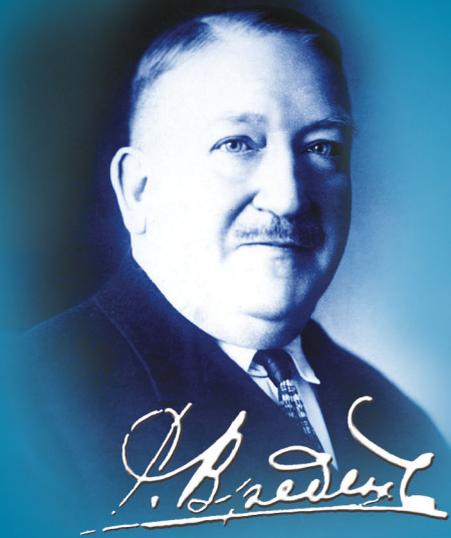


ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

2023 • Т. 29 • № 1

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Травматология и ортопедия России

Том 29, Выпуск 1, 2023

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 No ФС77-82474)



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

Распространяется по подписке:
Индекс **ПНО30** 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 (Санкт-Петербургский ГУ, Санкт-Петербург, 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 (РНМУ им. Н.И. Пирогова, 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)

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

Травматология и Ортопедия России

Vol. 29, N 1, 2023

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: S.V. Gavrilova

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

© Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia), 2023
© Eco-Vector, 2023

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. Belenkii – 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 (St. Petersburg State University, St. Petersburg, 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.) (Tsivyan 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 (Vologograd State Medical University, Vologograd, 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.) (Pirogov Russian National Research Medical University, 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.



СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С.
Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста5

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч.
Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование..... 17

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Щербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г.
Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование..... 25

Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А.
Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование..... 36

Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А.
Использование депротенизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование 46

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ

Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Билык С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М.
Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена 60

Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А.
Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей 73

ОБМЕН ОПЫТОМ

Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А.
Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы..... 84

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А.
Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы..... 95

Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М.
Реконструкция медиальной лодыжки свободным аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай 104

ОБЗОРЫ

Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А.
Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения 111

Михайловский М.В., Сергунин А.Ю.
Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы 123

Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В.
Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы 135

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Сергей Степанович Ткаченко
К 100-летию со дня рождения 143

CONTENTS

CLINICAL STUDIES

- Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovich M.S.**
Variants of Acetabular Deformity in Developmental Dysplasia of the Hip in Young Children.....5
- Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch.**
Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study17

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

- Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G.**
Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study25
- Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A.**
Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experimental Study36
- Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A.**
Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study46

TRAUMA AND ORTHOPEDIC CARE

- Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M.**
Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics.....60

- Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A.**
The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors.....73

EXPERIENCE EXCHANGE

- Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A.**
Stenotrophomonas Maltophilia Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review84

CASE REPORTS

- Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A.**
Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Case Report and Review95
- Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M.**
Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report.....104

REVIEWS

- Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A.**
Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment.....111
- Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu.**
Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review123
- Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V.**
Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review135

MEMORIAL DATES

- Sergei S. Tkachenko**
To the 100th Anniversary of the Birth143



Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста

П.И. Бортулёв¹, Т.В. Баскаева¹, С.В. Виссарионов^{1,2}, Д.Б. Барсуков¹, И.Ю. Поздникин¹, М.С. Познович¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

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

Актуальность. Выбор методики реконструкции таза у детей с дисплазией тазобедренного сустава остается предметом дискуссий на протяжении многих лет и часто зависит от личных предпочтений хирурга, а не от рентгеноанатомического состояния вертлужной впадины, варианты строения которой не отражены в научной литературе.

Цель исследования — на основании рентгеноанатомического анализа строения вертлужной впадины выявить наиболее распространенные варианты ее деформации у детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов.

Материал и методы. Исследование основано на результатах обследования 200 пациентов (200 тазобедренных суставов) в возрасте от 2 до 4 лет ($3,10 \pm 0,45$) с дисплазией тазобедренных суставов II–IV ст. по классификации D. Tönnis. Всем пациентам проводили клиническое и лучевое исследование по общепринятой методике. Лучевое исследование заключалось в выполнении рентгенографии тазобедренных суставов в нескольких проекциях и компьютерной томографии. В качестве критериев для определения наиболее типичных вариантов деформации вертлужной впадины нами были выбраны значения ацетабулярного индекса, величина протяженности свода вертлужной впадины и наличие или отсутствие костного эркера.

Результаты. Рентгенометрический анализ состояния вертлужной впадины у детей младшего возраста с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов показал наличие трех наиболее часто встречающихся вариантов деформации вертлужной впадины: вариант 1 — умеренно выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI \leq 35^\circ$), его укорочение и наличие костного эркера; вариант 2 — выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI > 35^\circ$), его укорочение и наличие костного эркера; вариант 3 — выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины ($AI > 35^\circ$), его достаточная протяженность и отсутствие костного эркера.

Заключение. Предложенные дополнения к имеющейся классификации дисплазии тазобедренных суставов, разработанной D. Tönnis, могут стать основой алгоритма выбора методики хирургической коррекции вертлужной впадины у детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренного сустава.

Ключевые слова: дисплазия тазобедренного сустава, дети, деформация вертлужной впадины, остеотомия таза.

Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С. Варианты деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):5-16. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2012>.

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

Рукопись получена: 24.10.2022. Рукопись одобрена: 09.12.2022. Статья опубликована онлайн: 25.01.2023.

© Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С., 2023



Variants of Acetabular Deformity in Developmental Dysplasia of the Hip in Young Children

Pavel I. Bortulev¹, Tamila V. Baskaeva¹, Sergei V. Vissarionov^{1,2}, Dmitriy B. Barsukov¹, Ivan Yu. Pozdnykin¹, Makhmud S. Poznovich¹

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

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

Background. The choice of pelvic reconstruction technique in children with developmental dysplasia of the hip (DDH) has been the subject of discussion for many years and is often determined by personal preferences of a surgeon rather than by X-ray anatomical state of the acetabulum. The variants of its anatomy structure have still not been reflected in the available scientific literature.

Aim of the study – to identify the most typical variants of acetabular deformation in children with varying severity of DDH, based on the X-ray anatomical analysis of structure of the acetabulum.

Methods. The study was based on the results of examination of 200 patients (200 hip joints) aged 2 to 4 years (3.1 ± 0.45) with Tönnis grade II-IV DDH. All patients underwent conventional clinical and radiological examination. The latter consisted of hip radiography in several views and computed tomography. We took the values of acetabular index, the extent of acetabulum arch and the presence or the absence of bone oriel as criteria for determination of the most typical variants of acetabular deformation.

Results. X-ray analysis of anatomical structure of the acetabulum in young children with varying severity of DDH revealed 3 most common variants of acetabular deformity: 1 – moderate underdevelopment of the acetabulum arch ($AI \leq 35^\circ$), its shortening and the presence of bone oriel; 2 – pronounced underdevelopment of the acetabulum arch ($AI > 35^\circ$), its shortening and the presence of bone oriel; 3 – pronounced underdevelopment of the acetabulum arch ($AI > 35^\circ$), its sufficient length and the absence of bone oriel.

Conclusion. Suggested supplements to existing Tönnis DDH classification might become basic for choosing the surgical correction technique of the acetabulum in children with different severity of DDH.

Keywords: developmental dysplasia of the hip, DDH, children, acetabular deformity, pelvic osteotomy.

Cite as: Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Poznovich M.S. [Variants of Acetabular Deformity in Developmental Dysplasia of the Hip in Young Children]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):5-16. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2012>.

✉ Pavel I. Bortulev; pavel.bortulev@yandex.ru

Submitted: 24.10.2022. Accepted: 09.12.2022. Published Online: 25.01.2023.

© Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Poznovich M.S., 2023

ВВЕДЕНИЕ

По данным различных авторов, дисплазия тазобедренного сустава является наиболее распространенным детским ортопедическим заболеванием, встречающимся с частотой от 3–4 до 50 случаев на 1000 новорожденных. Дисплазия тазобедренного сустава, характеризующаяся выраженными анатомическими изменениями, которые развились в ante- и постнатальном периодах развития, продолжает занимать одну из лидирующих позиций по отношению ко всем врожденным порокам развития костно-мышечной системы [1, 2, 3, 4].

Невозможность проведения ультразвукового скрининга, а также некорректная интерпретация полученных данных при его выполнении в совокупности с применением бессистемных методик консервативного лечения приводят к необходимости хирургической стабилизации сустава с целью воссоздания правильных соотношений между тазовым и бедренным компонентами путем проведения реконструктивно-пластических операций. Для верификации нарушения соотношений в тазобедренном суставе перед проведением хирургического лечения на сегодняшний день используется классификация дисплазии тазобедренных суставов, разработанная D. Tönnis, а также ее модификация IHDI (International Hip Dysplasia Institute) [5, 6]. Многими отечественными и зарубежными авторами убедительно доказана эффективность таких операций на тазовом компоненте, как подвздошная реориентирующая остеотомия таза, разработанная R.B. Salter; перикапсулярная ацетабулопластика по P. Pemberton; ацетабулопластика по W. Dega, а также комбинация операций Salter и Pemberton, описанная P.C. Perlik [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Выбор методики реконструкции таза остается предметом дискуссий на протяжении многих лет и часто определяется квалификацией и опытом хирурга, а также его личными предпочтениями той или иной технологии, а не рентгеноанатомическим состоянием вертлужной впадины, варианты строения которой нами не были обнаружены в доступной научной литературе. Кроме того, имеющиеся классификации дисплазии тазобедренных суставов отражают лишь степень дислокации головки бедренной кости. Вышеуказанные факты диктуют необходимость более детального изучения рентгеноанатомического состояния вертлужной впадины с целью выявления наиболее типичных ее деформаций, от особенностей пато-

логических изменений которой, на наш взгляд, будет зависеть выбор методики реконструкции вертлужной впадины.

Цель исследования — на основании рентгеноанатомического анализа строения вертлужной впадины выявить наиболее распространенные варианты ее деформации у детей в возрасте от 2 до 4 лет с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования: моноцентровое когортное ретроспективное.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст 2–4 лет;
- наличие односторонней дисплазии тазобедренных суставов II–IV ст. по классификации D. Tönnis [5];
- отсутствие любых признаков изменений диспластического характера в контралатеральном суставе;
- отсутствие любых предшествующих хирургических вмешательств на тазовом компоненте сустава;
- отсутствие неврологических заболеваний;
- отсутствие генетических заболеваний и системных дисплазий скелета;
- согласие законных представителей пациента на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- возраст младше 2 лет и старше 4 лет;
- наличие двусторонней дисплазии тазобедренных суставов;
- наличие перенесенных операций на тазобедренном суставе;
- наличие неврологических, системных и генетических заболеваний;
- отказ от заполнения информированного согласия для участия в исследовании.

В исследование были включены 200 пациентов (200 тазобедренных суставов) в возрасте от 2 до 4 лет ($3,10 \pm 0,45$) с дисплазией тазобедренных суставов II–IV ст. по классификации Tönnis, госпитализированных для проведения хирургического лечения в период с 2016 по 2021 г. Всем пациентам проводили общепринятое клиническое обследование, характерное для данного ортопедического заболевания, рентгенографию тазобедренных суставов в прямой проекции, в положении по Lauenstein и в положении отведения и внутренней ротации нижних конечностей, а также компьютерную томографию.

В качестве критериев для определения наиболее типичных вариантов деформации вертлужной впадины нами были выбраны:

– ацетабулярный индекс (АИ) — угол, образованный линией, соединяющей оба Y-образных хряща (линия Хильгенрайнера), и касательной к своду вертлужной впадины;

– протяженность свода вертлужной впадины — расстояние от нижнемедалальной до верхне-латеральной его точки (до линии Омбредана–Перкина);

– костный эркер — наличие или отсутствие ступенеобразного перехода верхнего края вертлужной впадины в крыло подвздошной кости.

С целью объективизации данных расчеты вышеобозначенных критериев проводили как по рентгенограммам, так и по компьютерным томограммам — срезу в середине вертлужной впадины (рис. 1, 2).

Статистический анализ

Статистический анализ проводили при помощи программы SPSS Statistic v.26 (IBM, США). Выполняли расчет средних арифметических величин (M), стандартного отклонения (SD), медианы (Me) с квантилями (25–75%). Внутри групп анализ полученных данных проводили по критерию Уилкоксона. Осуществляли корреляционный анализ (критерий Pearson), при этом силу связи расценивали по следующим показателям: $0,01 \leq p \leq 0,29$ — слабая связь; $0,30 \leq p \leq 0,69$ — умеренная связь; $0,70 \leq p \leq 1,00$ — сильная связь. Значение коэффициента определяло наличие положительной или отрицательной связи. Для оценки степени и варианта влияния одного признака на другой выполняли регрессионный анализ в виде парной линейной и квадратичной регрессионной модели. Оценку доли выборки проводили с помощью коэффициента множественной детерминации (R^2).

