метода лечения. Это свидетельствует о том, что при лечении переломов целесообразно различать детей младшего и старшего возраста, а возраст 10 лет можно рассматривать как пороговое значение [3].

Таким образом, при исследовании репаративной регенерации при «простых» переломах длинных костей конечностей и возможных причин несращения, а также при повторных переломах необходимо акцентировать внимание на индивидуальных особенностях пациента детского возраста, способах лечения, реабилитации и диспансерном наблюдении. Тем не менее, учитывая стремительное развитие медицинской техники и увеличивающуюся нагрузку на врачей травматологов-ортопедов, применение портативных аппаратов (карманных) с возможностью быстрого и качественного вывода заключения о кровоснабжении поврежденного сегмента и возможном исходе репаративного процесса может стать привлекательным диагностическим методом в практической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Martus J.E. Operative Fixation Versus Cast Immobilization: Tibial Shaft Fractures in Adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2021;41(Suppl 1):S33-S38. doi: 10.1097/BPO.0000000000001806.
- Egger A., Murphy J., Johnson M., Hosseinzadeh P., Louer C. Elastic Stable Intramedullary Nailing of Pediatric Tibial Fractures. *JBJS Essent Surg Tech.* 2020;10(4):e19.00063. doi: 10.2106/JBJS.ST.19.00063.
- Poutoglidou F., Metaxiotis D., Kazas C., Alvanos D., Mpeletsiotis A. Flexible intramedullary nailing in the treatment of forearm fractures in children and adolescents, a systematic review. *J Orthop.* 2020;14(20):125-130. doi: 10.1016/j.jor.2020.01.002.
- Stenroos A., Puhakka J., Nietosvaara Y., Kosola J. Treatment of Closed Tibia Shaft Fractures in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Eur J Pediatr Surg.* 2020;30(6):483-489. doi: 10.1055/s-0039-1693991.
- Cruz A.I. Jr., Raducha J.E., Swarup I., Schachne J.M., Fabricant P.D. Evidence-based update on the surgical treatment of pediatric tibial shaft fractures. *Curr Opin Pediatr.* 2019;31(1):92-102. doi: 10.1097/MOP.0000000000000704.
- Grob D., Magerl F. Refractures. *Unfallchirurg.* 1987;90(2):51-58.
- Kessler S.B., Schweiberer L. Refrakturen nach operativer Frakturenbehandlung. Berlin: Springer-Verlag; 1988. 73 p.
- Lyman A., Wenger D., Landin L. Pediatric diaphyseal forearm fractures: epidemiology and treatment in an urban population during a 10-year period, with special attention to titanium elastic nailing and its complications. *J Pediatr Orthop B.* 2016;25(5):439-446. doi: 10.1097/BPB.0000000000000278.
- Барабаш Ю.А., Мандров Д.В., Балаян В.Д. Комплексная сравнительная оценка результатов хирургического лечения нестабильных переломов дистального отдела голени. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2019;15(1):48-52. Barabash Yu.A., Mandrov D.V., Balayan V.D. [Comprehensive comparative evaluation of results of surgical management of unstable distal tibia fractures]. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal [Saratov Journal of Medical Scientific Research]*. 2019;15(1):48-52. (In Russian).
- Васютина М.Л., Печникова Н.А., Торопова Я.Г. Методы визуализации и анализа состояния микроциркуляторного русла в ветеринарной и экспериментальной практике. *Лабораторные животные для научных исследований.* 2019;(2):1-18. doi: 10.29296/2618723X-2019-02-07.

- Vasutina M., Pechnikova N., Toropova Ya. [Methods of Visualization and Analysis of The Microcirculatory State in Veterinary and Experimental Practices]. *Laboratornye zhivotnye dlya nauchnyh issledovaniy* [Laboratory Animals for Science]. 2019;(2):1-18. doi: 10.29296/2618723X-2019-02-07. (In Russian).
11. Поздеев А.П., Захарьян Е.А., Зубаиров Т.Ф., Никитюк И.Е. Функциональное состояние периферического кровотока и нервно-мышечной системы нижних конечностей у пациентов с врожденным ложным суставом костей голени после устранения псевдоартроза. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2015;3(4): 6-11. doi: 10.17816/PTORS346-11. Pozdeev A.P., Zakharyan E.A., Zubairov T.F., Nikityuk I.E. [Functional status of peripheral blood flow and neuromuscular system of the lower extremities after surgical treatment of congenital false joint of the lower leg]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya hirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics, and Reconstructive Surgery]. 2015;3(4): 6-11. doi: 10.17816/PTORS346-11. (In Russian).
12. Пусева М.Э., Кинаш И.Н., Верхозина Т.К. Динамика показателей регионарного кровотока у больных с переломом диафиза лучевой кости при чрескостном остеосинтезе. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2015;(6):91-94. Puseva M.E., Kinash I.N., Verkhozina T.K. [Dynamics of regional blood flow parameters in patients with fracture of radial shaft in transosseous osteosynthesis]. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)* [South Ural State Medical University]. 2015;(6):91-94. (In Russian).

Сведения об авторе

✉ Миromanов Александр Михайлович — д-р мед. наук, профессор
 Адрес: Россия, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39 «а»
<https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>
 e-mail: miromanov_a@mail.ru

Author's information

✉ Aleksandr M. Miromanov — Dr. Sci. (Med.), Professor
 Address: 39 a, Chita, Gor'kogo st., 672000, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>
 e-mail: miromanov_a@mail.ru



Economics of Total Hip Arthroplasty: Review

Andrei P. Sereda^{1,2}, Igor I. Shubnyakov¹, Alisagib A. Dzhavadov¹, Malik V. Mametov³, Rashid M. Tikhilov¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

³ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

This review article focuses on issues of economic analysis in providing care to patients requiring total hip arthroplasty. A large number of factors affecting the final financial result force us to look at economic research in the field of arthroplasty with a certain degree of criticality. At the same time, the existing financing systems cannot fully take into account all the possible costs arising from total hip arthroplasty. For this reason, studies concerning revision total hip arthroplasty are of particular interest, where treatment costs can vary significantly depending on the etiology and complexity of the case. These differences are reflected in the works of authors from France, Germany and Great Britain, who compared the treatment costs of patients with septic and aseptic revisions. Very different data both between countries and within the same country well demonstrate the need for a critical approach to the results of cost-effectiveness studies, QALYs based on Markov and other models, as the quality of the original data can be highly variable and reproduce the error of the initially incorrect price structure. At the same time, the rapidly increasing number of operations of primary and revision hip arthroplasty and, accordingly, the increasing economic costs of these operations require clear and effective economic criteria for their evaluation. The formation and application of these criteria will be the purpose of further research.

Keywords: total hip arthroplasty, revision total hip arthroplasty, economic analysis.

Cite as: Sereda A.P., Shubnyakov I.I., Dzhavadov A.A., Mametov M.V., Tikhilov R.M. [Economics of Total Hip Arthroplasty: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):175-182. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1778>.

✉ *Andrei P. Sereda*; e-mail: drsereda@gmail.com

Submitted: 03.05.2022. Accepted: 29.07.2022. Published Online: 18.10.2022.

© Sereda A.P., Shubnyakov I.I., Dzhavadov A.A., Mametov M.V., Tikhilov R.M., 2022



Обзорная статья
УДК 616.728.2-089.844-089.193.4:336.5
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1778>

Экономика эндопротезирования тазобедренного сустава: обзор литературы

А.П. Середа^{1,2}, И.И. Шубняков¹, А.А. Джавадов¹, М.В. Маметов³, Р.М. Тихилов¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова», г. Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена вопросам экономического анализа при оказании помощи пациентам, нуждающимся в эндопротезировании тазобедренного сустава. Большое количество факторов, влияющих на конечный финансовый результат, заставляют смотреть на экономические исследования в области эндопротезирования с некоторой долей критичности. При этом существующие системы финансирования не могут в полной мере учесть все возможные затраты, возникающие при эндопротезировании тазобедренного сустава. По этой причине особый интерес представляют исследования, касающиеся ревизионной артропластики тазобедренного сустава, при выполнении которой затраты на лечение могут значительно различаться в зависимости от этиологии и сложности случая. Данные различия отражены в работах авторов из Франции, Германии и Великобритании, которые сравнивали затраты на лечение пациентов с септическими и асептическими ревизиями. Весьма различающиеся данные как между странами, так и внутри одной страны хорошо демонстрируют необходимость критического подхода к результатам исследований соотношения затраты-эффективность, QALY на основе Марковских и других моделей, так как качество исходных данных может быть весьма вариабельным и репродуцировать ошибку изначально некорректной структуры цены. В то же время стремительно увеличивающееся число операций первичного и ревизионного эндопротезирования суставов и, соответственно, увеличение экономических затрат на их проведение требуют четких и точных экономических критериев оценки. Формирование и применение данных критериев и будет являться целью дальнейших исследований.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, ревизионное эндопротезирование, экономический анализ.

Середа А.П., Шубняков И.И., Джавадов А.А., Маметов М.В., Тихилов Р.М. Экономика эндопротезирования тазобедренного сустава: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):175-182. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1778>.

Середа Андрей Петрович; e-mail: drsereda@gmail.com

Рукопись получена: 03.05.2022. Рукопись одобрена: 29.07.2022. Статья опубликована онлайн: 18.10.2022.

© Середа А.П., Шубняков И.И., Джавадов А.А., Маметов М.В., Тихилов Р.М., 2022

GENERAL ECONOMIC ISSUES

The issue of economics and financing of arthroplasty, of course, is very, if not vital, important for the hospital and the healthcare system as a whole. On the other hand, the more we deal with the issue of economics, the more noticeable the gap between the quality of research in the field of arthroplasty itself and its economics becomes. It would seem that economic research should be simpler and stricter, and, accordingly, give more unambiguous results, but in fact, the number of confounder (distorting) factors in economic research is so large that it is more reasonable to see the presence of overdue accounts payable of the hospital as a whole as a final criterion than the compliance of the tariff with the treatment financing cost of one case with real financial costs per patient.

The sources of this gap are many factors, and the most significant of them is CAPEX, i.e. capital expenditure for the acquisition of non-current (with a validity period of more than 1 year) assets, as well as for their modernization. Yes, the structure of the tariff of high-tech medical care in the Russian Federation provides for the costs of purchasing equipment (fixed assets), but does not provide for the costs of capital repairs, construction, which, as a rule, are subsidized. A lot of equipment is purchased at the expense of other sources of financing, there are indivisible common overhead costs (taxes, electricity, communications, etc.), which can be very high and can also be subsidized, preferential (some medical organizations in our country are exempt from land tax, but many are not) or be provided with mixed sources of financing.