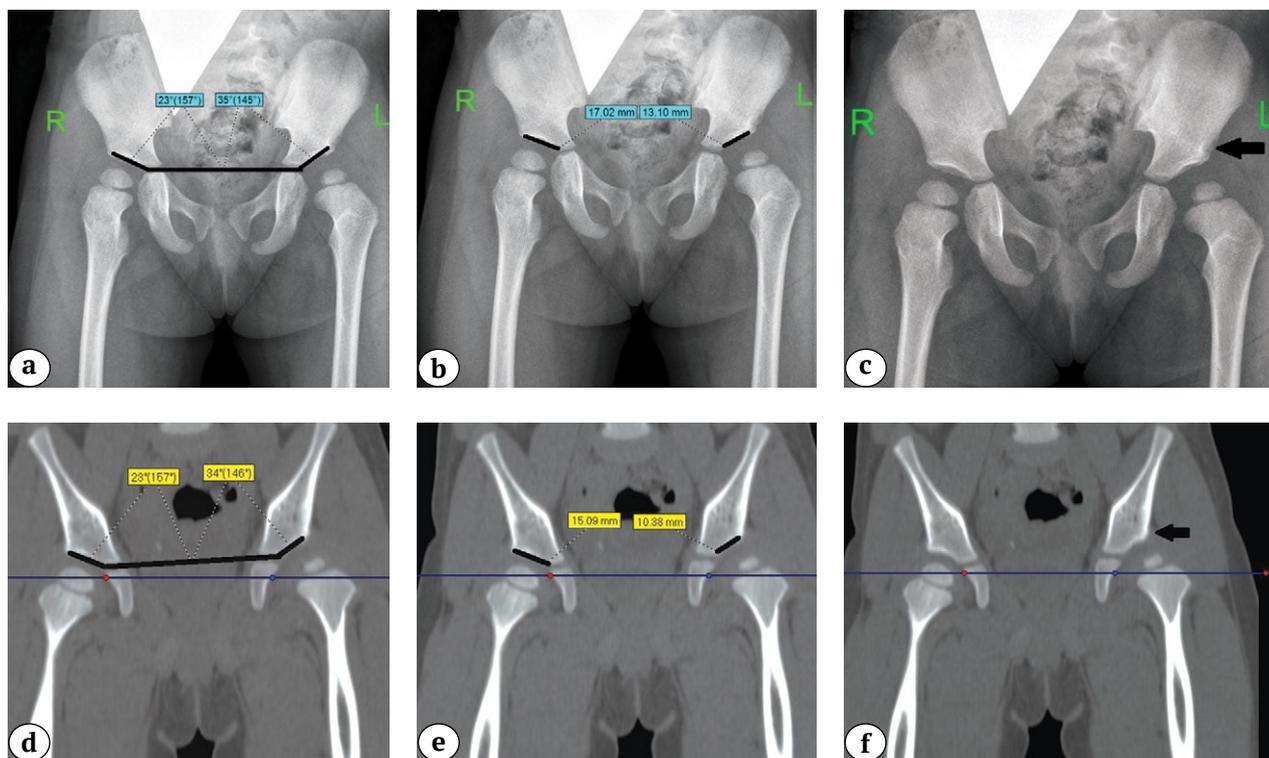


Рис. 1. Определение у пациента с дисплазией тазобедренных суставов II ст. по классификации Tönnis по данным рентгенограмм и КТ:

- a, d — ацетабулярного индекса;
- b, e — протяженности свода вертлужной впадины;
- c, f — наличие костного эркера (обозначен черной стрелкой)

Fig. 1. Determination in patients with Tönnis grade II DDH based on X-ray and CT results:

- a, d — acetabular index;
- b, e — extent of acetabulum arch (length of the sclerosis zone);
- c, f — presence of bone oriel (indicated by black arrow)

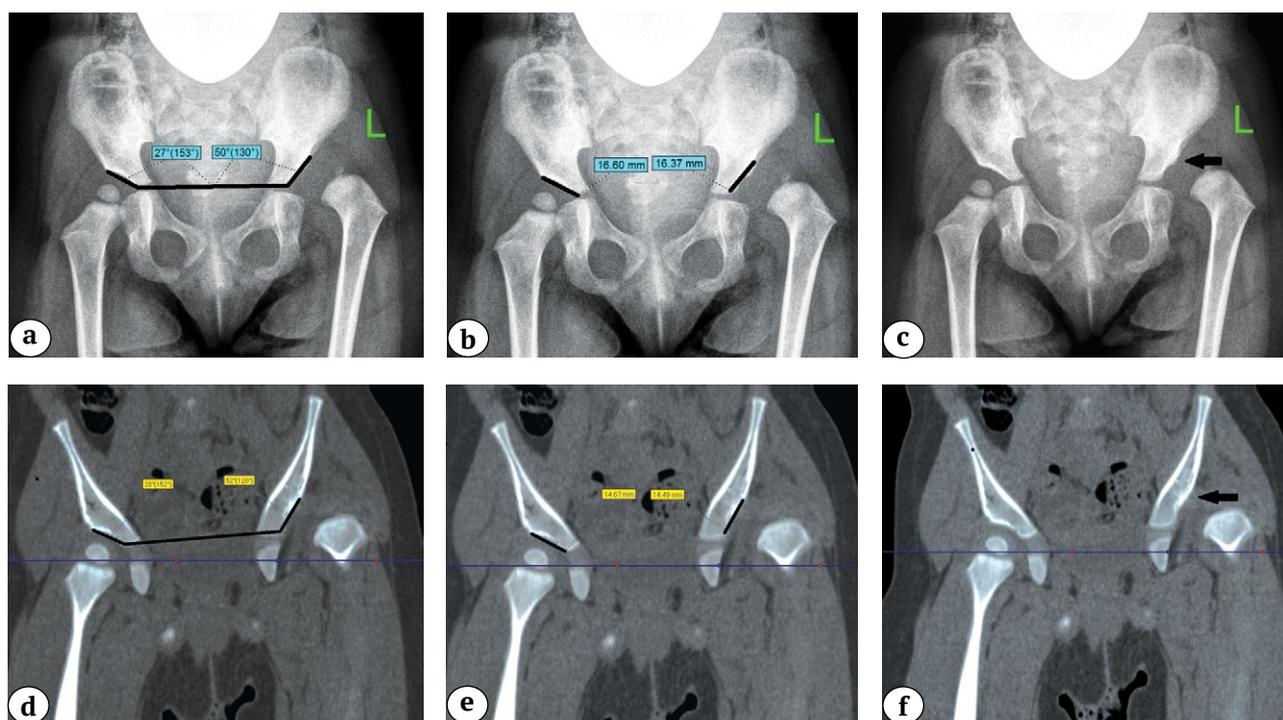


Рис. 2. Определение у пациента с дисплазией тазобедренных суставов IV ст. по классификации Tönnis по данным рентгенограмм и КТ:

a, d — ацетабулярного индекса; b, e — протяженности свода вертлужной впадины; c, f — отсутствия костного эркера (обозначен черной стрелкой)

Fig. 2. Determination in patients with Tönnis grade IV DDH based on X-ray and CT results:

a, d — acetabular index; b, e — length of acetabulum arch; c, f — absence of bone oriel (indicated by black arrow)

РЕЗУЛЬТАТЫ

При поступлении в стационар законные представители пациентов предъявляли жалобу на хромоту у детей. Относительное укорочение нижней конечности составило $1,7 \pm 0,5$ см. Изменения гониометрии имели типичные для дисплазии тазобедренного сустава нарушения в виде ограничения разведения и избыточных ротационных движений со стороны поражения.

Результаты проведенной рентгенометрии по вышеобозначенным нами критериям рентгеноанатомического строения вертлужной впадины у пациентов с различной степенью тяжести дисплазии представлены в таблице 1.

Из представленных в таблице 1 данных можно сделать заключение, что в общей когорте пациентов имели место выраженное недоразвитие и укорочение свода вертлужной впадины. Необходимо отметить, что под укорочением свода мы понимаем ситуацию, при которой различие в измерении по сравнению с контралатеральным суставом составляет не менее 25% от индивидуальной нормы. Помимо этого, у 1/3 пациентов отмечалось наличие костного эркера — перехода свода вертлужной впадины в крыло подвздошной кости, которое

выражалось в виде закругленного книзу костного края. Проведенный корреляционный анализ между значениями АИ и протяженностью свода вертлужной впадины, измеренными по рентгенограммам и компьютерной томографии, показал наличие сильной положительной связи, которая составила $r = 0,96$ и $0,98$ соответственно.

Регрессионный анализ показал, что коэффициент детерминации (R^2) по взаимосвязи значений АИ и протяженности свода вертлужной впадины, измеренных по данным рентгенограмм и компьютерной томографии, составил $0,93$ и $0,96$ соответственно и не имел значимых отличий между линейной и квадратичной моделями, что приближало изучаемые признаки к линейной регрессии (рис. 3). При этом аппроксимация считается очень хорошей, поскольку более 90% выборки может быть обосновано формулой регрессии. Таким образом, достоверная рентгенометрия таких показателей анатомического строения вертлужной впадины, как АИ и протяженность свода вертлужной впадины, может быть адекватно проведена без применения компьютерной томографии, что существенно снизит лучевую нагрузку на организм ребенка.

Таблица 1

Показатели деформации вертлужной впадины у пациентов с различной степенью дисплазии тазобедренных суставов

Показатель	Пациенты с дисплазией тазобедренных суставов M±SD (min-max) Me (25–75%)	Контралатеральный сустав M±SD (min-max) Me (25–75%)
АИ по рентгенограмме, град.	40,6±5,0 (31,0–51,0) 41,0 (37,0–44,0)	20,6±2,0 (15,0–24,0) 20,5 (19,0–22,8)
АИ по КТ, град.	39,9±4,9 (30,0–52,0) 41,0 (36,0–43,0)	20,5±2,0 (14,0–23,0) 20,3 (19,0–22,5)
Протяженность свода по рентгенограмме, мм	14,1±3,5 (10,0–22,1) 13,2 (11,3–16,7)	19,3±2,6 (14,3–24,3) 19,4 (17,2–21,4)
Протяженность свода по КТ, мм	13,8±3,4 (10,0–21,7) 13,0 (10,9–16,2)	19,1±2,3 (13,9–24,1) 18,8 (16,7–21,1)
Костный эркер: – есть – нет	37% 63%	100% –

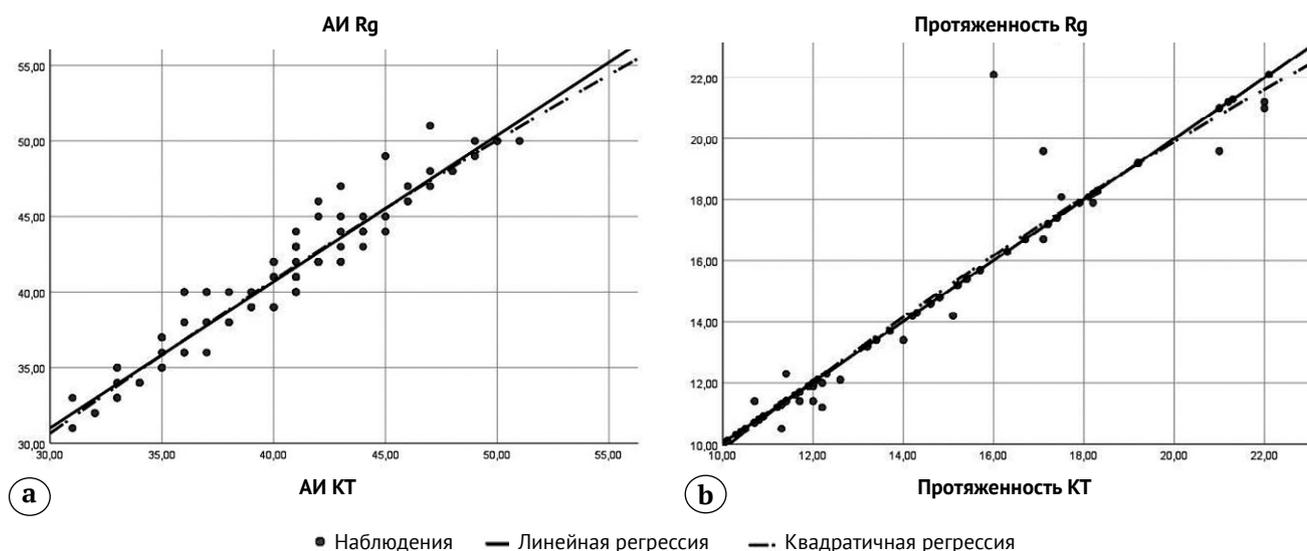


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа, отражающего взаимоотношения между:

а — значениями АИ, измеренными по рентгенограммам и компьютерным томограммам;

б — значениями протяженности свода вертлужной впадины, измеренными по рентгенограммам и компьютерным томограммам

Fig. 3. Results of regression analysis reflecting the correlation between:

a — values of AI measured in X-rays and CT scans;

b — values of acetabulum arch length measured in X-rays and CT scans

С целью более детального изучения возможных вариантов деформации вертлужной впадины пациенты были разделены на две группы в зависимости от тяжести диспластической нестабильности тазобедренного сустава. Первую группу составили 90 пациентов (90 тазобедренных суставов) с дис-

плазией II ст., то есть подвывихом бедра, вторую — 110 пациентов (110 тазобедренных суставов) с дисплазией III–IV ст., то есть вывихом бедра.

Данные проведенного рентгенометрического анализа у пациентов с подвывихом бедра представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели деформации вертлужной впадины у детей с II ст. дисплазии тазобедренных суставов по классификации Tönnis

Показатель	Пациенты I группы M±SD (min-max) Me (25–75%)	Контралатеральный сустав M±SD (min-max) Me (25–75%)
АИ по рентгенограмме, град.	39,2±5,2 (31,0–50,0) 40,0 (35,0–42,0)	20,6±2,0 (15,0–24,0) 20,5 (19,0–22,8)
Протяженность свода по рентгенограмме, мм	16±3 (10,0–22,1) 15,7 (14,3–18,2)	19,2±2,6 (14,3–24,1) 19,3 (14,3–21,4)
Костный эркер: – есть – нет	44% 56%	100% –

Анализ данных рентгеноанатомического строения вертлужной впадины у детей с подвывихом бедра (II ст. по классификации Tönnis) показал, что у 44% пациентов (40 тазобедренных суставов) имелся четкий костный эркер, значения АИ не превышали 35°, а укорочение свода вертлужной впадины составляло 25% и более по сравнению со здоровым суставом. В 56% наблюдений

(50 тазобедренных суставов) костный эркер не был верифицирован, значения АИ превышали 35° и не сопровождалось укорочением свода вертлужной впадины. Проведенный корреляционный и регрессионный анализ показал наличие сильной положительной связи ($r = 0,66$) между показателем АИ и протяженностью свода вертлужной впадины, а коэффициент детерминации составил 0,44 с величиной аппроксимации 44% (рис. 4).

Данные проведенного рентгенометрического анализа по вышеобозначенным показателям у пациентов с вывихом бедра представлены в таблице 3.

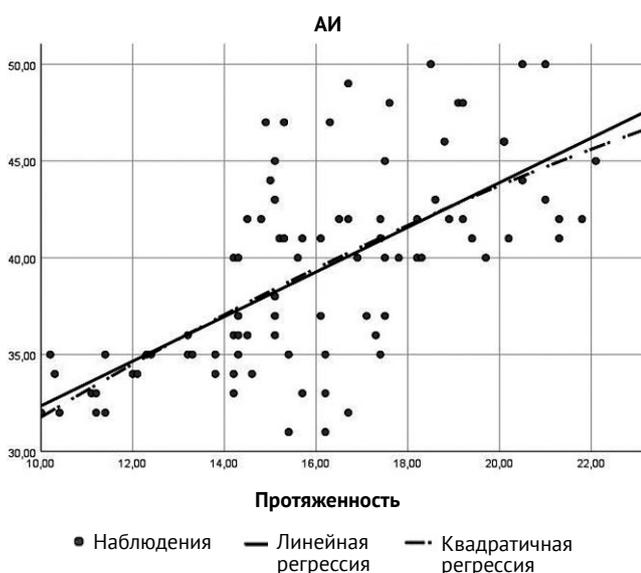


Рис. 4. Результаты регрессионного анализа, отражающего взаимоотношения между значениями АИ и протяженностью свода вертлужной впадины у детей с подвывихом бедра

Fig. 4. Results of regression analysis reflecting the correlation between AI values and acetabulum arch length in children with hip subluxation

Таблица 3

Показатели деформации вертлужной впадины у детей с III–IV ст. дисплазии тазобедренных суставов по классификации Tönnis

Показатель	Пациенты II группы M±SD Me (25–75%)	Контралатеральный сустав M±SD Me (25–75%)
АИ по рентгенограмме, град.	39,0±5,3 (31,0–51,0) 39,0 (35,0–43,0)	20,6±2,0 (15,0–24,0) 20,5 (19,0–22,8)
Протяженность свода, мм	15,3±3,0 (10,0–22,1) 15,1 (13,1–17,7)	19,2±2,6 (14,3–24,1) 19,3 (14,3–21,4)
Костный эркер: – есть – нет	51,8% 48,2%	100% –

Анализ данных рентгеноанатомического строения вертлужной впадины у детей с вывихом бедра (III–IV ст. по классификации Tönnis) показал, что у 51,8% пациентов (57 тазобедренных суставов) отмечалось наличие костного эркера. У 38 пациентов (34,5%) значения АИ не превышали 35°, и было верифицировано укорочение свода вертлужной впадины, а у 19 пациентов (17,3%) значения АИ превышали 35° в сочетании с укорочением свода вертлужной впадины по сравнению с контралатеральным суставом. В 48,2% наблюдений (53 тазобедренных сустава) переход вертлужной впадины в крыло подвздошной кости не был верифицирован, значения АИ превышали 35°, а свод вертлужной впадины оставался протяженным. Проведенный корреляционный и регрессионный анализ показал наличие умеренной положительной связи ($r = 0,4$) между показателем АИ и протяженностью свода вертлужной впадины, а коэффициент детерминации составил 0,16 с величиной аппроксимации 16% (рис. 5).

Низкий показатель коэффициента детерминации свидетельствует о достаточно большой вариативности возможных деформаций вертлужной впадины у детей с вывихом бедра.

Таким образом, на основании проведенного рентгенометрического анализа анатомического строения вертлужной впадины, а также корреляционного и регрессионного анализа можно выделить три наиболее часто встречающихся варианта деформации вертлужной впадины при дисплазии тазобедренных суставов у детей младшего возраста.

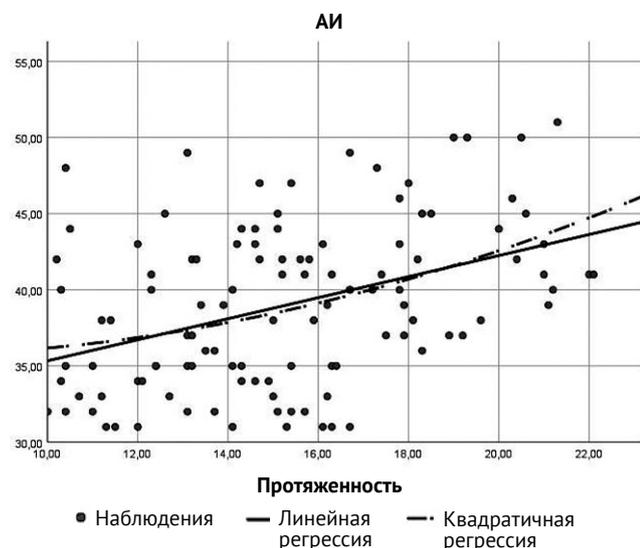


Рис. 5. Результаты регрессионного анализа, отражающего взаимоотношения между значениями АИ и протяженностью свода вертлужной впадины у детей с вывихом бедра

Fig. 5. Results of regression analysis reflecting the correlation between AI and acetabulum arch length in children with hip dislocation

1. Умеренно выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины со значениями АИ $\leq 35^\circ$, укорочение свода вертлужной впадины и наличие костного эркера. Данный вариант встречался в 44% случаев при подвывихе бедра и в 34,5% — при вывихе.

2. Выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины со значениями АИ $> 35^\circ$, наличие протяженного свода вертлужной впадины и отсутствие костного эркера. Данный вариант встречался в 56% случаев при подвывихе бедра и в 48,2% — при вывихе.

3. Выраженное недоразвитие свода вертлужной впадины со значениями АИ $> 35^\circ$, укорочение свода вертлужной впадины и наличие костного эркера. Данный вариант деформации встречался в 17,3% наблюдений только у детей с вывихом бедра.

ОБСУЖДЕНИЕ

Тяжесть патологии, а также ошибки на этапах диагностики и консервативного лечения детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов неизбежно приводят к необходимости выполнения различных хирургических вмешательств, целью которых является воссоздание корректных соотношений в тазобедренном суставе с обеспечением условий для его корректного развития и ремоделирования в процессе роста ребенка [14, 15, 16, 17].

В настоящее время у детей старше одного года верификация диагноза с определением степени нарушения соотношений в пораженном тазобедренном суставе не представляет сложностей [5, 6, 18]. Вместе с тем подавляющее большинство ортопедов при планировании хирургического вмешательства проводят рентгенометрическую оценку выраженности недоразвития свода вертлужной впадины по значениям АИ, деформации проксимального отдела бедренной кости, а также степени дислокации головки бедренной кости по отношению к вертлужной впадине по интегральным показателям и имеющимся международным классификациям [19, 20, 21, 22, 23]. Необходимо подчеркнуть, что в последних отражен лишь характер нарушения соотношений в тазобедренном суставе без детальной верификации возможных вариантов деформации тазового и бедренного компонентов сустава. Эта информация достаточно ограничивает представления о патологических нарушениях в пораженном суставе и дает возможность определиться лишь с необходимостью выполнения артротомии с последующим выполнением внутрисуставных манипуляций. Выбор методики выполнения остеотомии таза на сегодняшний день остается за оперирующим хирургом в зависимости от его опыта и предпочтений, поскольку имеющиеся научные данные свидетель-

ствуют о высокой эффективности применяющихся в мировой ортопедической практике методик хирургической коррекции диспластичной вертлужной впадины как в среднесрочном, так и в отдаленном периодах наблюдения [24, 25, 26, 27]. Отечественными учеными были разработаны рабочие классификации дисплазии тазобедренного сустава. Так, И.Ф. Ахтямов с О.А. Соколовским выделяют два типа дисплазии — бедренный и тазовый [28]. В.Д. Макушин с М.П. Тепленьким разработали более детальную классификацию дисплазии тазобедренных суставов, в основе которой лежат два варианта патологического состояния — стабильный и нестабильный. Оба они подразделяются на бедренную, ацетабулярную и смешанную формы, а нестабильный тип, помимо этого, характеризуется еще и направлением дислокации головки бедренной кости по отношению к вертлужной впадине [29]. Обе классификации предназначены для определения методологического подхода к методу выбора коррекции тазового, бедренного или обоих компонентов сустава. На наш взгляд, недостатком этих классификаций является отсутствие характеристики вариантов деформации со стороны вертлужной впадины. В настоящее время имеется сонографическая классификация дисплазии тазобедренных суставов у детей первого года жизни, разработанная R. Graf и отражающая как соотно-

шения в тазобедренном суставе, так и характер деформации со стороны структур вертлужной впадины [30]. Именно эта классификация и подтолкнула нас к проведению настоящего исследования.

По нашему мнению, на основании верифицированных в ходе настоящего исследования наиболее часто встречающихся вариантов деформации вертлужной впадины у детей с дисплазией тазобедренных суставов II–IV ст. по классификации Tönnis целесообразно их включение в имеющуюся классификацию, которая представлена на рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ рентгеноанатомического состояния вертлужной впадины у детей младшего возраста с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов, основанный на изучении выраженности недоразвития свода вертлужной впадины, его протяженности, а также наличия или отсутствия костного эркера, показал наличие трех наиболее часто встречающихся вариантов деформации вертлужной впадины, которые характеризуются: 1 — умеренно выраженным недоразвитием свода вертлужной впадины ($AI \leq 35^\circ$), его укорочением и наличием костного эркера; 2 — выраженным недоразвитием свода вертлужной впадины ($AI > 35^\circ$), его достаточной протяженностью

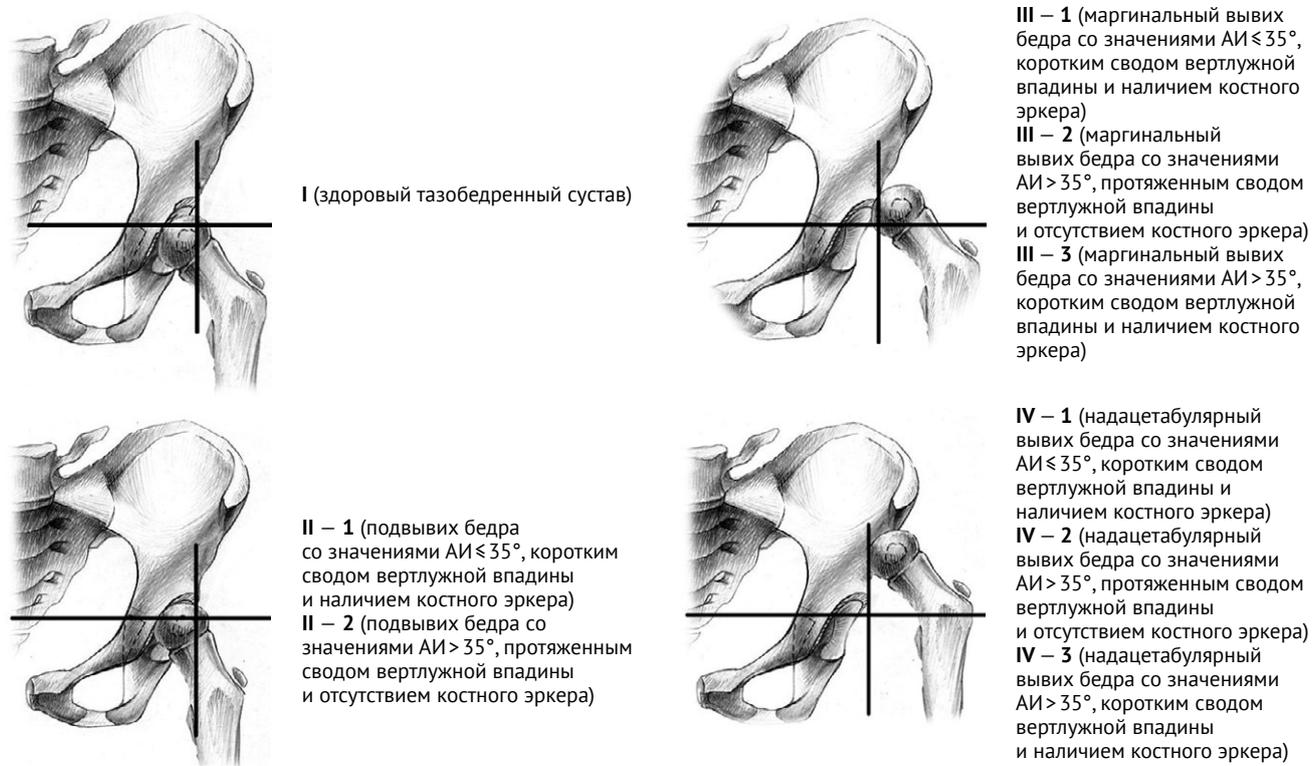


Рис. 6. Дополненная классификация степени тяжести дисплазии тазобедренных суставов Tönnis

Fig. 6. Supplemented Tönnis classification of hip dysplasia severity

и отсутствием костного эркера; 3 — выраженным недоразвитием свода вертлужной впадины (АИ > 35°), его укорочением и наличием костного эркера.

Предложенные дополнения к имеющейся классификации дисплазии тазобедренных суставов, разработанной D. Tönnis, на наш взгляд,

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Бортулёв П.И. — концепция и дизайн исследования, сбор и статистический анализ данных, анализ литературы, написание текста статьи.

Баскаева Т.В. — сбор данных, редактирование текста статьи.

Виссарионов С.В. — редактирование текста статьи.

Барсуков Д.Б. — сбор данных, редактирование текста статьи.

Поздникин И.Ю. — сбор данных, редактирование текста статьи.

Познович М.С. — сбор данных, редактирование текста 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. Исследование выполнено в рамках государственного задания Минздрава России (НИР № 121031700122-6).

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- 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.
- 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.
- Dezateux C., Rosendahl K. Developmental dysplasia of the hip. *Lancet.* 2007;369(9572):1541-1552. doi: 10.1016/S0140-6736(07)60710-7.
- Roof A.C., Jinguji T.M., White K.K. Musculoskeletal screening: developmental dysplasia of the hip. *Pediatr Ann.* 2013;42(11):229-235. doi: 10.3928/00904481-20131022-10.
- Tönnis D. Congenital dysplasia and dislocation of the hip in children and adults. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 1987. p. 80-83.

могут стать основой алгоритма выбора методики хирургической коррекции вертлужной впадины у детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов, что является приоритетным направлением нашего дальнейшего исследования.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pavel I. Bortulev — conception and design of the study, collection and processing of material, data statistical processing, literature review, writing the draft.

Tamila V. Baskaeva — collection and processing of material, text editing.

Sergei V. Vissarionov — text editing.

Dmitriy B. Barsukov — collection and processing of material, text editing.

Ivan Yu. Pozdnikin — collection and processing of material, text editing.

Makhmud S. Poznovich — collection and processing of material, 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 funding.

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

Ethics approval. Not applicable.

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.

- Ramo B.A., De La Rocha A., Sucato D.J., Jo C.H. A New Radiographic Classification System for Developmental Hip Dysplasia is Reliable and Predictive of Successful Closed Reduction and Late Pelvic Osteotomy. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(1):16-21. doi: 10.1097/BPO.0000000000000733.
- Камоско М.М., Григорьев И.В. Остеотомии таза в лечении диспластической патологии тазобедренного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2010;17(1):90-93. doi: 10.17816/vto201017190-93.
- Kamosko M.M., Grigor'ev I.V. [Pelvic Psteotomies at Treatment of Dysplastic Hip Pathology]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2010;17(1):90-93. (In Russian). doi: 10.17816/vto201017190-93.
- Pekmezci M., Yazici M. [Salter osteotomy: an overview]. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2007;41 Suppl 1:37-46. (In Turkish).