The doctor treats the patient directly, and it is difficult to underestimate the importance of his salary. But the salaries of doctors and nurses are not always generated solely from financing for the case of treatment: there are, for example, mechanisms such as a subsidy for the payment of wages to achieve the targets of average wages.

After all, there are specialized and multidisciplinary hospitals in which high overhead costs and sometimes even direct costs in the treatment of "unprofitable" complex and high-cost patients/nosologies can be diversified and "transferred" to more economically "profitable" patients of other clinical profiles (therapy, surgery, ENT, etc.).

The number of these confounders is so large that, again, the real endpoint, perhaps, will be the financial viability (overdue accounts payable) of the hospital as a whole. Of course, such a guideline is fraught with a trend towards avoiding "expensive" patients: that is why there is a very high risk of stagnation and primitivization of the clinical development of the hospital if economists or managers get a dominant role in administration. In the end, such stagnation leads to professional degradation of medical personnel, increased risks, complications and a paradoxical increase in the cost of treating these complications, contrary to the initial goal of "saving".

The situation of a very approximate calculation of the treatment cost is typical not only for our country, otherwise we would not have seen numerous reports in the news feeds about the crisis of financing the health care system in many countries.

Nevertheless, the financing of a specific case of a patient's treatment can go according to two basic schemes. The first is the average rate of one case within the model or statistical group. The advantage of this approach is a simpler reporting system, the treatment of an "expensive" patient is compensated by more "cheap" ones within the same tariff. However, the more complex patients the hospital takes on, the greater the deviation from the average. For example, at the RSRI of TO named after R.R. Vreden in 2021. according to various sources of funding (not only under the high-tech medical care program) revision arthroplasty surgeries were performed. The spread of direct medical costs (excluding CAPEX, overhead costs, part of direct OPEX (operating expenses for the possibility of providing services), wages, household expenses for accommodation, patient meals, etc.) ranged from ₺5.307.82 to ₺5.590.042.27, i.e. the cheapest revision differed from the most expensive by more than a hundred times!

The fundamental disadvantage of such pricing is retrospectivity, which means the formation of an average tariff based on previously treated "similar" patients [1] with the corresponding risk of lagging behind the real market situation and changing clinical recommendations. In our country, there is the following system of cost justification: clinical approbation — high-tech medical care (HMC) — medical and economic standards (MES) — mandatory health insurance (MHI) through MES or

clinical recommendation — MES — MHI tariff. It would seem that such a system should avoid this retrospectivity, but the duration of the journey from the first link to the final one is years, and still we have the risk of lagging tariffs.

The second basic scheme of financing is the reimbursement of real costs in a single case. In our country, such a scheme is slightly more developed in the case of fee-paying surgery, but the tariff for a particular medical service in the price list is also based on average indicators, which, with a detailed analysis of the passport of the service cost, can be very inaccurate.

In the countries of the European Union, a few years ago, a system of reimbursement at actual cost was introduced — the so-called “lump sum reimbursements”, which actually led to an increase in financial pressure on hospitals as a whole [2]. Initially, the good idea of “how much we spent — so much we will pay” in practice only leads to an aggravation of the conflict between economists and doctors, since this principle invariably entails the need to justify the tariff structure of a particular service with a corresponding catastrophic increase in reporting. It should be stated that the further, the more in its development Russia follows the path of European countries with the repetition of similar mistakes and the generation of similar bureaucratic entities that do not affect the result. For example, R. Fernández-Fernández et al., note that with the introduction of the “lump sum reimbursements” system, the number of hospital controllers that calculate the cost of surgery, care, diagnostics has increased [2]. At the same time, in fact, the principle of “how much we spent, so much we will pay for it” does not always work to its final slogan: if the patient's treatment turned out to be cheaper than average, then the hospital becomes more marginal, and if it is more expensive, then often such a patient remains unprofitable for the hospital without appropriate compensation [3].

A similar financial pressure exists in “budget financing” countries, that is, without a one-time cost recovery system: in these countries, hospitals usually annually coordinate their budgets with a higher health authority and a certain number of patients or procedures for treatment within this budget and period [4, 5]. At the same time, subsidies are possible to ensure the financial stability of the institution both from the government, the health management authority,

local municipalities or even political parties that increase the loyalty of the electorate [6].

All these numerous confounder factors make us look at economic research in the field of arthroplasty with a certain degree of criticality, but nevertheless, of course, we will focus on some of them.

In general, primary arthroplasty is economically advantageous for most hospitals, which is confirmed by a kind of “hunt” of hospital marketing services for such patients [3, 5, 7].

The economic feasibility of organizing an arthroplasty center, however, should be evaluated in the context of the total number of operations: taking into account the risk of periprosthetic joint infection (PJI) and other reasons for revision [8, 9], according to probability theory, several “expensive” patients may appear in a hospital performing a small number of operations, which will either destroy the hospital's economy, or they will force the doctor to send the patient to a larger institution. The latter tactic is often found in our country, which was demonstrated by a high proportion of revisions regarding the PJI in the local register [10]. The concentration of patients with PJI in a specialized place, for example, in a federal center for the treatment of PJI, will require a revision of tariffs, since the principle of compensating an “expensive” patient with a “cheap” one will no longer be possible.

In systems where the hospital performs all the revisions after its primary operations in a sufficiently large number, the economy is balanced due to the generally low proportion of these complications [6].

The system of the average tariff already mentioned above within the framework of the basic or superbasic program of high-tech care or the MHI tariff within the statistical group (SG) echoes the European system of grouped diagnoses (diagnosis-related groups — DRG), in which patients of similar severity and diagnosis are grouped within approximately similar filling expenditures and costs [4]. For most cases, the SG/DRG principle works well, but the desire to revise these groups has the risk of overdetailed with corresponding bureaucratic risks.

In the vast majority of cases, publications report higher costs for the treatment of patients with PJI, which creates the temptation to allocate additional more detailed funding groups. In our opinion, despite the well-known disadvantages

of "expensive" patients unprofitability in terms of SG/DRG financing [11], the desire of some authors to over-detail groups [8, 9] should be treated very carefully.

For example, in European countries, as well as in our country, aseptic and septic revisions are combined within one DRG. The cost of aseptic revision, as well as septic, can be very different. According to our data, the differences can exceed a hundred times, and the end point is the financial stability of the hospital as a whole.

**ECONOMICS OF REVISION
TOTAL HIP ARTHROPLASTY**

In the case of primary arthroplasty, the cost of expenditures is mainly due to the costs of the operating room itself, implants, consumables, and is quite static [12]. But in the case of the development of concomitant pathological conditions and PJI, the cost structure changes significantly [13].

Among the publications on the economics of revision arthroplasty, most of them focus on PJI in comparison with aseptic revisions, therefore, the purpose of this review was to describe the economic support of revision arthroplasty surgery in the format of comparing the cost of aseptic and septic revisions.

Sufficiently detailed data on the expenditures structure of patients with PJI treatment in France, Germany and the UK have been published [7, 14, 15, 16].

France

In France, the average cost of treating a patient with PJI after total hip arthroplasty is €23.757, and aseptic revision is €12.049. The maximum expenditures recovery in this case is €14.062 for aseptic revision and €15.081 for PJI [15]. Thus, the average patient with aseptic revision is beneficial for the hospital's economy, and the average patient with PJI is unprofitable.

The most significant component in the structure of expenditures for patient with PJI treatment in France is staff costs, which are directly related to the duration of inpatient treatment [15]. Other important aspects of expenditures are the costs of surgery, medical supplies, and general expenses for non-medical services. It is noteworthy that the expenditures of implants and surgery are lower in septic revision than in aseptic revision, while all other areas of expenditures increase significantly in the treatment of PJI (Tab. 1).

Germany

The economics of revision arthroplasty in Germany is described in three publications. G. Assmann et al. report expenditures of \$14.379 for septic revision and \$5.487 for aseptic revision [17]. M. Haenle et al. estimate the expenditures of septic revision at €29.322 [7, 14], and E. Lieb et al. report expenditures of €220.166 for septic revision [11] (Tab. 2).

Table 1

The structure of revisions and PJI treatment expenditures in France [17]

Expenditures	Aseptic revisions	Septic revisions	Expenditures difference, %
Staff	€2 210	€9 948	+450.1
Consumables	€146	€2 742	+1878.1
Endoprosthesis	€2 047	€1 862	-9.0
Indirect depreciation	€23	€39	+169.6
Operating room + anesthesia	€3 079	€2 900	-5.8
Physical therapy	€244	€388	+159.0
Diagnostics (radiology, laboratory)	€404	€1 019	+252.2
Drugs	€245	€706	+288.2
General expenses	€850	€3 594	+422.8

Table 2

Expenditures and tariffs for revisions in Germany

Expenditures and compensations	Aseptic revision [19]	Septic revision [19]	Septic revision [7]	Septic revision [13]
Average expenditures	\$5 487	\$14 379	€29 322	€20 166
Average tariff (compensation)	–	–	€16 645	€21 580
Reimbursement of expenditures with compensation, %	–	–	56.7	107.0

It can be noted that the cost of expenditures in Germany is not only very different from the costs in France, but these expenditures differ from each other.

G. Assmann et al. used the analysis of fixed and variable expenditures obtained through the hospital's business administration [17]. M. Haenel et al. [7, 14] used bottom-up expenditures analysis, and E. Lieb et al. [11] used matrix calculation.

The United Kingdom

I.S. Vanhegan et al. report that the average cost of a septic revision is £21.937, and an aseptic revision is £11.897 (Tab. 3) [16]. The calculation of expenditures recovery for hospitals in the UK is more complicated than in the countries of the European

Union, and includes a combination of a tariff for treatment and additional funding, which is somewhat analogous to subsidized financing in our country. The compensation is fixed and the same for both septic and aseptic revisions and amounts to £8.152, respectively, both types of revisions are unprofitable for the hospital. After additional funding, septic revisions still remain unprofitable for the hospital, but in a smaller amount — the loss is reduced to £860 per case [16].

Drug expenditures make the highest contribution to the relative structural increase in the cost of septic revision compared to aseptic (427%). This is followed by diagnostic expenses (288.9%), other expenses (197.6%) and hospital stay expenses (184.4%) Tab. 4).