9. Huang S.C., Wang T.M., Wu K.W., Fang C.F., Kuo K.N. Pemberton Osteotomy for Acetabular Dysplasia. *JBJS Essent Surg Tech.* 2011;1(1):e2. doi: 10.2106/JBJS.ST.K.00003.
10. Woźniak Ł., Idzior M., Józwiak M. Dega Transiliac Pelvic Osteotomy: the History of Surgical Technique Development. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2020;22(6):455-464. doi: 10.5604/01.3001.0014.6057.
11. Perlik P.C., Westin G.W., Marafioti R.L. A combination pelvic osteotomy for acetabular dysplasia in children. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(6):842-850.
12. Bursali A., Tonbul M. How are outcomes affected by combining the Pemberton and Salter osteotomies? *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(4):837-846. doi: 10.1007/s11999-008-0153-3.
13. Agarwal A., Rastogi P. Clinoradiological outcomes following mbersal acetabular osteotomy for developmental dysplasia of hip in young children: A series of 16 cases followed minimum 2 years. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;23:101669. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101669.
14. Поздникин И.Ю., Басков В.Е., Волошин С.Ю., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Познович М.С. и др. Ошибки диагностики и начала консервативного лечения детей с врожденным вывихом бедра. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2017;5(2):42-51. Pozdnikin I.Yu., Baskov V.E., Voloshin S.Yu., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. et al. [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. doi: 10.17816/PTORS5242-51. (In Russian).
15. Aydin A., Kalali F., Yildiz V., Ezirmik N., Aydin P., Dostbil A. The results of Pemberton's pericapsular osteotomy in patients with developmental hip dysplasia. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2012;46(1):35-41. doi: 10.3944/aott.2012.2615.
16. Malvitz T.A., Weinstein S.L. Closed reduction for congenital dysplasia of the hip. Functional and radiographic results after an average of thirty years. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76(12):1777-1792. doi: 10.2106/00004623-199412000-00004.
17. Басков В.Е., Камоско М.М., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Кожевников В.В., Григорьев И.В. и др. Транспозиция вертлужной впадины после подвздошно-седалищной остеотомии таза при лечении дисплазии тазобедренного сустава у детей. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2016;4(2):5-11. doi: 10.17816/PTORS425-11. Baskov V.E., Kamosko M.M., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y., Kozhevnikov V.V., Grigoriev 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;4(2):5-11. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS425-11.
18. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Плиев Д.Г., Богопольский О.Е., Гуацаев М.С. Возможности рентгенографии в ранней диагностике патологии тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(1):117-131. doi: 10.21823/2311-2017-23-1-117-131. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Pliev D.G., Bogopolsky O.Y., 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: 10.21823/2311-2017-23-1-117-131.
19. Czubak J., Kowalik K., Kawalec A., Kwiatkowska M. Dega pelvic osteotomy: indications, results and complications. *J Child Orthop.* 2018;12(4):342-348. doi: 10.1302/1863-2548.12.180091.
20. Badrinath R., Bomar J.D., Wenger D.R., Mubarak S.J., Upasani V.V. Comparing the Pemberton osteotomy and modified San Diego acetabuloplasty in developmental dysplasia of the hip. *J Child Orthop.* 2019;13(2):172-179. doi: 10.1302/1863-2548.13.190004.
21. Balioğlu M.B., Öner A., Aykut Ü.S., Kaygusuz M.A. Mid term results of Pemberton pericapsular osteotomy. *Indian J Orthop.* 2015;49(4):418-424. doi: 10.4103/0019-5413.159627.
22. Dello Russo B., Candia Tapia J.G. Comparison Results between Patients with Developmental Hip Dysplasia Treated with Either Salter or Pemberton Osteotomy. *Ortho Res Online J.* 1(4). OPROJ.000519. 2017. doi: 10.31031/OPROJ.2017.01.000519. Available from: <https://crimsonpublishers.com/oproj/fulltext/OPROJ.000519.php>.
23. Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Кожевников В.В. Salter vs Pemberton: сравнительный рентгенологический анализ изменения вертлужной впадины и таза после хирургической коррекции у детей с врожденным вывихом бедра. *Травматология и ортопедия России.* 2022;28(2):27-37. doi: 10.17816/2311-2905-1748. Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Vissarionov S.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y., Kozhevnikov V.V. [Salter vs Pemberton: Comparative Radiologic Analysis of Changes in the Acetabulum and Pelvis After Surgical Correction in Children with Hip Dysplasia]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(2):27-37. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1748.
24. Merckaert S.R., Zambelli P.Y., Edd S.N., Daniele S., Brigitte J. Mid- and long-term outcome of Salter's, Pemberton's and Dega's osteotomy for treatment of developmental dysplasia of the hip: a systematic review and meta-analysis. *Hip Int.* 2021;31(4):444-455. doi: 10.1177/1120700020942866.
25. Gharanzadeh K., Bagherifard A., Abolghasemian M., Ahmadzadeh H., Vaziri Kordkandi Sh., Bayat Sh. Comparison of Pemberton Osteotomy and Kalamchi Modification of Salter Osteotomy in the Treatment of Developmental Dysplasia of the Hip. *J Res Orthop Sci.* 2020;7(4):169-174.
26. Ertürk C., Altay M.A., Işikan U.E. A radiological comparison of Salter and Pemberton osteotomies to improve acetabular deformations in developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop B.* 2013;22(6):527-532. doi: 10.1097/BPB.0b013e32836337cd.
27. Wang C.W., Wang T.M., Wu K.W., Huang S.C., Kuo K.N. The comparative, long-term effect of the Salter osteotomy and Pemberton acetabuloplasty on pelvic height, scoliosis and functional outcome. *Bone Joint J.* 2016;98-B(8):1145-1150. doi: 10.1302/0301-620X.98B8.37215.
28. Ахтямов И.Ф., Соколовский О.А. Хирургическое лечение дисплазии тазобедренного сустава. Казань; 2008. 371 с. Akhtyamov I.F., Sokolovsky O.A. [Surgical Treatment of Hip Dysplasia]. Kazan; 2008. 371 p. (In Russian).

29. Макушин В.Д., Тепленький М.П. Рентгенологический классификация врожденной дисплазии тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2010;(2):103-108.
Makushin V.D., Tyoplenky M.P. [Roentgenological classification of the hip congenital dysplasia]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;(2):103-108. (In Russian).
30. Graf R. Hip sonography: background; technique and common mistakes; results; debate and politics; challenges. *Hip Int.* 2017;27(3):215-219. doi: 10.5301/hipint.5000514.

Сведения об авторах

✉ *Бортулёв Павел Игоревич* — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин,
ул. Парковая, д. 64-68
<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>
e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Баскаева Тамила Владимировна
<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>
e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Виссарионов Сергей Валентинович — чл.-корр. РАН,
д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Барсуков Дмитрий Борисович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>
e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Поздниккин Иван Юрьевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Познович Махмуд Станиславович
<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>
e-mail: poznovich@bk.ru

Authors' information

✉ *Pavel I. Bortulev* — Cand. Sci. (Med.)
Address: 64-68, Parkovaya st., 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

Sergei V. Vissarionov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Dmitriy B. Barsukov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>
e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Ivan Yu. Pozdnikin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Makhmud S. Poznovich
<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>
e-mail: poznovich@bk.ru

Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study

Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch.

Sanjay Gandhi Institute of Trauma and Orthopaedics, Bengaluru, India

Background. The range of motion prior to total knee arthroplasty (TKA) is a key determinant of the postoperative range of motion. The chance that the accompanying stiffness of the extensor mechanism may lead to limited flexion following surgery increases with how restricted the preoperative range of motion was. It would make sense to enhance knee ROM before surgery in order to optimize flexion following TKA. Final flexion following TKA is affected by a number of factors, although preoperative range of motion is the most important.

The aim of the study – to evaluate the functional performance and efficacy of the preoperative exercise programme on the osteoarthritic knee during the exercise period, following arthroplasty, during immediate postoperative recovery, and at 1, 3, 6 and 12 months after surgery.

Methods. For the study, 156 patients with knee arthritis were collected over a period of one and a half years. In this prospective study, they were divided into a treatment group and a control group. Preoperative knee exercise was given to 78 patients for at least one month. Prior to and following the treatment group's workouts, all patients were observed. The time in days before reaching 90° of knee flexion and the length of the hospital stay were the data that were gathered. At 4 weeks, 3 months, 6 months, and 1 year, each subject had their knee ROM and KSS reevaluated.

Results. Knee workouts were unquestionably helpful in achieving early knee flexion up to 90° in comparison to that of the control group. When the treatment group was compared to the control group, knee flexion to about 90° and more was attained in about 4 weeks; this difference was statistically significant ($p < 0.01$). However, there were no appreciable variations in the knee range of motion achieved on long-term follow-up for 6 months and a year.

Conclusion. In conclusion, prehabilitation significantly improves the KSS for the treatment group both before surgery and three months after surgery. Exercises done before to surgery help patients recover more quickly from TKA and may speed up the process of achieving a good flexion and extension range of motion. However there is no significant difference in functional outcome after one year post surgery in both groups.

Keywords: osteoarthritis, prehabilitation exercise, functional outcome, TKA.

Cite as: Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch. Functional Outcome of Preoperative Exercises on Range of Movements Following TKA: A Prospective Comparative Study. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):17-24. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2014>.

✉ *Surya Sri Karun Chintapalli*; e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Submitted: 25.10.2022. Accepted: 06.02.2023. Published Online: 22.02.2023.

© Pavith Janardhan T., Pothuri Rishi Ram, Praveen Narayan, Surya Sri Karun Ch., 2023



Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч.

Институт травматологии и ортопедии Санджая Ганди, г. Бангалор, Индия

Актуальность. Объем движений в коленном суставе перед тотальным эндопротезированием является основополагающим фактором, влияющим на функциональные результаты после операции. Чем больше выражена контрактура на фоне ригидности мышц разгибателей до вмешательства, тем выше риск возникновения ограничений сгибания в послеоперационном периоде. В связи с этим представляется целесообразным увеличить предоперационный объем движений для оптимальной работы мышц-сгибателей после выполнения тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС). Сгибание в коленном суставе после тотального эндопротезирования зависит от множества факторов, среди которых самым важным является объем движений в предоперационном периоде.

Цель исследования — оценить функциональные показатели и эффективность предоперационной программы упражнений при остеоартрозе коленного сустава во время их выполнения, в период послеоперационного восстановления после эндопротезирования, а также через 1, 3, 6 и 12 мес. после операции.

Материал и методы. За полтора года в исследование были включены 156 пациентов, получивших хирургическое лечение по поводу артроза коленного сустава. Они были поделены на 2 проспективные группы — основную и контрольную. Семидесяти восьми пациентам в предоперационном периоде проводились физические упражнения на протяжении минимум одного месяца. Все пациенты основной группы были осмотрены до начала физической подготовки к оперативному лечению и после ее завершения. Тотальное эндопротезирование коленного сустава было выполнено всем 156 пациентам. Оценка объема движений в суставе производилась через 4 нед., 3, 6 и 12 мес. после оперативного вмешательства. Был определен срок, за который пациенты смогли достичь полного разгибания и сгибания до 90° в коленном суставе.

Результаты. Пациенты основной группы, выполнявшие физические упражнения в предоперационном периоде, смогли достичь сгибания в коленном суставе под углом 90° раньше (приблизительно 4 нед.), чем пациенты контрольной группы. Разница в сроках между сравниваемыми группами была статистически значимой ($p < 0,01$). Разница в объеме движений в коленном суставе между пациентами обеих групп, отмеченная во время осмотров через 6 и 12 мес. после операции, была незначительной.

Заключение. Предреабилитация значительно улучшила показатели по шкале KSS у пациентов группы исследования как в предоперационном периоде, так и через 3 мес. после операции. Упражнения, выполняемые перед оперативным вмешательством, позволяют сократить сроки восстановления пациентов после ТЭКС и способствуют более быстрому достижению хороших функциональных результатов. Однако через год после операции статистически значимых различий в амплитуде сгибания и разгибания в коленных суставах у пациентов обеих групп отмечено не было.

Ключевые слова: остеоартроз коленного сустава, физические упражнения, функциональные результаты, тотальное эндопротезирование коленного сустава.

Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Н., Сурья Шри Карун Ч. [Влияние физических упражнений в предоперационном периоде на объем движений в коленном суставе после тотального эндопротезирования: проспективное сравнительное исследование]. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):17-24. (Англ.). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2014>.

Сурья Шри Карун Чинтапалли; e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Рукопись получена: 25.10.2022. Рукопись одобрена: 06.02.2023. Статья опубликована онлайн: 22.02.2023.

© Павит Джанардан Т., Потури Риши Рам, Правин Нараян, Сурья Шри Карун Ч., 2023

INTRODUCTION

The most prevalent form of joint disease in the world, osteoarthritis (OA), has negative effects on musculoskeletal pain, disability, and socioeconomic expenses [1, 2, 3]. Osteoarthritis of the knee is associated with gradual decreases in strength, agility and reduced ability to perform daily chores [4, 5]. Initial medication is used to manage this condition, but it frequently worsens to the point that total knee arthroplasty (TKA) is the sole option for providing long-term pain relief [6]. Even while TKA surgery is excellent in relieving pain, it may still result in years of decreased leg strength [7, 8]. Older persons who have weak lower extremity muscles are more likely to fall and have decreased function [5]. People with knee OA show significantly reduced quadriceps strength relative to their unaffected leg or healthy age-matched controls [9, 10]. There has been mixed effectiveness with a variety of exercise regimens intended to increase leg strength and functional task performance in people prior to TKA [10, 11, 12].

Even with better surgical technique, postoperative physical therapy, and prosthetic design [13, 14], TKA rarely offers full range of motion (ROM) with flexion of more than 120. The majority of daily tasks can be comfortably carried out with a postoperative ROM of 100 to 120 [15]. Final flexion following TKA is affected by a number of factors, although preoperative range of motion is the most important [16, 17]. The chance that the accompanying stiffness of the extensor mechanism may lead to limited flexion following surgery increases with how restricted the preoperative range of motion was. It would make sense to enhance knee ROM before surgery in order to optimize flexion following TKA. A structured exercise programme intended to develop quadriceps and hamstring strength and endurance might cause even severely arthritic patients to respond within 4-6 weeks [18, 19]. Exercises can also improve balance and alleviate discomfort [20].

The aim of the study – to evaluate the functional performance and efficacy of the preoperative exercise programme on the osteoarthritic knee during the exercise period, during immediate postoperative recovery following arthroplasty, and at 1, 3, 6 and 12 months after surgery.

MATERIALS AND METHODS

Study design

The assessors in this prospective pilot randomized controlled research were blinded. Since participants had given informed consent to have joint arthroplasty, patient competence to consent was not explicitly assessed. The rights of the trial participants were maintained, and each patient gave written informed consent to take part.

One hundred fifty six non-inflammatory arthritis patients, aged 48 to 70, were enrolled in this prospective trial. They were randomly assigned to the treatment group or the control group.

Before TKA surgery, 78 patients (the treatment group) participated in a four-week home exercise regimen.

Prehabilitation exercises included resistance training, flexibility exercises, and quadriceps strengthening over the course of four weeks at home. The exercises were demonstrated to the patients, who had to perform them three times per day for four weeks.

Inclusion criteria

Non-inflammatory osteoarthritis with intentions for a primary unilateral TKA, moderate to severe pain in the afflicted knee, patient willing to volunteer to participate in the study by signing a consent form accepted by the ethical review committee, patient plans to be accessible for follow-up through 1 year postoperative, and good condition that allows safe participation in the preoperative home exercise programme were included.

Exclusion criteria

Patients with systemic inflammatory illness, or concurrent lower extremity abnormalities were excluded from the trial, as were patients who were unable to tolerate the preoperative and postoperative treatment programme. Patients were required to obtain an approval status from an internal medicine specialist, on which it should be noted that the patient has no medical conditions that would preclude them from undergoing surgery. BMI greater than 35, prior hip or knee replacement surgery, active local or systemic infection, high tibial osteotomy of the affected knee, flexion less than 80°, fixed flexion deformity greater than 20°, varus or valgus alignment greater than 10° unless correctable to under 10°, and most recently fractured upper or lower extremity were also excluded.

The patients who were included in the control group carried on as usual up until the procedure. During the baseline assessment, the treatment group's participants received individualized explanations of the exercises and completed one of them with the lead researcher. There was a regimen that was supposed to be followed at home for exercise.

The exercise plan was created to improve the soft tissues and muscle strength in the lower extremities. For four weeks, the subjects were required to complete the exercises at home. The exercises needed to be done without a physiotherapist's assistance.

The four-week therapy course was finished at the time of hospital admission the day before TKA

surgery. Just prior to surgery, participants in the treatment and control groups completed a second evaluation of knee range of motion and the KSS. Using a fixed bearing, cemented-retaining knee prosthesis while sacrificing the cruciate ligaments, a knee replacement procedure was carried out by anterior midline skin incision and medial parapatellar incision. All subjects underwent the same physiotherapy programme following surgery.

Outcome assessment

The time in days before reaching 90° of knee flexion and the length of the hospital stay were the data that were gathered. At 4 weeks, 3 months, 6 months, and 1 year, each subject had their knee ROM and KSS reevaluated.

The term «active knee flexion» refers to the maximum angle of knee flexion as measured using a goniometer when the patient is standing against a wall and the foot maintained parallel to the other leg. The passive knee flexion angle assessed with the patient resting supine on a table and knee flexion performed at the subject's muscle strength. In KSS the knee and patient function ratings are given distinct scores. Higher scores indicate greater knee and patient function.

Statistical analysis

Pearson's correlation was utilized as a bivariate measure. The Student t test was employed to compare variables throughout the statistical analysis, which was done using SPSS 20.0 (IBM® SPSS®). The statistical significance threshold was set at $p < 0.05$.

RESULTS

One hundred fifty six participants were used in the study, equally split into two groups: those who participated in a prehabilitation programme ($n = 78$; 20 men and 58 females) and those who did not ($n = 78$; 25 males and 53 females). Patients ranged in age from 48 to 70 years.

Although there were statistically significant gains in knee and functional scores over time in both groups (with prehabilitation programme and without prehabilitation programme), there were no statistically significant changes in BMI over time ($p > 0.05$). Both groups displayed comparable KSS levels (39.5 vs. 39.83) four weeks before surgery ($p = 0.8216$). The treatment group's KSS at baseline was 44.95, postoperative KS was 52.26, 1 month after surgery was 72.76, 3 months after surgery was 78.41, 6 months after surgery was 84.15, and after a year it was 86.77. The baseline KSS for the control group was 39.74, the postoperative KS was 47.15, the KSS at three months was 67.12, the KSS at six months was 83.05, and the KS at one year was 86.31.

After 4 weeks of training, the treatment group's passive and active flexion, extension, knee score, and patient function were significantly improved ($p < 0.001$). Patients in the treatment group achieved 90° of knee flexion on average 3.8 days (± 1.2) following surgery, but patients in the control group did not achieve this milestone until 4.03 days (± 1.5) following surgery. The treatment group's hospital stays were on average 4.1 days (± 1.5) and the control groups were 5.5 days (± 1.2). Exercise's impact on the knee score or patient function score, as determined by the KSS, was not supported by any data. When compared to the control group, the treatment group's extension range of motion was superior for the first 3 months, after which it remained the same in both research groups. With regular physiotherapy exercises, the range of motion advanced. After 4 weeks of rigorous physiotherapy, 12 patients with tight knees underwent manipulation under anesthesia. With time, the patient's knee and function scores improved, and they felt very at ease performing typical housekeeping tasks (Tab. 1, 2).

Figure 1 shows passive and active flexion and range of movements at different follow up.

Figure 2 shows graphical representation of KSS and patient function score at different follow-up.

Table 1

Knee scores for treatment and control group at different follow-up, mean (SD)

Group	Follow-up						
	4 weeks before surgery	Baseline	After surgery	1 m	3 m	6 m	12 m
Treatment	39.95 (3.195)	44.95 (3.195)	52.26 (1.607)	72.76 (7.838)	78.41 (5.241)	84.15 (5.643)	86.77 (3.486)
Control	39.83 (3.359)	39.74 (3.390)	47.15 (3.814)	67.12 (7.047)	75.32 (5.119)	83.05 (4.070)	86.31 (3.021)
p value	0.826	<0.001	<0.001	0.125	0.771	0.89	0.93

Table 2

Patient function scores for treatment and control group at different follow-up, mean (SD)

Group	Follow-up						
	4 weeks before surgery	Baseline	After surgery	1 m	3 m	6 m	12 m
Treatment	27.63 (5.625)	40.06 (3.558)	52.50 (5.568)	72.44 (2.414)	77.44 (2.463)	83.13 (2.486)	88.21 (2.503)
Control	27.24 (5.847)	27.56 (5.962)	47.69 (5.565)	68.31 (66.34)	76.99 (73.16)	82.12 (2.486)	87.24 (2.503)
p value	0.676	<0.001	<0.001	0.097	0.87	0.813	0.977



Fig. 1. Passive (a) and active (b) knee flexion for treatment and control groups at different follow-up

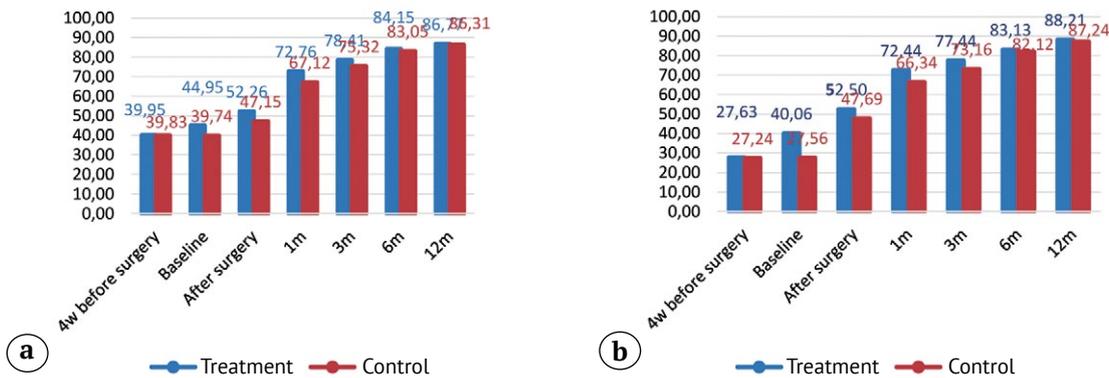


Fig. 2. Graphical representation of KSS (a) and patient function score (b) for treatment and control groups at different follow-up

DISCUSSION

In a randomized controlled experiment with 131 participants, L. Beaupre et al. published the findings of their preoperative exercise and education programme in 2004. Following the intervention programme or at any postoperative measurement point, there were no differences between the two groups in terms of knee measures (ROM and strength), pain, or function. Compared to the control group, patients in the treatment group required fewer postoperative rehabilitation services and were hospitalized for shorter periods of time, but these differences failed to reach statistical significance. Prior to surgery, patients in the treatment group participated in a four-week fitness and education programme. The aim of the exercise programme was to increase knee strength and mobility with straightforward exercises that were similar to those found in the postsurgical exercise programme. Exercises that build muscle and are isotonic were not added. This could be the cause of the stagnant increase in range of motion [21].

According to the results of his study, J.A. Rodgers found that physical therapy did not affect extension strength but did result in moderate increases in isokinetic flexion strength in these highly arthritic knees. Preoperative physical therapy had no impact on the postoperative decline in isokinetic strength. This study did not demonstrate any benefit from preoperative physical therapy before doing knee replacement surgery [22].

Prehabilitation improved the treatment group's leg strength and functional task performance as compared to the control group prior to TKA, according to the findings of A.M. Swank et al. Prehabilitation for a brief period of time (four to eight weeks) helped those with severe OA gain more strength and function [23].

The results of a study by C. McKay et al. showed that the intervention increased quadriceps strength,

walking speed, and mental health prior to TKA in a way that was clinically significant. In the 12 weeks following surgery, it did not provide patients with any long-term benefits [24].

According to R. Topp et al. exercisers engaged in prehabilitation activities including resistance training and flexibility. The results appeared to corroborate the idea of prehabilitation and show the effectiveness of prehabilitation among TKA patients [25].

F. Matassi et al. also stressed that exercise programs improve knee motion in the presence of arthritis in their study, Range of motion following total knee arthroplasty: the influence of a preoperative home exercise programme. Exercises for the arthritic knee before surgery aid in the quick recovery after primary TKA [26].

The key result of the current study was that a preoperative home exercise regimen improves TKA recovery. The current study supports earlier findings that patients with degenerative knee problems can benefit from a balanced exercise regimen in terms of improved mobility and function.

CONCLUSION

Patients' mobility and function may benefit from an exercise regimen. Our research demonstrates a statistically significant difference between the treatment and control groups for KSS and patient function score. Following the prehabilitation therapy, KSS and patient function score increased. In conclusion, prehabilitation significantly improves the KSS for the intervention group both before surgery and three months after surgery. Exercises done before to surgery help patients recover more quickly from TKA and may speed up the process of achieving a good flexion and extension range of motion. It can help patients stretch their knees to 90° earlier. After one month of being out of the hospital and up to one year following surgery, there is no persistent postoperative effect.

DISCLAIMERS

Author contribution

Pavith Janardhan T. — conception and design of study; acquisition, analysis and interpretation of data.

Pothuri Rishi Ram — acquisition of data, drafting the manuscript.

Praveen Narayan — analysis and interpretation of data.

Surya Sri Karun Ch. — drafting the manuscript.

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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Павит Джанардан Т. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных.

Потури Риши Рам — сбор данных, написание текста статьи.

Правин Нараян — анализ и интерпретация данных.

Сурья Шри Карун Ч. — написание текста.

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.

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 Sanjay Gandhi Institute of Trauma and Orthopaedics.

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

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 Институте травматологии и ортопедии Санджая Ганди.

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

REFERENCES

- Calatayud J., Casaña J., Ezzatvar Y., Jakobsen M.D., Sundstrup E., Andersen L.L. High-intensity preoperative training improves physical and functional recovery in the early post-operative periods after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(9):2864-2872. doi: 10.1007/s00167-016-3985-5.
- Allen K.D., Golightly Y.M. State of the evidence. *Curr Opin Rheumatol.* 2015;27(3):276-283. doi: 10.1097/BOR.0000000000000161.
- Glyn-Jones S., Palmer A.J.R., Agricola R., Price A.J., Vincent T.L., Weinans H. et al. Osteoarthritis. *Lancet.* 2015; 386(9991):376-387. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60802-3.
- Creamer P. Current perspectives on the clinical presentation of joint pain in human OA. *Novartis Found Symp.* 2004;260:64-74; discussion 74-78, 100-104, 277-279.
- Kamel H.K. Sarcopenia and aging. *Nutr Rev.* 2003;61 (5 Pt 1):157-67. doi: 10.1301/nr.2003.may.157-167.
- Hawker G.A., Guan J., Croxford R., Coyte P.C., Glazier R.H., Harvey B.J. et al. A prospective population-based study of the predictors of undergoing total joint arthroplasty. *Arthritis Rheum.* 2006;54(10):3212-3220. doi: 10.1002/art.22146.
- Hsu R.W., Tsai Y.H., Huang T.J. Hybrid total knee arthroplasty: A 3- to 6-year outcome analysis. *J Formos Med Assoc.* 1998;97(6):410-415.
- Stevens J.E., Mizner R.L., Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and volitional activation before and after total knee arthroplasty for osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2003;21(5):775-779. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00052-4.
- Lewek M.D., Rudolph K.S., Snyder-Mackler L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in individuals with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2004;22(1):110-115. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00154-2.
- Mizner R.L., Petterson S.C., Stevens J.E., Axe M.J., Snyder-Mackler L. Preoperative quadriceps strength predicts functional ability one year after total knee arthroplasty. *J Rheumatol.* 2005;32(8):1533-1539.
- Beaupre L.A., Lier D., Davies D.M., Johnston D.B. The effect of a preoperative exercise and education program on functional recovery, health related quality of life, and health service utilization following primary total knee arthroplasty. *J Rheumatol.* 2004;31(6):1166-1173.
- D'Lima D.D., Colwell C.W. Jr, Morris B.A., Hardwick M.E., Kozin F. The effect of preoperative exercise on total knee replacement outcomes. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(326):174-182. doi: 10.1097/00003086-199605000-00020
- Akagi M., Nakamura T., Matsusue Y., Ueo T., Nishijyo K., Ohnishi E. The bisurface total knee replacement: a unique design for flexion: four-to-nine year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(11):1626-1633. doi: 10.2106/00004623-200011000-00017.
- Ranawat C.S. Design may be counterproductive for optimizing flexion after TKR. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(416):174-176. doi: 10.1097/01.blo.0000093028.56370.46.
- Laubenthal K.N., Smidt G.L., Kettelkamp D.B. A quantitative analysis of knee motion during activities of daily living. *Phys Ther.* 1972;52(1):34-43. doi: 10.1093/ptj/52.1.34.
- Parsley B.S., Engh G.A., Dwyer K.A. Preoperative flexion: does it influence postoperative flexion after posterior cruciate-retaining total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(275):204-210.
- Ritter M.A., Harty L.D., Davis K.E., Meding J.B., Berend M.E. Predicting range of motion after total knee arthroplasty: clustering, log-linear regression and regression tree analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(7): 1278-1285. doi: 10.2106/00004623-200307000-00014.
- Kovar P.A., Allegrante J.P., MacKenzie C.R., Peterson M.G., Gutin B., Charlson M.E. Supervised fitness walking in patients with osteoarthritis of the knee. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 1992;116(7):529-534. doi: 10.7326/0003-4819-116-7-529.
- Marks R. The effect of isometric quadriceps strength training in mid-range for osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care Res.* 1993;6(1):52-56. doi: 10.1002/art.1790060110.
- Ettinger W.H., Burns R., Messier S.P., Applegate W., Rejeski W.J., Morgan T. et al. A randomized trial comparing aerobic exercise and resistance exercise with a health education programme in older adults with knee osteoarthritis. The fitness arthritis and senior trial (FAST). *JAMA.* 1997;277(1):25-31.
- Beaupre L., Davies D.M., Johnston D.B. The effect of a preoperative exercise and education program on functional recovery, health related quality of life, and health service utilization following primary TKA. *J Rheumatol.* 2004;31(6):1166-1173.
- Rodgers J.A., Garvin K.L., Walker C.W., Morford D., Urban J., Bedard J. Preoperative physical therapy in primary TKA. *J Arthroplasty.* 1998;13(4):414-421. doi: 10.1016/s0883-5403(98)90007-9.
- Swank A.M., Kachelman J.B., Bibeau W., Quesada P.M., Nyland J., Malkani A. et al. Prehabilitation before total knee arthroplasty increases strength and function in older adults with severe osteoarthritis. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):318-325. doi: 10.1519/JSC.0b013e318202e431.

24. McKay C., Prapavessis H., Doherty T. The effect of a prehabilitation exercise program on quadriceps strength for patients undergoing total knee arthroplasty: a randomized controlled pilot study. *PM R*. 2012;4(9):647-656. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.04.012.
25. Topp R., Swank A.M., Quesada P.M., Nyland J., Malkani A. The effect of prehabilitation exercise on strength and functioning after total knee arthroplasty. *PM R*. 2009;1(8):729-735. doi: 10.1016/j.pmrj.2009.06.003.
26. Matassi F., Duerinckx J., Vandenneucker H., Bellemans J. Range of motion after total knee arthroplasty: the effect of a preoperative home exercise program. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(3):703-709. doi: 10.1007/s00167-012-2349-z.