Table 3

Expenditures and tariffs for revisions in the United Kingdom [18]

Expenditures and compensations	Aseptic revision	Septic revision	Difference, %
Average expenditures	£11 897	£21 937	+184.4
Maximum compensation	£8 152	£8 152	+0
Reimbursement of expenditures with maximum compensation, %	68.5	37.1	-31.4

Table 4

The structure of revisions expenditures in the United Kingdom [18]

Expenditures	Aseptic revisions	Septic revisions	Difference, %
Inpatient accomodation	£3 688	£6 800	+184.4
Diagnostics	£342	£988	+288.9
Drugs	£200	£854	+427.0
Implants	£2 298	£3 345	+145.6
Operating room	£1 216	£1 744	+143.4
Other costs	£4 153	£8 206	+197.6

THE MAIN FACTORS THAT INCREASE THE COST OF TREATMENT

One of the most significant contributions to the increase in the cost of treatment of a patient with PJI in comparison with aseptic revision is the cost of antibiotic therapy [7, 15]. The cost of antibiotics can be different and is determined by the pathogen, their association, resistance. S. Klouche et al. report a range of the antibiotic therapy cost from €77 to €336 [15].

In the case of a difficult-to-treat (DTT) infection, the costs may be even higher. According to the data of the RSRI of TO named after R.R. Vreden, which has a specialized department for the treatment of PJI, where patients from all over the country are treated, the maximum non-surgical costs, including medicines in the case of DTT infection, in 2021 reached ₺551.442.27 in one patient. In another 141 patients with PJI treated in 2021, non-surgical expenses exceeded the outlined S. Klouche et al. of €336 maximum [15] (₺28.244 at the exchange rate of the Central Bank of the Russian Federation on December 31, 2021) and averaged

₺61.683.84 (i.e. €734 at the exchange rate of the Central Bank of the Russian Federation as of December 31, 2021). Probably, such a significant increase in the cost of treatment at the RSRI of TO named after R.R. Vreden in comparison with French clinics is due to more complex cases, a greater proportion of patients with chronic and DTT infection, which is due to suboptimal routing.

According to M. Haenle et al., the cost of antibiotics varies from €5 for primary arthroplasty to €600 for PJI [7], which, however, is still less than similar costs in the RSRI of TO named after R.R. Vreden.

The analysis of the antibiotic therapy costs performed by R. Fernández-Fernández et al. shows a spread from €184 in the case of ciprofloxacin therapy of fluoroquinolone-sensitive strains of Enterobacteriaceae to €13.167 in the case of daptomycin therapy of penicillin-resistant Enterococcus spp. [2].

A special area of expenditure is resuscitation/intensive care. The day cost of treatment in the intensive care unit reaches €2.000 in the case of PJI [18] and in total it can reach €5.395 in the treatment of PJI [7, 14]. In 2021, the maximum expenses for a patient with PJI in the intensive care unit reached ₺321.687.64 (€3.826 at the rate of the Central Bank of the Russian Federation on December 31, 2021).

In any case, a patient with PJI requires additional expenses for laboratory diagnostics, radiological methods of diagnostics, perioperative management, long-term stay, etc. [7, 14, 15, 16, 18].

Very different data both between countries and within one country well demonstrate the need for a critical approach to the results of cost-effectiveness, QALY studies based on Markov and other models, since the quality of the initial data can be very variable and reproduce the error of an initially incorrect price structure. At the same time, the rapidly increasing number of primary and revision arthroplasties and, accordingly, the increase in the economic costs of these types of surgery requires clear and effective economic criteria for their evaluation, which will be the goal of further research.

DISCLAIMERS

Author contribution

Sereda A.P. — collection and processing of material, writing the draft.

Shubnyakov I.I. — text editing.

Dzhavadov A.A. — writing the draft.

Mametov M.V. — collection and processing of material.

Tikhilov R.M. — text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Dittmann H. [Analysis of the conceptual structure of the DRG payments from a cost-accounting point of view]. *Gesundheitsökonomie Qualitätsmanagement*. 2016;21(03):150-157. (In German). doi: 10.1055/s-0035-1553731.
2. Fernández-Fernández R., Cruz-Pardos A., García-Rey E. Revision Total Hip Arthroplasty: Epidemiology and Causes. In: Rodríguez-Merchán, E. (eds.) *Revision Total Joint Arthroplasty*. Springer, Cham; 2020. p. 43-57. doi: 10.1007/978-3-030-24773-7_4.

3. Hanstein T., Kumpe O., Mittelmeier W., Skripitz R. [Hybrid and uncemented hip arthroplasty: Contribution margin in the German lump sum reimbursement system]. *Orthopade*. 2015;44(8):617-622. (In German). doi: 10.1007/s00132-015-3139-3.
4. Diagnosis-related Groups in Europe: Moving towards transparency, efficiency and quality in hospitals (European Observatory on Health Systems and Policies Series). Quentin W., Busse R., Geissler A. (eds.). McGraw-Hill; 2011. Ch. 2, 8. p. 9-21; 37-58.
5. Stargardt T. Health service costs in Europe: cost and reimbursement of primary hip replacement in nine countries. *Health Econ*. 2008;17(1 Suppl):S9-20. doi: 10.1002/hec.1328.
6. Sereda A.P., Bogdan V.N., Andrianova M.A., Berenstein M. [Treatment of Periprosthetic Infection: Where and Who?] *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;(4):33-55. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-33-55.
7. Haenle M., Skripitz C., Mittelmeier W., Skripitz R. [Economic impact of infected total hip arthroplasty in the German diagnosis-related groups system]. *Orthopade*. 2012;41(6):467-476. (In German). doi: 10.1007/s00132-012-1939-2.
8. Bozic K.J., Kurtz S.M., Lau E., Ong K., Chiu V., Vail T.P. et al. The epidemiology of revision total knee arthroplasty in the United States. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(1):45-51. doi: 10.1007/s11999-009-0945-0.
9. Bozic K.J., Kurtz S.M., Lau E., Ong K., Vail T.P., Berry D.J. The epidemiology of revision total hip arthroplasty in the United States. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(1):128-133. doi: 10.2106/JBJS.H.00155.
10. Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliyev A.G., Veber E.V. et al. [The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(3):119-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142.
11. Lieb E., Hanstein T., Schuerings M., Trampuz A., Perka C. [Reduction of Treatment Duration in Periprosthetic Infection with a Fast-Track Concept Is Economically Not Feasible]. *Z Orthop Unfall*. 2015;153(6):618-623. (In German). doi: 10.1055/s-0035-1557858.
12. Maradit Kremers H., Visscher S.L., Moriarty J.P., Reinalda M.S., Kremers W.K., Naessens J.M. et al. Determinants of direct medical costs in primary and revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(1):206-214. doi: 10.1007/s11999-012-2508-z.
13. Fisman D.N., Reilly D.T., Karchmer A.W., Goldie S.J. Clinical effectiveness and cost-effectiveness of 2 management strategies for infected total hip arthroplasty in the elderly. *Clin Infect Dis*. 2001;32(3):419-430. doi: 10.1086/318502.
14. Haenle M., Skripitz C., Mittelmeier W., Skripitz R. Economic impact of infected total knee arthroplasty. *ScientificWorldJournal*. 2012;2012:196515. doi: 10.1100/2012/196515.
15. Klouche S., Sariali E., Mamoudy P. Total hip arthroplasty revision due to infection: a cost analysis approach. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010;96(2):124-132. doi: 10.1016/j.rcot.2010.02.005.
16. Vanhegan I.S., Malik A.K., Jayakumar P., Ul Islam S., Haddad F.S. A financial analysis of revision hip arthroplasty: the economic burden in relation to the national tariff. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(5):619-623. doi: 10.1302/0301-620X.94B5.27073.
17. Assmann G., Kasch R., Maher C.G., Hofer A., Barz T., Merk H. et al. Comparison of health care costs between aseptic and two stage septic hip revision. *J Arthroplasty*. 2014;29(10):1925-1931. doi: 10.1016/j.arth.2014.04.043.
18. Kasch R., Assmann G., Merk S., Barz T., Melloh M., Hofer A. et al. Economic analysis of two-stage septic revision after total hip arthroplasty: What are the relevant costs for the hospital's orthopedic department? *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:112. doi: 10.1186/s12891-016-0962-6.

Authors' information

✉ **Andrei P. Sereda** — Dr. Sci. (Med.)

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

e-mail: drsereda@gmail.com

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>

e-mail: shubnyakov@mail.ru

Alisagib A. Dzhavadov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>

e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Malik V. Mametov

<https://orcid.org/0000-0003-1082-7872>

e-mail: m_mametov@inbox.ru

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>

e-mail: rtikhilov@gmail.com



Современное состояние проблемы лечения повреждений типа “mallet finger”: обзор литературы

Ю.С. Волкова, Л.А. Родоманова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена»
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Введение. Часто неправильно выбранная тактика лечения “mallet finger” становится причиной выраженной дисфункции пальца, приводящей к снижению ловкости, силы схвата кисти и уменьшению способности выполнять мелкие манипуляции. Кроме того, остаточная деформация пальца может существенно снижать эстетическую удовлетворенность пациента. Актуальность проблемы данного типа травм обусловлена преимущественно отсутствием единого алгоритма выбора тактики лечения и, как следствие, высоким процентом неудовлетворительных клинических результатов.

Цель обзора — на основании анализа литературы оценить современное состояние проблемы и эффективность предложенных методик лечения “mallet finger”.

Результаты. Отсутствие единого протокола лечения “mallet finger” оставляет открытым вопрос выбора оптимальной тактики. Вариабельность видов лечения и показаний к их применению вынуждают специалистов опираться на собственный опыт при определении тактики в каждом клиническом случае. Продолжаются поиски оптимального вида шва и способов иммобилизации при закрытом повреждении в I зоне для улучшения клинических результатов и минимизации риска потенциальных осложнений. Предложенные модификации блокирующего остеосинтеза имеют свой спектр преимуществ, однако требуют исследований на большей выборке пациентов для подтверждения эффективности. Различные внутренние фиксаторы, позволяющие достичь анатомичной репозиции, нуждаются в проведении дополнительных исследований ввиду высокого риска осложнений и недостаточной стабильности фиксации. Полученных данных недостаточно для принятия обоснованного решения по выбору оптимальной методики. Наряду с высоким процентом осложнений эти факторы значительно ухудшают функциональные результаты лечения.

Заключение. В результате анализа литературы получены крайне противоречивые данные. Высокий процент неудовлетворительных исходов и осложнений, отсутствие единого алгоритма выбора способа лечения, а также противоречивость имеющейся в литературе информации свидетельствуют о нерешенной проблеме лечения “mallet finger”, которая требует поиска рациональной методики с исключением существующих недостатков.