Authors' information

✉ *Surya Sri Karun Chintapalli*

Address: 1st Block, Byrasandra, Jayanagar East, Bangalore 560 011

<https://orcid.org/0000-0002-8062-4758>

e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Pavith Janardhan T.

<https://orcid.org/0000-0002-0591-9994>

e-mail: pavithjanardhan2301@gmail.com

Pothuri Rishi Ram

<https://orcid.org/0000-0003-0190-1612>

e-mail: rishiram.p@gmail.com

Praveen Narayan

<https://orcid.org/0000-0002-9973-3460>

e-mail: dr.praveennarayan@gmail.com

Сведения об авторах

✉ *Сурья Шри Карун Чинтапалли*

Адрес: Бангалор, Индия, Бирасандра, Восточный Джаянагар, 560 011

<https://orcid.org/0000-0002-8062-4758>

e-mail: srikarun.karun@gmail.com

Павит Джанардан Т.

<https://orcid.org/0000-0002-0591-9994>

e-mail: pavithjanardhan2301@gmail.com

Потури Риши Рам

<https://orcid.org/0000-0003-0190-1612>

e-mail: rishiram.p@gmail.com

Правин Нараян

<https://orcid.org/0000-0002-9973-3460>

e-mail: dr.praveennarayan@gmail.com



Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование

И.М. Щербаков, Е.С. Климашина, П.В. Евдокимов, А.А. Тихонов,
В.И. Путляев, Г.А. Шипунов, В.А. Зацепин, В.Э. Дубров, Н.В. Данилова,
П.Г. Мальков

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия

Актуальность. Проблема замещения дефектов кости актуальна в настоящее время, постоянно ведутся поиски новых синтетических костнозамещающих материалов, однако идеальный материал не найден до сих пор.

Цели исследования: 1) определение пригодности модели монокортикального дефекта диафиза бедренной кости крысы с дополнительным профилактическим армированием при помощи накостной пластины для оценки биологических свойств имплантируемых материалов на примере коммерчески доступного материала chronOS®; 2) оценка osteoconductive свойств композитных материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина и типа гирийд на разработанной модели.

Материал и методы. Монокортикальный дефект диафиза бедренной кости крыс размером 7 мм в длину производили под наркозом в асептических условиях операционной и фиксировали полиэфирэфиркетоновой пластиной и шестью титановыми винтами. Крыс распределяли случайным образом на четыре группы по 12 особей в каждой. В группе «Контроль» у животных костный дефект не заполняли. У животных в группе «Хронос» дефект заполняли подготовленным материалом chronOS® в виде полумонокортикального блока, в группе «Кельвин» — исследуемым материалом с архитектурой Кельвина, в группе «Гирийд» — исследуемым материалом с архитектурой типа гирийд. Через 3 и 6 нед. крыс выводили из эксперимента и производили гистологическое исследование зоны дефекта. Затем выполняли гистометрическую оценку количества новообразованной костной ткани с последующей статистической обработкой результатов.

Результаты. В ходе эксперимента все животные достигли планируемой конечной точки, инфекционные осложнения и потеря фиксации зафиксированы не были. При гистологическом исследовании зоны дефекта выявлен минимальный рост кости в группе «Контроль», достаточно медленное образование кости в материале группы «Гирийд» и статистически значимо более выраженное образование костной ткани в порах материалов в группах «Кельвин» и «Хронос».

Заключение. Разработанная модель дефекта кости спонтанно не заполняется костной тканью и позволяет проводить изучение биологических свойств костнопластических материалов (способность к биодеградации и osteoconductive свойства). Osteoconductive свойства композитного материала на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина выше, чем с архитектурой типа гирийд, и сопоставимы с таковыми у материала chronOS.

Ключевые слова: регенерация костной ткани, критический дефект, гидрогель, костнозамещающие материалы, 3D-печать.

Щербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г. Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального диафизарного дефекта бедренной кости крысы: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1): 25-35. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2039>.

✉ Щербаков Иван Михайлович; e-mail: imscherbackov@yandex.ru

Рукопись получена: 21.12.2022. Рукопись одобрена: 03.03.2023. Статья опубликована: 14.03.2023.

© Щербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В., Тихонов А.А., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Зацепин В.А., Дубров В.Э., Данилова Н.В., Мальков П.Г., 2023



Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study

Ivan M. Shcherbakov, Elena S. Klimashina, Pavel V. Evdokimov, Andrei A. Tikhonov, Valerii I. Putlayev, Georgii A. Shipunov, Vladislav A. Zatsepin, Vadim E. Dubrov, Natal'ia V. Danilova, Pavel G. Malkov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Background. The problem of bone defects replacement is relevant nowadays, that is why many scientists create new synthetic bone substitutes, but the «ideal» material has not been found so far.

The aims of the study: 1) to determine the suitability of the monocortical defect model in the rat femur diaphysis with additional prophylactic reinforcement with a bone plate for assessing the biological properties of implanted materials using the commercially available ChronOS® material as an example; 2) to assess of the osteoconductive properties of composite materials based on poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with architecture Kelvin and gyroid types on the developed model.

Methods. A prospective study, level of evidence II. A monocortical defect of the rat femoral diaphysis (length 7 mm) was produced under anaesthesia in aseptic conditions and fixed with a polyetheretherketone plate and six titanium screws. In the control group, the defect was left empty. In other groups, blocks of one of three materials were implanted — chronOS and composites of poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with 3D-printed Kelvin and gyroid architectures. After 3 and 6 weeks, the rats were sacrificed, and histological examination of the defect zone was performed. The amount of newly formed bone tissue was histometrically assessed, followed by statistical processing of the results.

Results. All rats have reached the planned endpoint, and there were no infectious complications or loss of fixation. Histological examination of the defect zone revealed minimal bone growth in the Control group, rather slow bone formation in the Gyroid group, and statistically significantly more pronounced bone formation in the pores of the materials in the Kelvin and Chronos groups.

Conclusions. Bone defect in this model was not spontaneously filled with bone tissue and allowed us to study the biological properties of bone substitutes (the ability to biodegrade and osteoconductive properties). The osteoconductive properties of a composite material based on poly(ethylene glycol)diacrylate and octacalcium phosphate with a Kelvin architecture are higher than with a gyroid architecture and are comparable to that of the chronOS.

Keywords: bone repair, critical-size defect, hydrogel, bone substitutes, 3D-printing.

Cite as: Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G. [Properties of Calcium Phosphate/Hydrogel Bone Grafting Composite on the Model of Diaphyseal Rat Femur's Defect: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):25-35. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2039>.

✉ Ivan M. Shcherbakov; e-mail: imscherbackov@yandex.ru

Submitted: 21.12.2022. Accepted: 03.03.2023. Published: 14.03.2023.

© Shcherbakov I.M., Klimashina E.S., Evdokimov P.V., Tikhonov A.A., Putlayev V.I., Shipunov G.A., Zatsepin V.A., Dubrov V.E., Danilova N.V., Malkov P.G., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Создание новых искусственных костнозамещающих материалов актуально, потому что потребность в них высока, однако до сих пор не создано ни универсального материала, удовлетворяющего всем клиническим требованиям, ни набора препаратов с четкими показаниями к применению в различных ситуациях [1, 2, 3, 4]. Развитие наук о материалах позволяет создавать большое количество соединений и композитов с вероятными клиническими свойствами (способность к биодеградации с заданной скоростью, остеокондуктивность, остеоиндуктивность и остеогенность). Однако только теоретически, без проведения исследований на животных моделях, подтвердить или опровергнуть наличие таких свойств невозможно [5, 6, 7].

Одним из перспективных направлений в материаловедении является создание костнозамещающих имплантатов с трехмерной архитектурой пор, позволяющей улучшить остеокондуктивные свойства при сохранении прочностных характеристик [8, 9, 10]. Одним из возможных материалов для заполнения дефектов костей могут быть композиты на основе гидрогелей с добавлением фосфатов кальция с соотношением по массе $Ca/P < 1,5$ (например, октакальциевый фосфат (ОКФ) с химической формулой $Ca_8(HPO_4)_2(PO_4)_4 \cdot 5H_2O$), имеющие большую скорость резорбции по сравнению с гидроксипатитом и трикальций фосфатом [11, 12]. Увеличение остеокондуктивных свойств свойственно для конструкций со связно-пористой архитектурой и долей пустот по объему более 75% [13]. Но такие параметры ставят задачу поиска их оптимального пространственного взаиморасположения без потери всей системой механической прочности. Одним из возможных путей решения такой задачи может быть применение современных методов топологической оптимизации [14, 15, 16]. Хорошую комбинацию механических свойств и физической проницаемости в расчетах показывают архитектуры Кельвина и типа гироид, однако реальные преимущества каждой из них требуют экспериментального подтверждения [17, 18].

Цели исследования:

1) определение пригодности модели монокортикального дефекта диафиза бедренной кости крысы с дополнительным профилактическим армированием при помощи наkostной пластины для оценки биологических свойств имплантируемых материалов на примере коммерчески доступного материала chronOS®;

2) оценка остеокондуктивных свойств композитных материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина и типа гироид на разработанной модели.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследуемые биорезорбируемые макропористые 3D-конструкции нового поколения представляют собой гидрогелевый композит, наполненный частицами фосфата кальция. В качестве непрерывной фазы композита был применен гидрогель на основе полиэтиленгликоль диакрилата (ПЭГ ДА). В качестве второй фазы композита использовался ОКФ — $Ca_8(HPO_4)_2(PO_4)_4 \cdot 5H_2O$.

Для синтеза гидрогелевых композитов использовали фотополимеризуемые суспензии на основе ПЭГ ДА, ОКФ, воды и фотоинициатора по методике, описанной в нашей предыдущей статье [19]. Для формирования вышеуказанных конструкций была выбрана стереолитографическая 3D-печать с помощью DLP-принтера Ember (Autodesk, США). При этом трехмерные модели структур были созданы с помощью компьютерных программ Monolith (Autodesk, США) и Fusion 360 (Autodesk, США).

Общая пористость созданных материалов по объему составила около 70%, основные каналы имеют размеры 1250 мкм и переходы между ними 750 мкм, что обеспечивает максимальную проницаемость таких архитектур. В процессе компьютерного конструирования для реализации цели исследования были выбраны 3D-модели со структурой Кельвина и типа гироид (рис. 1) [17, 19].

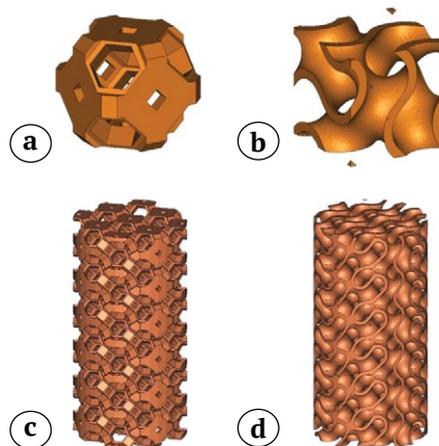


Рис. 1. Изометрическая проекция компьютерных моделей трехмерных структур с различными архитектурами: а — элементарная ячейка структуры Кельвина; б — элементарная ячейка структуры типа гироид; в — цилиндрическая структура с архитектурой Кельвина; д — цилиндрическая структура с архитектурой типа гироид

Fig. 1. Isometric projection of computer models of three-dimensional structures with different architectures: а — an elementary cell of a Kelvin type structure; б — an elementary cell of a Gyroid type structure; в — a cylindrical structure with a Kelvin type architecture; д — a cylindrical structure with a Gyroid type architecture

Структура Кельвина представляет собой плотную упаковку усеченных октаэдров со сквозными каналами, перпендикулярными каждой грани. Структура типа гироид представляет собой минимальную периодическую поверхность [20].

В качестве материала сравнения использовали широко распространенный полностью синтетический керамический материал на основе $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (трикальцийфосфат) chronOS® (DePuy Synthes, Johnson & Johnson, Швейцария), хаотичная пористость которого формируется путем неконтролируемого вспенивания и застывания исходного материала в промышленных условиях. В этом материале общая пористость по объему составляет около 55%, размер основных пор — 300 мкм, а переходы между ними — 50 мкм.

Животные

Исследование выполнено на 53 самцах крыс *Rattus norvegicus* линии Wistar в возрасте 25–30 нед. из ЦКП «SPF-виварий» Института цитологии и генетики СО РАН. Животных содержали в виварии в клетках, по 3 особи в каждой. Доступ к воде и корму был *ad libitum*.

Дизайн эксперимента, ход хирургического вмешательства, лабораторные исследования

Тип исследования — проспективное, уровень доказательности — II.

Для введения животных в состояние наркоза внутривенно вводили препараты Золетил 50 (Zoletil, Virbac Sante Animale, Франция) и Ксила (Xyla, Interchemie werken «De Adelaar B.V», Нидерланды) в дозах 6,25/6,25 мг/кг и 4 мг/кг соответственно.

В асептических условиях операционной после достижения хирургической стадии наркоза и очистки зоны операции от шерсти в положении крысы на правом боку на операционном столе производили разрез кожи в проекции бедренной кости длиной 6,0 см. Далее остро и тупо осуществляли доступ к диафизу бедренной кости по латеральной межмышечной перегородке. После

выполнения доступа в средней трети диафиза бедренной кости по дорсальной поверхности конической фрезой с алмазным напылением диаметром 2,3 мм с помощью аппарата Marathon-N2 (Saeyang Microtech, Республика Корея) выполняли дефект полуцилиндрической формы длиной 7 мм и радиусом 4 мм (рис. 2а).

Крыс распределяли случайным образом в четыре группы по 12 особей в каждой. В группе «Контроль» у животных костный дефект не заполняли. У животных в группе «Хронос» дефект заполняли подготовленным материалом chronOS® в виде полуцилиндрического блока, в группе «Кельвин» — исследуемым материалом с архитектурой Кельвина, в группе «Гироид» — исследуемым материалом с архитектурой типа гироид.

Кость армировали пластиной из полиэфифиркетона размерами 30,0×4,0×4,5 мм с ее размещением по тыльнолатеральной поверхности бедренной кости и фиксацией 6 титановыми винтами диаметром 1,2 мм, длиной 10 мм (Конмет, Россия), по 3 винта с каждой стороны дефекта (рис. 2б). После фиксации рану послойно ушивали, повязки не накладывали, иммобилизацию не применяли. Средняя длительность операции составила 39±8 мин. (от 23 до 54 мин.). Объем кровопотери составлял не более 1,0 мл.

Через 3 и 6 нед. после выполнения операции животных выводили из эксперимента по стандартной методике с использованием CO_2 -камеры с последующим забором материала (участок бедренной кости с дефектом) для гистологического исследования.

Фиксацию образцов выполняли в 10% нейтральном забуференном формалине на протяжении 24–48 ч. По прошествии этого времени материалы подвергали декальцинации в нейтральном растворе трилона Б 25% комнатной температуры на аппарате Orbital Shaker OS20 (Biosan, Латвия). После выполнения декальцинации по стандартной методике производили промывку в дистиллированной воде, гистологическую проводку и заливку. Далее изготавливали поперечные срезы парафиновых блоков толщиной 3–4 мкм, проводили их окраску гематоксилином и эозином.