Ключевые слова: молоткообразная деформация, молоткообразный палец, подкожный разрыв сухожилия, сухожилия разгибателей пальцев кисти, дистальный межфаланговый сустав.

📖 Волкова Ю.С., Родоманова Л.А. Современное состояние проблемы лечения повреждений типа “mallet finger”: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2022;28(4):183-192. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1996>.

✉ Волкова Юлия Станиславовна; e-mail: volkoways@mail.ru

Рукопись получена: 15.09.2022. Рукопись одобрена: 14.11.2022. Статья опубликована онлайн: 08.12.2022.

© Волкова Ю.С., Родоманова Л.А., 2022



Management of Mallet Finger: Current Status (Review)

Yulia S. Volkova, Liubov A. Rodomanova

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Background. Often, an incorrect treatment tactic injuries of the “mallet finger” can cause a pronounced dysfunction of the finger. In addition, remaining finger deformation can significantly reduce the aesthetic satisfaction of the patient. The relevance of the problem of this injury type can be mainly explained by the lack of a unified algorithm for choosing treatment tactics, and, as a result, a high percentage of unsatisfactory clinical results.

Review purpose – to assess the current state of the problem and the effectiveness of the proposed methods of treatment of “mallet finger” based on the analysis of the literature

Results. The lack of a single protocol for the treatment of “mallet finger” leaves the question of choosing the optimal tactics open. The variability of interventions and indications for their implementation force specialists to rely on their own empirical experience when determining tactics in each clinical case. The search continues for the optimal type of suture and methods of immobilization with a closed injury in the Zone I to improve clinical results and minimize the risk of potential complications. The proposed modifications of blocked osteosynthesis have their own advantages, however, they require future studies on a larger cohort of patients to confirm their effectiveness. Various internal implants that allow to achieve anatomical reposition require additional studies due to the high risk of complications and insufficient stability of fixation. The obtained data are not enough to make a reasonable decision on the choice of the optimal method of treating the pathology in question. Along with a high percentage of complications, these factors significantly worsen the functional outcomes of treatment.

Conclusion. Literature analysis shows that there is an active search for new surgical methods for the treatment of mallet finger injuries among both Russian and foreign specialists. The data obtained are not enough to make a reasonable decision on the choice of the optimal method of treating the pathology in question, since the results of the studies carried out are rather contradictory or require verification. This determines the need to improve treatment concepts with the elimination of existing shortcomings in order to create a well-founded algorithm for choosing a rational technique.

Keywords: mallet finger, extensor tendon injury, mallet fracture, baseball finger, rupture of the extensor tendon, DIP joint, soft tissue mallet finger, bony mallet finger.

Cite as: Volkova Yu.S., Rodomanova L.A. [Management of Mallet Finger: Current Status (Review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(4):183-192. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1996>.

✉ Yulia S. Volkova; e-mail: volkoways@mail.ru

Submitted: 15.09.2022. Accepted: 14.11.2022. Published Online: 08.12.2022.

© Volkova Yu.S., Rodomanova L.A., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на многолетнюю историю, создание рационального алгоритма выбора тактики лечения повреждений типа “mallet finger” все еще остается актуальной проблемой современной кистевой хирургии [1, 2, 3]. При кажущейся простоте данной патологии и легкости диагностики не существует общепринятого протокола, позволяющего сформулировать показания к определенной тактике в зависимости от типа повреждения [3]. В связи с этим лечение одного и того же типа “mallet finger” часто отличается у разных специалистов, а предложенные на сегодняшний день методики остаются спорными и не позволяют достигнуть оптимальных клинических результатов [4, 5]. В последние годы отмечается тенденция к разработке новых оперативных методик и усовершенствованию уже существующих, однако большая часть публикаций представлена серией наблюдений с небольшой выборкой пациентов или единичными клиническими случаями с описанием методики, требующей верификации. При этом результаты таких наблюдений довольно противоречивы и сопряжены с высоким процентом послеоперационных осложнений. Совокупность перечисленных факторов формирует замкнутый круг, усложняющий принятие решения при выборе лечебной тактики.

Цель исследования — на основании анализа зарубежной и отечественной литературы оценить современное состояние проблемы “mallet finger” и эффективность предложенных методик лечения.

Анатомические сложности восстановления разгибательного аппарата на уровне дистального межфалангового сустава

Восстановление целостности разгибательного аппарата на уровне дистального межфалангового сустава (ДМФС) является сложновыполнимой задачей в связи с его анатомическими особенностями. Малая толщина, распластанность и, как следствие, высокая степень разволокнения концов поврежденного сухожилия являются причиной меньшей прочности накладываемого шва и формирующегося рубцового регенерата, что при нарушении рекомендованного режима может вызвать рецидив деформации [6, 7, 8]. В работах, посвященных особенностям кровоснабжения разгибательного аппарата, сделан вывод о дефиците кровоснабжения сухожилия в зоне ДМФС, так как основной сосудистый пучок проходит на 11 мм проксимальнее [9, 10, 11, 12]. Возрастные особенности кровоснабжения сухожилий обусловлены богатой сетью микроциркуляторного русла в детском возрасте. В процессе роста, по мере уплотнения межклеточного вещества, количество капил-

ляров уменьшается, и их ориентация совпадает с направлением пучков коллагеновых волокон. По этой причине лечение травм сухожилий у детей эффективнее, чем у взрослых [9]. Факт относительно скудного кровоснабжения разгибательного аппарата на уровне ДМФС может иметь значение в этиологии “mallet finger”, а также влиять на регенераторный потенциал и время восстановления сухожилия [9, 12, 13]. В связи с перечисленными особенностями и слабо развитой подкожной жировой клетчаткой по тыльной поверхности ДМФС открытые техники восстановления “mallet finger” оказываются высокотравматичными (обнажение сухожилия на протяжении для проведения нити или открытой репозиции) и связаны с высоким риском развития осложнений [6, 7, 14]. Помимо анатомических особенностей, недостаточная длина дистальной культы сухожилия, а также высокая степень деформации и укорочения сухожилия при выполнении традиционных швов также значительно ограничивают показания к их выполнению [6, 7].

Распространенность

Несмотря на высокую распространенность повреждений сухожилий верхних конечностей, имеется мало данных о встречаемости патологии типа “mallet finger” [15, 16, 17]. Согласно данным R.A. Clayton с соавторами, распространенность “mallet finger” среди взрослого населения в США составляет 9,3% по данным 2008 г., занимая четвертое место по частоте встречаемости повреждений мягких тканей после менисков, связок акромиально-ключичного сочленения и ахиллова сухожилия [18].

Статистически значимых различий в частоте повреждений типа “mallet finger” среди мужчин и женщин нет. Однако у женщин рассматриваемая деформация чаще является результатом дегенеративных изменений и проявляется в возрасте 48–50 лет вследствие незначительного механического воздействия [17, 18]. У мужчин данная деформация, как правило, возникает в результате травмы, полученной во время занятий спортом, в возрасте 20–50 лет (средний возраст — 39,9 лет) [18, 19].

Клиническая картина и диагностика

Диагностика свежего “mallet finger” относительно проста и основывается на типичных жалобах пациентов, которые включают боль, отек, молоткообразную деформацию и дефицит активного разгибания ногтевой фаланги различной степени выраженности. Для подтверждения и оценки потенциального костного или сухожильного “mallet finger” обычно выполняется рентгенография в прямой и строго боковой проекциях. Боковые

проекции демонстрируют наличие отрывного перелома основания ногтевой фаланги или подвывиха, которые в значительной мере могут повлиять на тактику выбора лечения [20, 21, 22, 23, 24].

Данные литературы о других методах визуализации “mallet finger” довольно скудные. В некоторых исследованиях для диагностики острого “mallet finger” использовали УЗИ и МРТ [25, 26, 27, 28, 29]. Авторы сообщили, что высокочастотное УЗИ позволяет оценить функцию сухожилия разгибателя в режиме реального времени, дифференцировать истинный и ложный “mallet finger” (например, при ревматоидном и псориатическом артрите), оценить положение проксимальной культи поврежденного сухожилия (по опыту авторов ее смещение на 4 мм и более от ДМФС уменьшает успех консервативного лечения) и таким образом определиться с оптимальной тактикой лечения [26]. УЗИ является более быстрым и доступным методом скрининга в сравнении с МРТ, которое ввиду своей дороговизны практически не применяется при данном типе повреждения. Кроме того, УЗИ позволяет оценить толщину сухожильного рубцового регенерата в процессе лечения, что также является важным аспектом в последующем наблюдении [25, 26, 27, 28]. При том, что МРТ и УЗИ высокоинформативны, их выполнение в большинстве отделений неотложной помощи довольно затруднительно, в то время как выполнение стандартного рентгеновского исследования доступно круглосуточно и выполняется рутинно [24, 26].

Классификации

В настоящее время существует несколько классификаций “mallet finger”. Классификации Wehbe–Schneider [30] и Tubiana [31] описывают типы повреждения в зависимости от наличия или отсутствия подвывиха с сопутствующей нестабильностью и размера костного фрагмента с подразделением на подтипы по степени вовлеченности сустава. Данные классификации исключают открытые повреждения и разрывы сухожилия на протяжении (soft tissue mallet finger), что ограничивает показания к их применению.

Наиболее часто ввиду своей универсальности используется классификация J.R. Doyle, которая описывает шесть типов повреждений с учетом анатомического расположения линии перелома, размера костного фрагмента и наличия подвывиха в суставе, а также включает сухожильный “mallet finger” и открытые повреждения различного характера [32].

В последние годы наблюдается тенденция к созданию новых классификаций и модификации уже существующих. В 2016 г. была предложена модифицированная классификация Tubiana, основанная преимущественно на наличии подвывиха

дистального межфалангового сустава и возможности его консервативного устранения [23]. Новый метод классификации, учитывающий степень вовлеченности суставной поверхности, толщину отрывного фрагмента и время, прошедшее после травмы, предложили в 2020 г. Y. Yang с соавторами [33]. Классификацию подвывихов в ДМФС в 2017 г. разработали J.O. Yoon с соавторами для определения возможности консервативного лечения “mallet finger” с фрагментом более 1/3 суставной поверхности и наличием подвывиха [21].

Некоторые из предложенных классификаций основаны на визуализационных методах исследования. Например, T. Wang с соавторами по данным УЗИ и МРТ разделили “mallet finger” на три типа: отрывной перелом без разрыва сухожилия разгибателя; сухожильный “mallet finger” (полный разрыв сухожилия без перелома дистальной фаланги); ушиб сухожилия разгибателя. По мнению авторов, такая классификация может быть использована для определения оптимальной тактики лечения [26].

Тактика лечения свежих закрытых повреждений типа “mallet finger”

Несмотря на прогрессивное развитие современной кистевой хирургии, в лечении “mallet finger” остается много спорных моментов. При всем многообразии предложенных способов алгоритм выбора оптимальной тактики все еще находится в стадии обсуждения, не достигнуто единого мнения об эффективности существующих лечебных методик.

Консервативное лечение закрытого сухожильного «mallet finger» требует соблюдения таких условий, как «свежесть» травмы, возможность сблизить концы сухожилия, стабильность и адекватность фиксации [3, 4]. Способность пациентов придерживаться рекомендованного режима иммобилизации и проведения гигиенических процедур во избежание возникновения осложнений обычно невозможно отследить [34]. Способы консервативного лечения, продолжительность и детали реабилитации значительно отличаются у разных специалистов [34, 35, 36]. В исследовании эффективности различных вариантов шин было определено, что тип фиксатора не оказывает существенного влияния на функциональный результат, однако он должен быть достаточно прочным и комфортным для пациента во избежание нарушений рекомендованного режима, чему соответствует индивидуальная шина из термопластика [35]. Некоторые авторы предпочитают использовать гипсовую иммобилизацию [25, 29, 37].

Ряд авторов отмечают, что независимо от вида проведенного лечения пациента должна лечить мультидисциплинарная бригада, в частности специалисты по кистевой реабилитации и физио-

терапевты, при этом для улучшения результатов лечения необходимы комплаентность пациента и его грамотное обучение [12, 22, 38, 39, 40]. Однако в части исследований специализированная реабилитация после прекращения иммобилизации отсутствовала [25, 29, 37]. Сроки постоянной иммобилизации наиболее часто составляют 6–8 нед., однако в некоторых исследованиях они увеличены до 10–12 нед. [2, 34]. В исследовании по оценке эффективности ночного шинирования было определено, что оно не улучшает клинические результаты [41]. При этом многие авторы используют протоколы дополнительного ортезирования после окончания основного периода иммобилизации сроком до 2–8 нед., обосновывая его необходимость биологическим процессом сращения сухожилия и высоким риском рецидива деформации [8, 34, 35, 36].

Неоднозначны мнения исследователей о дополнительной иммобилизации проксимального межфалангового сустава (ПМФС) поврежденного пальца, которая длительное время считалась необходимой. В нескольких кадаверных экспериментах проводилась оценка влияния иммобилизации ПМФС на потенциальный диастаз между концами поврежденного сухожилия на уровне ДМФС. В литературе приводятся крайне полярные мнения. А.С. Золотов с соавторами доказали отсутствие влияния [42], Ф.Ф. Камолов с соавторами сделали вывод, что движения в ПМФС и пястно-фаланговом суставе (ПФС) способствуют увеличению диастаза за счет смещения сухожильного капюшона проксимальнее ПФС и настаивают на их фиксации в физиологическом положении [25, 29].

Во многом подход и выбор тактики лечения острых повреждений “mallet finger” зависят от давности травмы [3, 4]. На сегодняшний день определение «свежести» повреждения достаточно спорно, так как единого мнения по поводу обозначения временных промежутков для дифференциации разрывов сухожилий разгибателей пальцев на свежие и застарелые не существует. В связи с этим временной интервал после травмы, в течение которого консервативное лечение может быть эффективным, также остается неопределенным

[12, 43]. По мнению М.А. Ходорковского с соавторами, консервативное лечение целесообразно только в первые сутки после травмы, с увеличением интервала времени с момента травмы до начала лечения эффективность консервативной терапии резко уменьшается [37]. А. Reiter с соавторами считают повреждения типа “mallet finger” «острыми» в первые 4 нед., хроническими — после 4 нед. и в обоих случаях рекомендуют консервативное лечение с помощью шины [44]. Е. Altan с соавторами сравнили лечение пациентов с сухожильными “mallet finger” в срок до 2 нед. и в интервале от 2 до 4 нед. после травмы и сделали вывод, что функциональные результаты в этих группах не отличаются [43].

Все предложенные оперативные методики направлены на восстановление целостности сухожилия или анатомичной репозиции и жесткой стабильной фиксации с одновременной возможностью ранней мобилизации поврежденного пальца для предотвращения контрактур [5, 43, 45]. На сегодняшний день не существует однозначных показаний к выполнению оперативного вмешательства [19, 46]. Однако в связи высоким процентом неудовлетворительных исходов консервативного лечения все больше авторов предлагают новые методики или модификацию уже существующих в попытках улучшить клинические результаты.

Оценка результатов лечения

Для оценки результатов лечения в подавляющем большинстве статей используется шкала G.P. Crawford, учитывающая степень дефицита активного разгибания и сгибания в ДМФС, а также наличие болевого синдрома. В соответствии с этими критериями и жалобами пациента результат оценивается как отличный, хороший, удовлетворительный или плохой [47] (табл. 1). Данная шкала является наиболее распространенной для оценки результатов лечения и позволяет отразить функциональный результат и уровень физического комфорта пациентов.

Таблица 1

Классификация G.P. Crawford [47]

Результат	Дефицит разгибания	Сгибание	Болевой синдром
Отличный	Нет	Полное	Нет
Хороший	0–10°	Полное	Нет
Удовлетворительный	10–25°	Любой дефицит	Нет
Плохой	>25°	Любой дефицит	Постоянный

Шов сухожилия и его вариации

Вопрос показаний к выполнению первичного шва при свежем сухожильном “mallet finger” остается открытым. Неудовлетворительные функциональные исходы консервативного лечения зачастую требуют оперативного вмешательства и сопряжены с высокой степенью неудовлетворенности пациента проведенным лечением. В связи с этим продолжают поиски оптимального шва сухожилия при повреждении в I зоне. Для восстановления целостности сухожилия при свежем закрытом повреждении предложены различные погружные швы с дальнейшей гипсовой иммобилизацией или в сочетании с трансартикулярной фиксацией ДМФС спицей и различными точками фиксации нити [40, 48, 49, 50]. При открытых повреждениях используются вариации внутривенных швов с внутренней или наружной фиксацией [6, 7, 49]. Однако такие методики имеют существенные недостатки в виде высокой травматичности, риска развития пролежней, лигатурных свищей и инфицирования [6, 7, 9, 14].

Трансартикулярная фиксация

Некоторые авторы используют трансартикулярную фиксацию при закрытом сухожильном “mallet finger” у пациентов без большой комплаентности с невозможностью соблюдать сроки постоянной внешней иммобилизации, что позволяет лицам определенных профессий сразу после операции вернуться к работе [2]. Другим показанием может быть множественное повреждение пальцев, когда наружное шинирование нескольких пальцев трудно выполнимо [9]. Кроме того, зачастую трансартикулярная фиксация используется при хирургическом лечении свежих травм или выполнении тенодермодеза [40]. Однако потенциальные осложнения (инфекция, болезненность на кончике пальца, деформация ногтевой пластинки, миграция спицы) ограничивают показания к выполнению этой манипуляции [2].

Блокирующий остеосинтез и его варианты

Оперативное лечение костного “mallet finger” с вовлечением более одной трети суставной поверхности или с подвывихом остается спорным, поскольку раньше предполагалось, что все подобные повреждения можно лечить консервативно. При этом все большее количество исследователей в таких случаях поддерживает оперативное лечение, чтобы предотвратить остеоартрит, деформацию типа «лебединой шеи» и стойкую ригидность в ДМФС [19, 21]. Одной из наиболее часто применяемых является методика блокирующего остеосинтеза, предложенная Т. Ishiguro в 1997 г. [51]. Критериями для выполнения данной методики являются наличие фрагмента более 33% сустав-

ной поверхности, перелом с подвывихом сустава и смещение отломка более 2 мм [5, 52]. Многие авторы отмечают, что методика блокирующего остеосинтеза в различных вариациях стала популярной, потому что она относительно проста и минимально инвазивна. Однако возможные последствия повторных попыток введения спиц, включающие повреждение суставного хряща, вторичный остеоартрит, повреждение ногтевого ложа и некроз кожи, ухудшают клинические результаты [5, 21, 52, 53].

На сегодняшний день предложены различные варианты этой методики, направленные на минимизацию потенциальных осложнений. Например, техника блокирующего остеосинтеза по типу «рыболовного крючка» (“fish hook”), суть которой заключается в фиксации отрывного фрагмента изогнутой спицей и трансартикулярной фиксации. По данным D.H. Kim с соавторами, средний дефицит разгибания после лечения составил 3°. По шкале Crawford было получено 76% отличных результатов, 19% хороших и 3% удовлетворительных [54].

Другая модификация заключается в фиксации костного “mallet finger” с помощью конструкции из мягкой проволоки. Ввиду отсутствия трансартикулярной фиксации ДМФС активная мобилизация может быть начата сразу после операции. Авторы демонстрируют один клинический случай с хорошим результатом по Crawford [53].

При использовании модификации блокирующего остеосинтеза одной спицей без фиксации ДМФС получен средний дефицит активного разгибания 3,8°, объем сгибания — 76,0°. Отличный результат получен в 61,5% случаев, хороший — в 30,7% и удовлетворительный — в 7,69% [55].

Клинический случай с использованием модифицированного метода блокирующего остеосинтеза с использованием двух спиц Киршнера для фиксации костного “mallet finger” предложили Q. Chen с соавторами. По их мнению, преимущество методики заключается в малоинвазивности и возможности удерживать фрагмент в анатомической репозиции благодаря обвиванию спиц между собой проволокой [56].

Все описанные методики применены на небольшой выборке пациентов [54, 55] или представлены единичными клиническими случаями [53, 56], поэтому они требуют дальнейших исследований для оценки их эффективности.

Открытая репозиция и внутренняя фиксация

Основная цель открытых методик с применением различных внутренних фиксаторов заключается в восстановлении анатомической репозиции и создании стабильной фиксации с возможно-

стью ранней мобилизации сустава. К показаниям относят переломы типа IVB или IVC по классификации J.R. Doyle [32] с наличием или отсутствием подвывиха.