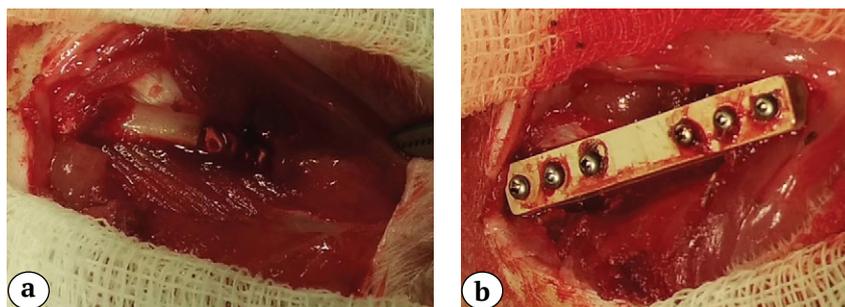


Рис. 2. Вид операционной раны: а — дефект с имплантированным материалом; б — аугментация кости пластиной и винтами

Fig. 2. The view of surgical wound: а — bone defect with implanted material; б — bone augmentation by plate and screws

Гистометрический анализ

Для оценки результатов проводили слепой гистометрический анализ. Изображения гистологических препаратов получали с помощью светового микроскопа Leica DM LB2 (Carl Zeiss, Германия) и цифровой камеры AxioCam ICc3 (Carl Zeiss, Германия). Оцифрованные изображения переводили в формат JPEG. Гистометрическую оценку проводили с помощью программы Fiji [21] при увеличении в 20 раз с измерением площади новообразованной костной ткани в лакунах материалов в мм². Новообразованную костную ткань определяли по характерной структуре и окраске. При этом учитывали зоны, не связанные с эндостом или толщей кортикальной кости, чтобы избежать включения разрастаний. Для каждого образца проводили вычисление на трех препаратах, всего для каждой группы получалось 18 значений (только для групп «Хронос 3 недели» и «Контроль 6 недель» — 15 значений).

Статистический анализ

Результаты каждой группы представляли в виде среднего, максимального и минимального значений. Для установления статистической значимости различий использовали вычисление непараметрического критерия Краскела–Уоллиса с помощью программы StatSoft Statistica 10.0 (2011) отдельно для групп со сроком вывода 3 нед. и 6 нед.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведения эксперимента от осложнений, связанных с наркозом, погибло 2 животных. У 4 животных в процессе проведения операции произошел ятрогенный перелом бедренной кости в области дефекта, в связи с чем была выполнена эвтаназия с помощью CO₂-камеры. У одного животного из группы «Хронос» (№ 12) на следующий

день после операции из-за агрессии соседей по клетке произошло расхождение послеоперационной раны с обширным дефектом мягких тканей, из-за чего по этическим соображениям выполнена эвтаназия. Остальные животные перенесли оперативное вмешательство и дожили до вывода из эксперимента без особенностей.

В процессе наблюдения за животными масса тела увеличивалась. Средняя масса крыс на момент ввода в эксперимент была 347 г, на момент вывода через 3 нед. — 398 г, через 6 нед. — 445 г. Значимая разница между группами по массе и ее приросту не зафиксирована.

Изменений поведения животных в процессе эксперимента не наблюдали. Все животные в послеоперационном периоде передвигались на четырех лапах без ограничений. У всех животных послеоперационные раны зажили первичным натяжением. Внешних признаков инфекционных осложнений зафиксировано не было. В процессе забора материала при осмотре зоны имплантации также не было зафиксировано признаков нагноения, повреждения или миграции фиксаторов, переломов кости.

В группе «Контроль» на гистологических срезах зона дефекта была заполнена грануляционной соединительной тканью. Формирование трабекул костной ткани, не связанной с эндостом, не отмечено ни через 3, ни через 6 нед., что позволяет считать данный дефект критическим (рис. 3).

В группе «Хронос» на всех препаратах был виден поперечный срез материала прямоугольной формы, внешние линейные размеры которого не менялись через 3 и 6 нед. Неорганическую основу блока идентифицировали как поля ячеистой бледно-серой структуры, не содержащей клеточных и волокнистых элементов. Практически всегда снаружи блок был окружен тонким слоем грануляционной соединительной ткани, при этом выраженной воспалительной реакции (большого

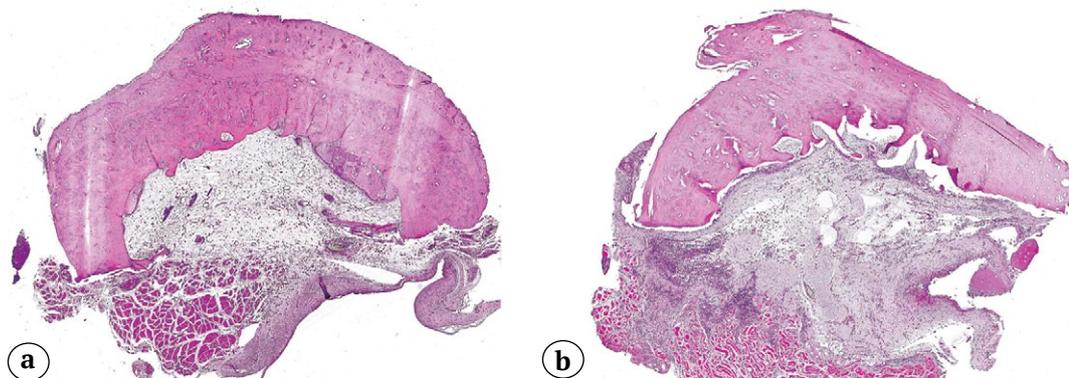


Рис. 3. Гистологические препараты поперечных срезов бедренной кости на уровне дефекта (группа «Контроль»): а — через 3 нед.; б — через 6 нед. Окрашивание гематоксилином и эозином. Ув. ×20

Fig. 3. The cross sections of femur at the defect level (Control group): а — after 3 weeks; б — after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×20

количества полиморфноядерных нейтрофилов, макрофагов или гигантских клеток инородных тел) не отмечалось ни через 3, ни через 6 нед.

Через 3 нед. было отмечено прорастание соединительной ткани с клеточными элементами и сосудами в поры по всей толще материала с формированием костных балок по периферии блока (в среднем 25–35 балок на срез). Через 6 нед. отмечено образование костных трабекул в порах по всему объему материала (рис. 4).

В группе «Гироид» на гистологических срезах обратило на себя внимание постоянное наличие округлых пустот, повторяющих контуры имплантируемых блоков материала, содержащих окрашиваемые в коричнево-красный цвет структуры, не содержащих клеточных элементов и волокон различной неправильной формы с наличием постоянных ленточных элементов строения (рис. 5). Эти ленточные структуры были расценены как остатки гидрогеля, из которого изготавливались блоки материала. На гистологических препаратах через 3 нед. с момента имплантации было отмечено полное

заполнение пор материала грануляционной соединительной тканью с образованием трабекул кости, однако через 6 нед. площадь новообразованной кости оказалась меньше, чем в группах «Хронос» и «Кельвин». При этом сам материал и его структура прослеживали на препаратах этого времени с большим трудом.

В группе «Кельвин» на гистологических препаратах также были выявлены зоны округлых пустот, повторяющих контуры имплантируемых блоков материала и содержащих меньшие по площади окрашиваемые в коричнево-красный цвет структуры без клеточных элементов и волокон (рис. 6). Форма этих пустот отличается от таковых на препаратах с имплантированным материалом с архитектурой типа гироид. Osteoconductive свойства материала с архитектурой Кельвина были выражены лучше, о чем говорит большая масса костной ткани вокруг материала и в его порах. По сравнению с гистологическими препаратами группы «Хронос» участки костной ткани были больше по площади и повторяли архитектуру пор материала.

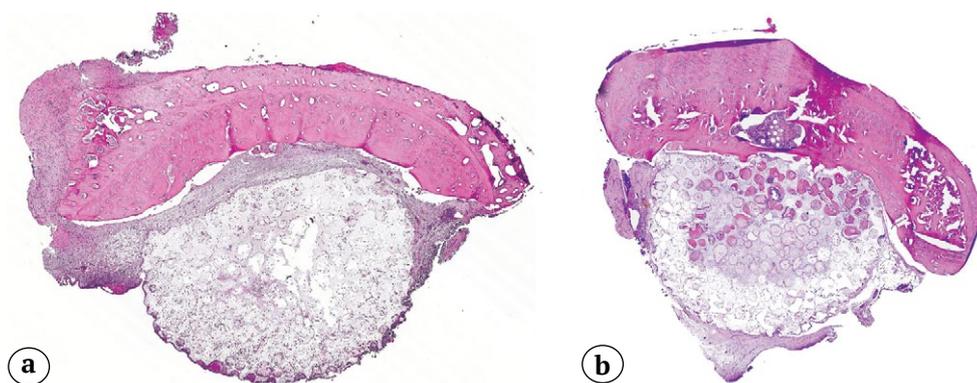


Рис. 4. Гистологические препараты поперечных срезов бедренной кости на уровне дефекта (группа «Хронос»): а — через 3 нед.; б — через 6 нед. Окрашивание гематоксилином и эозином. Ув. ×20

Fig. 4. The cross sections of femur at the defect level (Chronos group): a — after 3 weeks; b — after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×20

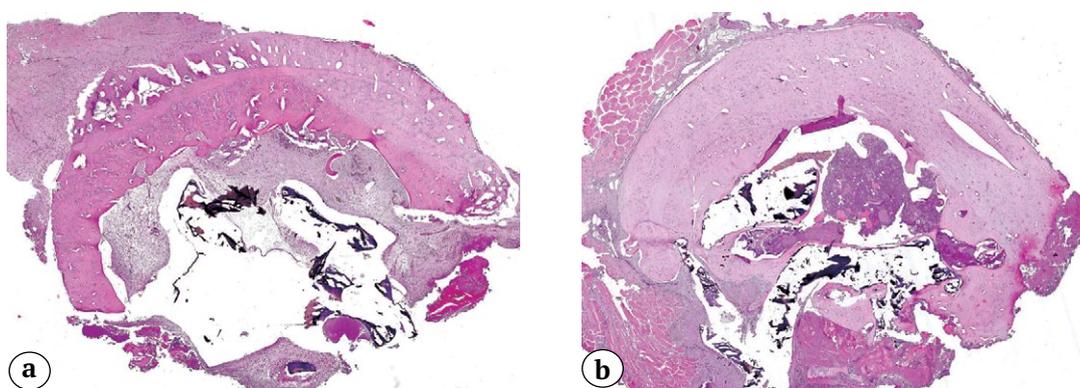


Рис. 5. Гистологические препараты поперечных срезов бедренной кости на уровне дефекта (группа «Гироид»): а — через 3 нед.; б — через 6 нед. Окрашивание гематоксилином и эозином. Ув. ×20

Fig. 5. The cross sections of femur at the defect level (Gyroid group): a — after 3 weeks; b — 6 after weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×20

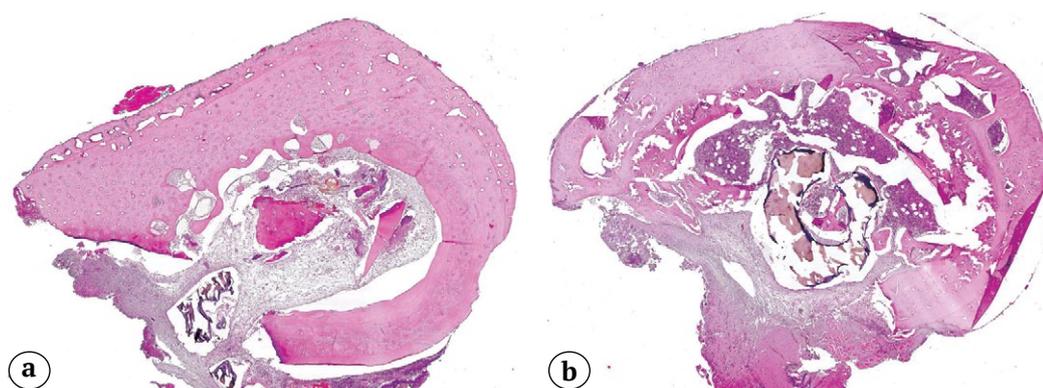


Рис. 6. Гистологические препараты поперечных срезов бедренной кости на уровне дефекта (группа «Кельвин»): а — через 3 нед.; б — через 6 нед. Окрашивание гематоксилином и эозином. Ув. $\times 20$

Fig. 6. The cross sections of femur at the defect level (Kelvin group): а — after 3 weeks; б — after 6 weeks. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 20$

Результаты вычисления площади новообразованной костной ткани во всех группах представлены в таблице 1.

Различия между группами по площади новообразованной костной ткани были статисти-

чески значимыми как для срока 3 нед. (Н критерий Краскела–Уоллиса составляет 57,4399, что соответствует $p < 0,01$), так и 6 нед. (Н критерий Краскела–Уоллиса составляет 38,4702, что соответствует $p < 0,01$).

Таблица 1

Распределение по группам исследования показателя площади новообразованной костной ткани

Группа	Срок наблюдения, нед.	Площадь новообразованной костной ткани, мм ²		
		Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
«Контроль»	3	0,0515	0	0,7070
	6	0,1462	0	0,8350
«Хронос»	3	0,3694	0,0920	0,7760
	6	1,1686	0,1570	3,1230
«Кельвин»	3	0,9107	0	1,8270
	6	1,2650	0,0870	2,9780
«Гироид»	3	0,0497	0	0,6060
	6	0,0853	0	0,6710

ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования биологических свойств материалов *in vivo* используются различные модели как по выбору животных (мыши [22], крысы [23, 24, 25, 26, 27], кролики [28], собаки [29], так и по методике имплантации. Очевидно, что дефект для изучения свойств материалов должен быть критическим, то есть не иметь возможности спонтанного замещения. В противном случае наличие материала будет даже замедлять замещение костной тканью и отражать только скорость его биодеградации.

Критические дефекты, описанные в литературе, условно можно разделить на два типа. К первому типу можно отнести дефекты, не требующие в силу своей стабильности дополнительной аугментации, профилактически предотвращающей патологический перелом оперируемой кости (округлые фрезевые дефекты черепа [25, 30, 31], округлые фрезевые дефекты эпифизов бедренной и большеберцовой костей [28]). Ко второму типу относятся дефекты, требующие стабилизации ввиду высокого риска переломов костей при обычной нагрузке — полные сегментарные дефекты бедрен-

ной кости, фиксированные штифтом [22], пластиной [32] или аппаратом наружной фиксации [33].