В качестве фиксатора некоторые авторы рекомендуют использовать крючковидную пластину для стабилизации крупного фрагмента [45, 57]. По мнению G. Szalay с соавторами, данная методика может давать хорошие результаты, однако ввиду высокого процента осложнений техника операции и имплантат требуют дополнительных исследований [58]. R. Niwatari с соавторами для лечения предложили чрескожную методику фиксации мини-винтом — “chased method”. Авторы отметили, что этот метод имеет многообещающий потенциал, однако не подходит для “mallet finger” с наличием подвывиха [59]. При оценке эффективности метода якорной фиксации S.G. Vatibay с соавторами пришли к выводу, что эта техника не имеет преимуществ по сравнению с консервативным лечением и сопряжена с высокой частотой осложнений, таких как нестабильность фиксации, инфекция и подвывих в ДМФС [60].

Продолжаются споры о целесообразности проведения открытого оперативного вмешательства. В сравнительном исследовании блокирующего остеосинтеза и открытой фиксации крючковидными пластинами M.A. Asar с соавторами отметили, что оба этих метода дают хорошие результаты, при этом блокирующий остеосинтез выполняется технически быстрее и проще, кроме того, он дешевле [57]. Сравнив методики блокирующего остеосинтеза и шинирования у пациентов с “mallet finger” типов IB-IC по классификации Wehbe–Schneider, G. Gumussuyu с соавторами отметили, что оба метода одинаково эффективны и консервативное лечение должно быть предпочтительным [22]. Согласно исследованию Y. Huang с соавторами, наиболее распространенными фиксирующими устройствами являются спицы Киршнера и якорная фиксация, которые обеспечивают отличные клинические исходы, при этом методика фиксации спицами в различных вариациях является

лучшей альтернативой в связи с меньшим количеством осложнений и меньшими экономическими затратами [5].

Осложнения

По данным литературы, осложнения консервативного лечения наиболее часто включают поражение кожи в виде мацераций и поверхностных некрозов, деформацию ногтевой пластинки, остаточную деформацию и тугоподвижность сустава [21, 58, 60, 61].

Открытые вмешательства сопряжены с высоким риском развития инфекции и некроза кожи, артроза ДМФС, остеомиелита и деформации ногтевой пластинки с частотой до 30% случаев [5, 14, 57, 60, 61]. При применении методики блокирующего остеосинтеза с частотой до 41% встречаются случаи некроза кожи, остаточного дефицита активного разгибания, инфекции, ятрогенного повреждения ногтевого ложа и деформаций ногтевой пластинки, остеомиелита, поломки или миграции металлоконструкции [21, 22, 52, 53]. В исследовании S.G. Vatibay с соавторами после хирургического лечения отмечено больше осложнений, в частности 14% случаев поверхностного некроза кожи, 7% — параспицевого остеомиелита, 21% — повреждений ногтевого ложа и 21% — поверхностных кожных инфекций [60]. По данным G. Szalay с соавторами после открытого вмешательства у 9% пациентов возникла деформация ногтевой пластинки, в 2,5% потребовалось преждевременное удаление металлофиксаторов ввиду угрозы перфорации кожи [58].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа литературы получены крайне противоречивые данные. Высокий процент неудовлетворительных исходов и осложнений, отсутствие единого алгоритма выбора способа лечения, а также противоречивость имеющейся в литературе информации свидетельствуют о нерешенной проблеме лечения “mallet finger”, которая требует поиска рациональной методики с исключением существующих недостатков.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

DISCLAIMERS

Author contribution

All authors made equal contributions to the study and the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Kakinoki R., Ohta S., Noguchi T., Kaizawa Y., Itoh H., Duncan S.F. et al. A modified tension band wiring technique for treatment of the bony mallet finger. *Hand Surg.* 2013;18(2):235-242. doi: 10.1142/S0218810413500299.
- Renfree K.J., Odgers R.A., Ivy C.C. Comparison of Extension Orthosis Versus Percutaneous Pinning of the Distal Interphalangeal Joint for Closed Mallet Injuries. *Ann Plast Surg.* 2016;76(5):499-503. doi: 10.1097/SAP.0000000000000315.
- Lin J.S., Samora J.B. Surgical and Nonsurgical Management of Mallet Finger: A Systematic Review. *J Hand Surg Am.* 2018;43(2):146-163.e2. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.10.004.
- Alla S.R., Deal N.D., Dempsey I.J. Current concepts: mallet finger. *Hand (NY).* 2014;9(2):138-144. doi: 10.1007/s11552-014-9609-y.
- Huang Y., Wu K., Shi H., Shen Y., Zhang Z., Rui Y. Kirschner wire fixation versus suture anchor technique for mallet finger: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2021;100(11):e24996. doi: 10.1097/MD.00000000000024996.
- Золотов А.С., Зеленин В.Н. Особенности и результаты лечения различных вариантов дистальных повреждений пальцев кисти, приводящих к «молоткообразной» деформации. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* 2006;50(4):113-116. Zolotov A.S., Zelenin V.N. [Features and results of treatment of various variants of distal injuries of the fingers of the hand, leading to «mallet finger» deformation]. *Bulletin of VSNC SO RAMS.* 2006;50(4): 113-116. (In Russian).
- Золотов А.С., Зеленин В.Н., Сороковиков В.А. Способы восстановления сухожилий разгибателей пальцев кисти на уровне дистального межфалангового сустава при открытых повреждениях. *Травматология и ортопедия.* 2006;(4):73-75. Zolotov A.S., Zelenin V.N., Sorokovikov V.A. [Methods of restoring the tendons of the extensors of the fingers of the hand at the level of the distal interphalangeal joint with open injuries]. *Travmatologiya i ortopediya [Traumatology and Orthopedics].* 2006;(4):73-75. (In Russian).
- Золотов А.С., Зеленин В.Н., Сороковиков В.А. «Отучение от шины» при лечении дистальных повреждений сухожилий разгибателей пальцев кисти. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2006;(6):35-37. Zolotov A.S., Zelenin V.N., Sorokovikov V.A. [Weaning from a splint in the treatment of distal injuries of the extensor tendons of the fingers of the hand]. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova [Grekov's Bulletin of Surgery].* 2006;(6):35-37. (In Russian).
- Золотов А.С., Зеленин В.Н., Сороковиков В.А. Лечение повреждений дистальных отделов пальцев кисти, приводящих к молоткообразной деформации. Иркутск; НЦРВХ СО РАМН. 2010. с.13-20. Zolotov A.S., Zelenin V.N., Sorokovikov V.A. [Treatment of injuries of the distal parts of the fingers of the hand, leading to «mallet finger» deformation]. *Irkutsk; NCRVH SB RAMS.* 2010. p. 13-20. (In Russian).
- Warren R.A., Kay N.R., Norris S.H. The microvascular anatomy of the distal digital extensor tendon. *J Hand Surg Br.* 1988;13(2):161-163. doi: 10.1016/0266-7681(88)90128-3.
- Kostopoulos E., Casoli V., Verolino P., Papadopoulos O. Arterial blood supply of the extensor apparatus of the long fingers. *Plast Reconstr Surg.* 2006;117(7):2310-2318; discussion 2319. doi: 10.1097/01.prs.0000218799.33322.7f.
- Jablecki J., Syrko M. Zone 1 extensor tendon lesions: current treatment methods and a review of literature. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2007;9(1):52-62.
- Бугаев Д.А., Горбунков В.Я., Деревянко Д.В. Лечение молоткообразной деформации пальцев кисти. *Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова.* 2013;20(2):80-84. doi: 10.17816/vto20130280-84. Bugaev D.M., Gorbunkov V.Y., Derevyanko D.V. [Treatment of Mallet Fingers Deformation]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im N.N. Priorova [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics].* 2013;20(2):80-84. (In Russian). doi: 10.17816/vto20130280-84.
- Золотов А.С. Результаты консервативного и оперативного лечения подкожных разрывов сухожилий разгибателей пальцев кисти на уровне ДМФС. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* 2006;56(4) приложение:83. Zolotov A.S. [Results of conservative and surgical treatment of subcutaneous ruptures of the extensor tendons of the fingers at the DMFS level]. *Bulletin of the VSNC SB RAMS.* 2006;56(4) appendix:83. (In Russian).
- Matzon J.L., Bozentka D.J. Extensor tendon injuries. *J Hand Surg Am.* 2010;35(5):854-861. doi: 10.1016/j.jhsa.2010.03.002.
- de Jong J.P., Nguyen J.T., Sonnema A.J., Nguyen E.C., Amadio P.C., Moran S.L. The incidence of acute traumatic tendon injuries in the hand and wrist: a 10-year population-based study. *Clin Orthop Surg.* 2014;6(2):196-202. doi: 10.4055/cios.2014.6.2.196.
- Turner A.R., Mabrouk A., Cooper J.S. Mallet Finger. 2022 Feb 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan.
- Clayton R.A., Court-Brown C.M. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury.* 2008;39(12):1338-1344. doi: 10.1016/j.injury.2008.06.021.
- Bachoura A., Ferikes A.J., Lubahn J.D. A review of mallet finger and jersey finger injuries in the athlete. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2017;10(1):1-9. doi: 10.1007/s12178-017-9395-6.
- Husain S.N., Dietz J.F., Kalainov D.M., Lautenschlager E.P. A biomechanical study of distal interphalangeal joint subluxation after mallet fracture injury. *J Hand Surg Am.* 2008;33(1):26-30. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.09.006.

21. Yoon J.O., Baek H., Kim J.K. The Outcomes of Extension Block Pinning and Nonsurgical Management for Mallet Fracture. *J Hand Surg Am.* 2017;42(5):387.e1-387.e7. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.02.003.
22. Gumussuyu G., Asoglu M.M., Guler O., May H., Turan A., Kose O. Extension pin block technique versus extension orthosis for acute bony mallet finger; a retrospective comparison. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2021;107(5):102764. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102764.
23. Salazar Botero S., Hidalgo Diaz J.J., Benaïda A., Collon S. et al. Review of Acute Traumatic Closed Mallet Finger Injuries in Adults. *Arch Plast Surg.* 2016;43(2):134-144. doi: 10.5999/aps.2016.43.2.134.
24. Ramponi D.R., Hellier S.D. Mallet Finger. *Adv Emerg Nurs J.* 2019;41(3):198-203. doi: 10.1097/TME.0000000000000251.
25. Камолов Ф.Ф., Байтингер В.Ф., Селянинов К.В. Оптимизация лечения повреждений сухожилий разгибателей пальцев кисти в первой зоне. *Гений ортопедии.* 2022;28(1):39-45. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-39-45.
26. Kamolov F.F., Baitinger V.F., Selyaninov K.V. [Optimization of treatment of injuries of the extensor tendons of the fingers of the hand in the first zone]. *Genij Orthopedii* [Orthopaedic Genius]. 2022;28(1):39-45. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-39-45.
27. Wang T., Qi H., Teng J., Wang Z., Zhao B. The Role of High Frequency Ultrasonography in Diagnosis of Acute Closed Mallet Finger Injury. *Sci Rep.* 2017;7(1):11049. doi: 10.1038/s41598-017-10959-x.
28. Lee S.A., Kim B.H., Kim S.J., Kim J.N., Park S.Y., Choi K. Current status of ultrasonography of the finger. *Ultrasonography.* 2016;35(2):110-123. doi: 10.14366/usg.15051.
29. Чуловская И.Г., Коршунов В.Ф., Еськин Н.А., Магдиев Д.А.. Современная ультразвукографическая диагностика повреждений сухожилий пальцев кисти. *Радиология-практика.* 2005;(3):17-25.
30. Chulovskaya I.G., Korshunov V.F., Eskin N.A., Magdiev D.A. [Modern ultrasonographic diagnostics of injuries to the tendons of the fingers of the hand]. *Radiologiya-praktika* [Radiology-practice]. 2005;(3):17-25. (In Russian).
31. Камолов Ф.Ф. Анализ неудовлетворительных результатов лечения закрытых повреждений сухожилий разгибателей пальцев кисти в 1-й зоне. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* 2017;(2):35-44. doi 10.17223/1814147/60/04.
32. Kamolov F.F. [Analysis of unsatisfactory results in treatment of closed injuries of extensor tendons of fingers of a hand in the i-st zone]. *Voprosy rekonstruktivnoi i plasticheskoi khirurgii* [Issues of Reconstructive and Plastic Surgery]. 2017;20(61(2)):35-44. (In Russian). doi 10.17223/1814147/60/04.
33. Wehbé M.A., Schneider L.H. Mallet fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(5):658-669.
34. Tubiana R. Mallet finger. In: *Traite de chirurgie de la main.* Paris; New York: Masson, 1986. p. 109-121.
35. Doyle J.R. Extensor tendons acute injuries. In: *Operative hand surgery.* 3rd ed. New York: Churchill Livingstone, 1993. p. 1950-1987.
36. Yang Y., Zhang W.G., Li Z.Z., Chen S.L., Tian W. Anatomical and clinical study of a new mallet fracture classification method. *Chin Med J (Engl).* 2020;133(6): 657-663. doi: 10.1097/CM9.0000000000000676.
37. O'Brien L.J., Bailey M.J. Single blind, prospective, randomized controlled trial comparing dorsal aluminum and custom thermoplastic splints to stack splint for acute mallet finger. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92(2):191-198. doi: 10.1016/j.apmr.2010.10.035.
38. Hong I.T., Baek E., Ha C., Han S.H. Long-term Stack splint immobilization for closed tendinous Mallet Finger. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2020;52(3):170-175. doi: 10.1055/a-1170-6660.
39. Saito K., Kihara H. A randomized controlled trial of the effect of 2-step orthosis treatment for a mallet finger of tendinous origin. *J Hand Ther.* 2016;29(4):433-439. doi: 10.1016/j.jht.2016.07.005.
40. Ходорковский М.А., Скорынин О.С. Хирургическое лечение повреждений сухожилий разгибателей длинных пальцев кисти на уровне дистального межфалангового сустава. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии.* 2012;5(2):430-433.
41. Khodorkovsky M.A., Skorynin O.S. [Surgical treatment of injuries of the extensor tendons of the long fingers of the hand at the level of the distal interphalangeal joint]. *Vestnik eksperimental'noi i klinicheskoi khirurgii* [Journal of Experimental and Clinical Surgery]. 2012;5(2): 430-433. (In Russian).
42. Yee J., Waseem M. Mallet Finger Injuries. 2021 Nov 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.
43. Tocco S., Boccolari P., Landi A., Leonelli C., Mercanti C., Pogliacomi F. et al. Effectiveness of cast immobilization in comparison to the gold-standard self-removal orthotic intervention for closed mallet fingers: a randomized clinical trial. *J Hand Ther.* 2013;26(3):191-200; quiz 201. doi: 10.1016/j.jht.2013.01.004.
44. Неттов Г.Г. Опыт лечения свежих повреждений разгибателей пальцев кисти. *Практическая медицина.* 2013;2(1-2):112-113.
45. Nettov G.G. [Treatment experience of recent injuries of hand extensor digitorum]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical Medicine]. 2013;2(1-2 (69)):112-113. (In Russian).
46. Gruber J.S., Bot A.G., Ring D. A prospective randomized controlled trial comparing night splinting with no splinting after treatment of mallet finger. *Hand (N Y).* 2014;9(2):145-150. doi: 10.1007/s11552-013-9600-z.
47. Золотов А.С., Зеленин В.Н., Сороковиков В.Н., Сороковиков В.А. Следует ли фиксировать проксимальный межфаланговый сустав при лечении повреждений типа «mallet finger»? *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* 2006;51(5):90-92.
48. Zolotov A.S., Zelenin V.N., Sorokovikov V.N., Sorokovikov V.A. [Should the proximal interphalangeal joint be fixed in the treatment of injuries of the «mallet finger» type?]. *Bulletin of the VSNC SB RAMS.* 2006;51(5):90-92. (In Russian).
49. Altan E., Alp N.B., Baser R., Yalçın L. Soft-Tissue Mallet Injuries: A Comparison of Early and Delayed Treatment. *J Hand Surg Am.* 2014;39(10):1982-1985. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.06.140.
50. Reiter A., Hasan M., Unglaub F., Dreyhaupt J., Hahn P. [Conservative treatment results of the acute and chronic mallet finger]. *Unfallchirurg.* 2005;108(12):1044, 1046-1048. (In German). doi: 10.1007/s00113-005-0974-4.
51. Theivendran K., Mahon A., Rajaratnam V. A novel hook plate fixation technique for the treatment of mallet fractures. *Ann Plast Surg.* 2007;58(1):112-115. doi: 10.1097/01.sap.0000232858.80450.27.

46. Leinberry C. Mallet finger injuries. *J Hand Surg Am.* 2009;34(9):1715-1717. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.06.018.
47. Crawford G.P. The molded polythene splint for mallet finger deformities. *J Hand Surg Am.* 1984 Mar;9(2):231-237. doi: 10.1016/s0363-5023(84)80148-3.
48. Байтингер В.Ф. Клиническая и функциональная анатомия разгибательного аппарата пальца. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* 2011;38(3):24-34.
Baitinger V.F. [Clinical and functional anatomy of the extensor apparatus of the finger]. *Voprosy rekonstruktivnoi i plasticheskoi khirurgii* [Issues of Reconstructive and Plastic Surgery]. 2011;38(3):24-34. (In Russian).
49. Минаев Т.Р., Низов О.Н., Юлдашев А.А., Давлатов Ж.Х. Особенности восстановительных операций при дистальных повреждениях сухожилий сгибателей и разгибателей пальцев кисти. *Вестник экстренной медицины.* 2013;(1):22-25.
Minaev T.R., Nizov O.N., Yuldashev A.A., Davlatov Zh. [Peculiarities of restorative operations at distal injuries of flexor and extensor tendons of fingers]. *Vestnik ekstreynoi meditsiny* [Bulletin of Emergency Medicine]. 2013;(1):22-25.
50. Arora R., Lutz M., Gabl M., Pechlaner S. [Primary treatment of acute extensor tendon injuries of the hand]. *Oper Orthop Traumatol.* 2008;20(1):13-24. (In German). doi: 10.1007/s00064-008-1224-z.
51. Ishiguro T., Itoh Y., Yabe Y., Hashizume N. Extension block with Kirschner wire for fracture dislocation of the distal interphalangeal joint. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 1997;1(2):95-102. doi: 10.1097/00130911-199706000-00005.
52. Usami S., Kawahara S., Kuno H., Takamura H., Inami K. A retrospective study of closed extension block pinning for mallet fractures: Analysis of predictors of postoperative range of motion. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2018;71(6):876-882. doi: 10.1016/j.bjps.2018.01.041.
53. Garg B.K., Waghmare G.B., Singh S., Jadhav K.B. Mallet Finger Fracture Treated with Delta Wiring Technique: A Case Report of a New Fixation Technique. *J Orthop Case Rep.* 2019;10(1):98-101. doi: 10.13107/jocr.2019.v10.i01.1656.
54. Kim D.H., Kang H.J., Choi J.W. The "Fish Hook" Technique for Bony Mallet Finger. *Orthopedics.* 2016;39(5):295-298. doi: 10.3928/01477447-20160526-01.
55. Çapkın S., Büyük A.F., Sürücü S., Bakan O.M., Atlihan D. Extension-block pinning to treat bony mallet finger: Is a transfixation pin necessary? *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2019;25(3):281-286. (In English). doi: 10.5505/tjtes.2018.59951.
56. Chen Q., Suo Y., Pan D., Xie Q. Elastic fixation of mallet finger fractures using two K-wires: A case report of a new fixation technique. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(20):e15481. doi: 10.1097/MD.00000000000015481.
57. Acar M.A., Güzel Y., Güleç A., Uzer G., Elmadağ M. Clinical comparison of hook plate fixation versus extension block pinning for bony mallet finger: a retrospective comparison study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015;40(8):832-839. doi: 10.1177/1753193415581517.
58. Szalay G., Schleicher I., Kraus R., Pavlidis T., Schnettler R. [Operative treatment of the mallet fracture using a hook plate]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2011;43(1):46-53. (In German). doi: 10.1055/s-0030-1267992.
59. Hiwatari R., Saito S., Shibayama M. The 'chased method' of mini screw fixation: a percutaneous surgical approach to treating mallet fractures. *J Hand Surg Eur Vol.* 2014;39(7):784-786. doi: 10.1177/1753193412460817.
60. Batıbay S.G., Akgül T., Bayram S., Ayık Ö., Durmaz H. Conservative management equally effective to new suture anchor technique for acute mallet finger deformity: A prospective randomized clinical trial. *J Hand Ther.* 2018;31(4):429-436. doi: 10.1016/j.jht.2017.07.006.
61. Toker S., Türkmen F., Pekince O., Korucu İ., Karalezli N. Extension Block Pinning Versus Hook Plate Fixation for Treatment of Mallet Fractures. *J Hand Surg Am.* 2015;40(8):1591-1596. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.04.027.

Сведения об авторах

✉ Волкова Юлия Станиславовна

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,

ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0000-0002-5449-0477>

e-mail: volkoways@mail.ru

Родоманова Любовь Анатольевна — д-р мед. наук,

профессор

<https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>

e-mail: rodomanovaliubov@yandex.ru

Authors' information

✉ Yulia S. Volkova

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,

Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5449-0477>

e-mail: volkoways@mail.ru

Liubov A. Rodomanova — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>

e-mail: rodomanovaliubov@yandex.ru

ХОМИНЕЦ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ К 60-летию со дня рождения

28 сентября 2022 г. исполнилось 60 лет доктору медицинских наук, профессору, заслуженному врачу Российской Федерации, полковнику медицинской службы Владимиру Васильевичу Хоминцу.

Владимир Васильевич родился 28 сентября 1962 г. на Украине в многодетной семье. Он с детства мечтал стать врачом. В 1982 г. он окончил с отличием Ивано-Франковское медицинское училище и сразу же был призван в ряды Советской армии. В 1983 г. В.В. Хоминец поступил в Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова в Ленинграде, а после ее окончания проходил службу врачом войскового звена, во время которой им было принято осознанное решение стать врачом травматологом-ортопедом. Владимир Васильевич продолжил службу в должности старшего ординатора хирургического отделения армейского военного госпиталя. В 1994 г. Владимир Васильевич поступил в адъюнктуру при кафедре военной травматологии и ортопедии ВМедА. В период обучения он был направлен в командировку на Северный Кавказ, где получил опыт оказания специализированной травматологической помощи в условиях боевых действий. Этот опыт стал фундаментом его кандидатской диссертации «Первичная пластика дефектов мягких тканей при хирургической обработке огнестрельных и открытых переломов костей голени».

После окончания адъюнктуры Владимир Васильевич проходил службу в ВМедА на кафедре военной травматологии и ортопедии, последовательно занимая должности начальника травматологического отделения клиники, старшего преподавателя и заместителя начальника кафедры. Ему приходилось неоднократно выезжать в служебные командировки в военные госпитали, оказывая методическую и практическую помощь коллегам на местах. Полученный опыт и результаты выполненных им научных исследований позволили Владимиру Васильевичу успешно защитить в 2012 г. докторскую диссертацию «Организация и совершенствование системы специализированной травматологической помощи раненым и пострадавшим с переломами длинных костей конечностей и их лечения в лечебных учреждениях Минобороны России».

На протяжении последних восьми лет профессор В.В. Хоминец возглавляет кафедру и клинику военной травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера ВМедА и одновременно ис-



полняет обязанности главного травматолога Минобороны России. Он является специалистом высшей категории и признанным авторитетом, в совершенстве владеет всеми современными методами диагностики, оперативного и консервативного лечения заболеваний и травм опорно-двигательной системы, включая военные травмы. Ежегодно он выполняет более 650 сложных, в том числе высокотехнологичных операций, значительную часть из которых можно справедливо назвать уникальными. Это, прежде всего, операции по поводу неинфекционных осложнений внутреннего остеосинтеза, огнестрельных переломов костей конечностей и их последствий.

Как главный специалист Минобороны России Владимир Васильевич постоянно контролирует и курирует деятельность травматологических отделений военных госпиталей, участвует в решении организационных, кадровых и снабженческих вопросов, оказывает методическую помощь военным травматологам в лечебной и клинко-экспертной работе. Под его непосредственным руководством была сформирована современная система оказания специализированной медицинской помощи по профилю «травматология и ортопедия» в Вооруженных Силах РФ.

Наряду с руководящей и клинической деятельностью, профессор В.В. Хоминец уделяет большое внимание учебной работе. «Визитной карточкой» кафедры стали выездные циклы обучения, прово-

димые преподавателями кафедры для травматологов-ортопедов и хирургов в военных округах и на флотах. Систематически проводятся тематические семинары и научно-практические конференции.

Новыми направлениями научно-исследовательской работы коллектива кафедры и клиники, возглавляемых профессором В.В. Хоминцом, являются разработка современных методик лечения огнестрельных переломов; сберегательное лечение раненых с этапной хирургической обработкой; вакуумное дренирование и пластическое закрытие огнестрельных ран; разработка новых средств индивидуальной противоминной защиты, оригинальных имплантатов для внутреннего остеосинтеза и аппаратов внешней фиксации. Ведется работа по внедрению в клиническую практику аддитивных технологий, в том числе 3D-биопринтинга, клеточных технологий и генной терапии, позволяющих замещать костные и хрящевые дефекты. На кафедре проводятся исследования глобального баланса туловища и позвоночно-тазовых взаимоотношений. Большое внимание уделяется разработке и внедрению эндовидеохирургических технологий при лечении нестабильности коленного и плечевого суставов, мультилигаментарных повреждениях и дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов, а также по разработке программ реабилитации пациентов, в т. ч. с применением активных экзоскелетов.

Коллектив кафедры и клиники военной травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера Военно-медицинской академии, многочисленные ученики, коллеги и редакция журнала поздравляют Владимира Васильевича с 60-летним юбилеем и желают ему доброго здоровья, новых творческих достижений и дальнейшего продолжения совместной работы!

Важным направлением деятельности кафедры стала военно-историческая работа. В ее рамках была установлена мемориальная доска профессору Г.И. Турнеру на доме, где он прожил 41 год. Были проведены юбилейные заседания, посвященные 90- и 95-летию старейшего в нашей стране Общества травматологов-ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Профессор В.В. Хоминец — автор и соавтор более 250 научных работ, в том числе учебников, монографий и учебных пособий, научный руководитель 7 кандидатских и одной докторской диссертации. Он является руководителем научно-практической секции Ассоциации травматологов-ортопедов Санкт-Петербурга и Ленобласти, заместителем председателя объединенного диссертационного совета при НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена и ВМедА им. С.М. Кирова по специальности «травматология и ортопедия», членом Международного общества ортопедической хирургии и травматологии (SICOT), преподавателем сообщества травматологов «АО Травма России».

Научная, учебная и клиническая деятельность профессора Владимира Васильевича Хоминца отмечена почетным званием «Заслуженный врач Российской Федерации» (2017), Почетной грамотой Министра обороны России (2018) и Почетной грамотой Президента Российской Федерации (2020).

РОДОМАНОВА ЛЮБОВЬ АНАТОЛЬЕВНА К 65-летию со дня рождения

28 сентября 2022 г. исполнилось 65 лет руководителю научного отделения хирургии кисти с микрохирургической техникой ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, заслуженному врачу России, доктору медицинских наук, профессору Любви Анатольевне Родомановой.

Любовь Анатольевна родилась в Ленинграде. В 1981 г. окончила лечебный факультет Первого Ленинградского медицинского института им. акад. И.П. Павлова. После окончания клинической ординатуры в 1988 г. Любовь Анатольевна начала работать в ЛНИИТО им. Р.Р. Вредена в должности врача травматолога-ортопеда. С 1989 г. она целенаправленно занимается разработкой новых методов хирургии кисти и использования микрохирургических технологий в травматологии и ортопедии. За это время ею были в совершенстве освоены практически все современные технологии оперативного лечения патологии конечностей с использованием микрохирургической техники. Любовь Анатольевна сумела передать свои знания, навыки и опыт своим ученикам, сформировав оригинальную научно-практическую школу.

В 1999 г. Л.А. Родоманова успешно защитила кандидатскую диссертацию «Восстановление первого пальца кисти с использованием микрохирургической техники», а в 2011 г. — докторскую диссертацию на тему «Возможности реконструктивной микрохирургии в раннем лечении больных с обширными посттравматическими дефектами конечностей», которые стали заметными событиями для специалистов хирургии кисти в нашей стране. В 2012 г. Л.А. Родомановой было присвоено ученое звание профессора.

С 2002 г. Любовь Анатольевна бессменно занимает должность руководителя научного отделения хирургии кисти с микрохирургической техникой. На этом поприще она проявила себя как прекрасный организатор и педагог, талантливый исследователь и травматолог-ортопед высшей квалификации. Значителен ее вклад в подготовку научных кадров и врачей отделения. Под ее руководством выполнены и защищены 7 кандидатских диссертаций, посвященные различным аспектам хирургии кисти и микрохирургии конечностей.

Любовь Анатольевна опубликовала более 180 печатных работ, в том числе три главы в национальных руководствах по травматологии и ортопедии, три методические рекомендации,



одно руководство для врачей. Она является соавтором 23 патента РФ на изобретения и полезные модели.

Профессор Л.А. Родоманова является действительным членом Общества пластических реконструктивных и эстетических хирургов Российской Федерации, членом Ассоциации травматологов-ортопедов России, Общества хирургов кисти России, членом объединенного диссертационного совета по травматологии и ортопедии, созданного при НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена и ВМедА им. С.М. Кирова.

Заслуги профессора Л.А. Родомановой высоко оценены государством: в 2008 г. ей было присвоено почетное звание Заслуженного врача Российской Федерации.

Редкостное трудолюбие, широкий научный кругозор, безупречная хирургическая техника, высокое педагогическое мастерство, принципиальность и чуткость к коллегам по работе, учащимся и пациентам заслуженно снискали глубокое уважение к Любви Анатольевне. Благодаря ее многолетним усилиям 16-е отделение хирургии кисти с микрохирургической техникой НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена является в настоящее время одним из самых крупных и авторитетных в нашей стране центров оказания высокотех-

нологической помощи пациентам с различными травмами и заболеваниями не только верхней, но и нижней конечности.

Под руководством Л.А. Родомановой в клиническую практику успешно внедряются последние достижения науки, новейшие методики диагностики и лечения. Все сотрудники отделения обладают навыками микрохирургической техники, позволяющими им оказывать как неотложную микрохирургическую помощь пострадавшим, так

и проводить сложные плановые реконструктивные операции по пересадке кровоснабжаемых комплексов тканей. Большинство специалистов отделения вместе с Любовью Анатольевной принимают активное участие в научной работе Центра, выполняют диссертационные исследования, плановые и поисковые научно-исследовательские работы, выступают с докладами на конференциях, организуют и проводят тематические обучающие циклы и мастер-классы.

Руководство и коллектив НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, а также редакция журнала сердечно поздравляют профессора Любовь Анатольевну Родоманову с юбилеем, искренне желают ей крепкого здоровья, жизненного благополучия, дальнейших научных достижений и успехов в клинической работе во благо здоровья наших пациентов!