Выполнение исследований на дефектах без аугментации технически проще, однако такие дефекты по биологическим свойствам меньше соответствуют реальным клиническим ситуациям. Изучение сегментарных диафизарных дефектов продиктовано клиническим запросом на восстановление длины укороченной в силу различных причин конечности без использования длительных методик дистракционного остеогенеза или крайне трудоемких переносов трансплантатов на сосудистой ножке. Но такие модели технически сложны для выполнения и могут не подходить в качестве скрининговых. В настоящем исследовании была использована модель монокортикального дефекта диафиза бедра с фиксацией пластиной и винтами. Такой выбор обусловлен необходимостью сочетания критического дефекта диафизарной кости с надежной фиксацией материала в дефекте и обеспечения возможности полноценной локомоции животного в течение периода наблюдения без повышения риска перелома фиксатора и кости.

Предложенная модель создания дефекта продемонстрировала свои возможности, на что указывает отсутствие инфекционных и механических осложнений на сроке наблюдения до 6 нед. в условиях сохранной локомоторной функции крыс. Преимуществами этой модели по сравнению с другими способами фиксации являются размещение фиксатора в тканях и отсутствие элементов наружной фиксации, которые потенциально могут травмировать само животное или соседей по клетке [33]. От интрамедуллярного фиксатора предлагаемая модель отличается незанятостью костномозгового канала фиксатором и отсутствием необходимости размещать материал рядом с костью, что приближает нашу модель к клинической ситуации [22]. От полного дефекта нашу модель отличают простота хирургической техники и возможность надежной фиксации материала в зоне дефекта за счет конгруэнтности форм и прижатия пластиной [32].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Щербakov И.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи, статистическая обработка данных.

Климашина Е.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, редактирование текста статьи.

Евдокимов П.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Тихонов А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, редактирование текста статьи.

Настоящая работа показала, что монокортикальный дефект, как и полный, является критическим, на что указывает отсутствие спонтанного замещения костной тканью зоны резекции в срок 6 нед. Кроме того, предлагаемая биологическая модель пригодна для исследования потенциальных костнозамещающих материалов, о чем свидетельствует выраженное прорастание костной тканью материала ChronOS® с подтвержденными остеокондуктивными свойствами.

Второй целью нашей работы было установление влияния двух типов трехмерной архитектуры материала на остеокондуктивные свойства гидрогелей на основе полиэтиленгликоль диакрилата, нагруженных ОКФ. Влияние структуры пористого материала на прорастание костной ткани описано в литературе [18]. В результате исследования можно сделать вывод о превосходстве в плане остеокондуктивных свойств архитектуры Кельвина над архитектурой типа гироид у композитных материалов на основе ПЭГ ДА. Одной из причин этого может быть биологическое взаимодействие тканей с трехмерными порами, приводящее к запуску определенных механотрансдуктивных сигналов и направлению дифференцировки клеток-предшественников по пути остеобластов, лучше выраженное в структуре Кельвина. Дополнительными причинами могут являться более быстрая деградация и потеря прочности механической структуры, что на поздних сроках затруднило образование новой кости и по свойствам, вероятно, было сопоставимо с условиями в дефекте группы «Контроль».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель дефекта кости является критической и позволяет проводить изучение биологических свойств костнопластических материалов (способность к биодеградации и остеокондуктивные свойства). Остеокондуктивные свойства композитного материала на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата с архитектурой Кельвина выше, чем с архитектурой типа гироид.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shcherbakov I.M. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the draft, statistical analysis

Klimashina E.S. — concept and design of the study, collection and processing of material, text editing.

Evdokimov P.V. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the draft.

Tikhonov A.A. — collection and processing of material, text editing.

Путляев В.И. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, редактирование текста статьи.

Шипунов Г.А. — сбор и обработка материала.

Зацепин В.А. — сбор и обработка материала.

Дубров В.Э. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста статьи.

Данилова Н.В. — сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Мальков П.Г. — сбор и обработка материала, редактирование текста 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. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-79-20427).

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено Комитетом по биоэтике (№ 82-ж от 25.10.2018). Исследование проведено при соблюдении принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей и директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. по охране животных, используемых в научных целях.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Карякин Н.Н., Горбатов Р.О., Новиков А.Е., Нифтуллаев Р.М. Хирургическое лечение пациентов с опухолями длинных трубчатых костей верхних конечностей с использованием индивидуальных имплантатов из костнозамещающего материала, созданных по технологиям 3D-печати. *Гений ортопедии*. 2017;23(3):323-330. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-3-323-330. Karyakin N.N., Gorbатов R.O., Novikov A.E., Niftullaev R.M. [Surgical treatment of patients with tumors of long bones of upper limbs using tailored 3D printed bone substitute implants]. *Genij Ortopedii [Orthopaedic Genius]*. 2017;23(3):323-330. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-3-323-330.
- Касьянова Е.С., Копелев П.В., Александрова С.А. Оценка влияния модификации коллагеном I типа поверхности остеозамещающего материала "БИОСИТ СР ЭЛКОР" на жизнеспособность мезенхимных стромальных клеток костного мозга. *Бюллетень инновационных технологий*. 2018;2(3(7)):32-37. Kasyanova E.S., Kopelev P.V., Alexandrova S.A. [Analysis of the viability of bone marrow mesenchymal stromal cells cultivated on osteoreplacement material BIOSIT-SR ELCOR after surface modification by collagen type I]. *Byulleten' innovatsionnykh tekhnologii [Bulletin of Innovative Technologies]*. 2018;2(3(7)):32-37. (In Russian).

Putlayev V.I. — concept and design of the study, collection and processing of material, text editing.

Shipunov G.A. — collection and processing of material.

Zatsepin V.A. — collection and processing of material.

Dubrov V.E. — concept and design of the study, text editing.

Danilova N.V. — collection and processing of material, writing the draft.

Malkov P.G. — collection and processing of material, 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. The study was supported by the Russian Science Foundation (Grant No 17-79-20427).

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

Ethics approval. The study was approved by the local Ethics Committee of the Lomonosov Moscow State University (protocol No 82-zh, 25.10.2018). The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

- Крюков Е.В., Брижань Л.К., Хоминец В.В., Давыдов Д.В., Чирва Ю.В., Севастьянов В.И. и др. Опыт клинического применения тканеинженерных конструкций в лечении протяженных дефектов костной ткани. *Гений ортопедии*. 2019;25(1):49-57. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-49-57. Kryukov E.V., Brizhan' L.K., Khominets V.V., Davydov D.V., Chirva Yu.V., Sevastianov V.I. et al. [Clinical use of scaffold-technology to manage extensive bone defects]. *Genij Ortopedii [Orthopaedic Genius]*. 2019;25(1):49-57. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-49-57.
- Хоминец В.В., Воробьев К.А., Соколова М.О., Иванова А.К., Комаров А.В. Аллогенные остеопластические материалы для реконструктивной хирургии боевых травм. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090. Khominets V.V., Vorobev K.A., Sokolova M.O., Ivanova A.K., Komarov A.V. [Allogeneic osteoplastic materials for reconstructive surgery of combat injuries]. *Izvestiya Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii [Russian Military Medical Academy Reports]*. 2022;41(3):309-314. (In Russian). doi: 10.17816/rmmar109090.
- Bai X., Gao M., Syed S., Zhuang J., Xu X., Zhang X.Q. Bioactive hydrogels for bone regeneration. *Bioact Mater*. 2018;3(4):401-417. doi: 10.1016/j.bioactmat.2018.05.006.

6. van der Heide D., Cidonio G., Stoddart M.J., D'Este M. 3D printing of inorganic-biopolymer composites for bone regeneration. *Biofabrication*. 2022;14(4). doi: 10.1088/1758-5090/ac8cb2.
7. Wu Y., Zeng W., Xu J., Sun Y., Huang Y., Xiang D. et al. Preparation, physicochemical characterization, and in vitro and in vivo osteogenic evaluation of a bioresorbable, moldable, hydroxyapatite/poly(caprolactone-co-lactide) bone substitute. *J Biomed Mater Res A*. 2023;111(3):367-377. doi: 10.1002/jbm.a.37463.
8. Kitamura M., Ohtsuki C., Iwasaki H., Ogata S., Tanihara M., Miyazaki T. The controlled resorption of porous alpha-tricalcium phosphate using a hydroxypropylcellulose coating. *J Mater Sci Mater Med*. 2004;15(10):1153-1158. doi: 10.1023/B:JMSM.0000046399.40310.47.
9. Bohner M. Resorbable biomaterials as bone graft substitutes. 2010;13(1-2):24-30. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369702110700146>. doi: 10.1016/S1369-7021(10)70014-6.
10. Hing K.A. Bioceramic bone graft substitutes: influence of porosity and chemistry. *Int J Appl Ceram Technol*. 2005;2(3):184-199. doi: 10.1111/j.1744-7402.2005.02020.x.
11. Komlev V.S., Bozo I.I., Deev R.V., Gurin A.N. Bioactivity and effect of bone formation for octacalcium phosphate ceramics. In: *Octacalcium Phosphate Biomaterials*. 2020. p. 85-119. doi: 10.1016/B978-0-08-102511-6.00005-4. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081025116000054>.
12. Suzuki O. Octacalcium phosphate: osteoconductivity and crystal chemistry. *Acta Biomater*. 2010;6(9):3379-3387. doi: 10.1016/j.actbio.2010.04.002.
13. Miño-Fariña N., Muñoz-Guzón F., López-Peña M., Ginebra M.P., Del Valle-Fresno S., Ayala D. et al. Quantitative analysis of the resorption and osteoconduction of a macroporous calcium phosphate bone cement for the repair of a critical size defect in the femoral condyle. *Vet J*. 2009;179(2):264-272. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.09.011.
14. Sutradhar A., Paulino G.H., Miller M.J., Nguyen T.H. Topological optimization for designing patient-specific large craniofacial segmental bone replacements. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2010;107(30):13222-13227. doi: 10.1073/pnas.1001208107.
15. Al-Tamimi A.A., Peach C., Fernandes P.R., Cseke A., Bartolo P.J.D.S. Topology Optimization to Reduce the Stress Shielding Effect for Orthopedic Applications. *Procedia CIRP*. 2017;65:202-206. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827117305425>.
16. Querin O.M., Victoria M., Alonso C., Ansoła R., Martí P. Topology Optimization as a Digital Design Tool. In: *Topology Design Methods for Structural Optimization*. Elsevier; 2017. p. 93-111. doi: 10.1016/B978-0-08-100916-1.00006-4. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081009161000064>.
17. Тихонов А.А., Евдокимов П.В., Путляев В.И., Сафронова Т.В., Филиппов Я.Ю. О выборе архитектуры остеокондуктивных биокерамических имплантатов. *Материаловедение*. 2018;(8):43-48. doi: 10.31044/1684-579X-2018-0-8-43-48. Tikhonov A.A., Evdokimov P.V., Putlyayev V.I., Safronova T.V., Filippov Ya.Yu. [On architecture of osteoconductive bioceramic implants]. *Materialovedenie [Materials Science]*. 2018;(8):43-48. (In Russian). doi: 10.31044/1684-579X-2018-0-8-43-48.
18. Kapfer S.C., Hyde S.T., Mecke K., Arns C.H., Schröder-Turk G.E. Minimal surface scaffold designs for tissue engineering. *Biomaterials*. 2011;32(29):6875-6882. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.012.
19. Тихонов А.А., Кукуева Е.В., Евдокимов П.В., Климашина Е.С., Путляев В.И., Щербаков И.М. и др. Синтез замещенного октакальциевого фосфата для наполнения композитных имплантатов на основе полимерных гидрогелей, сформированных стереолитографической 3d-печатью. *Неорганические материалы*. 2018;54(10):1123-1132. doi: 10.1134/S0002337x18100172. Tikhonov A.A., Kukueva E.V., Evdokimov P.V., Klimashina E.S., Putlyayev V.I., Shcherbakov I.M. et al. [Synthesis of substituted octacalcium phosphate for filling composite implants based on polymer hydrogels produced by stereolithographic 3d printing] *Neorganicheskie materialy [Inorganic Materials]*. 2018;54(10):1123-1132. (In Russian). doi: 10.1134/S0002337x18100172.
20. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V., Longair M., Pietzsch T. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods*. 2012;9(7):676-682. doi: 10.1038/nmeth.2019.
21. Mohiuddin O.A., Campbell B., Poche J.N., Ma M., Rogers E., Gaupp D. et al. Decellularized Adipose Tissue Hydrogel Promotes Bone Regeneration in Critical-Sized Mouse Femoral Defect Model. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019;7:211. doi: 10.3389/fbioe.2019.00211.
22. Dau M., Ganz C., Zaage F., Frerich B., Gerber T. Hydrogel-embedded nanocrystalline hydroxyapatite granules (Elastic blocks) based on a cross-linked polyvinylpyrrolidone as bone grafting substitute in a rat tibia model. *Int J Nanomedicine*. 2017;12:7395-7404.
23. Frasca S., Norol F., Le Visage C., Collombet J.M., Letourneur D., Holy X. et al. Calcium-phosphate ceramics and polysaccharide-based hydrogel scaffolds combined with mesenchymal stem cell differently support bone repair in rats. *J Mater Sci Mater Med*. 2017;28(2):35. doi: 10.1007/s10856-016-5859-6.
24. Lohmann P., Willuweit A., Neffe A.T., Geisler S., Gebauer T.P., Beer S. et al. Bone regeneration induced by a 3D architected hydrogel in a rat critical-size calvarial defect. *Biomaterials*. 2017;113:158-169. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.10.039.
25. Каралкин П.А., Сергеева Н.С., Комлев В.С., Свиридова И.К., Кирсанова В.А., Ахмедова С.А. и др. Биосовместимость и остеопластические свойства минерал-полимерных композиционных материалов на основе альгината натрия, желатина и фосфатов кальция, предназначенных для 3D-печати костнозамещающих конструкций. *Гены и клетки*. 2016;11(3):94-101. Karalkin P.A., Sergeeva N.S., Komlev V.S., Sviridova I.K., Kirsanova V.A., Akhmedova S.A. et al. [Biocompatibility and osteoplastic properties of mineral polymer composite materials based on sodium alginate, gelatin, and calcium phosphates intended for 3d-printing of the constructions for bone replacement]. *Geny i kletki [Genes and Cells]*. 2016;11(3):94-101. (In Russian).
26. Мураев А.А., Бонарцев А.П., Гажва Ю.В., Рябова В.М., Волков А.В., Жаркова И.И. и др. Разработка и доклинические исследования ортотопических костных имплантатов на основе гибридной конструкции из поли-3-оксибутирата и альгината натрия. *Современные технологии в медицине*. 2016;8(4):42-49.

- Muraev A.A., Bonartsev A.P., Gazhva Yu.V., Riabova V.M., Volkov A.V., Zharkova I.I., et al. [Development and Preclinical Studies of Orthotopic Bone Implants Based on a Hybrid Construction from Poly(3-Hydroxybutyrate) and Sodium Alginate]. *Sovremennye tehnologii v medicine* [Modern Technologies in Medicine]. 2016;8(4):42. (In Russian). doi: 10.17691/stm2016.8.4.06.
28. Bi S., Wang P., Hu S., Li S., Pang J., Zhou Z. et al. Construction of physical-crosslink chitosan/PVA double-network hydrogel with surface mineralization for bone repair. *Carbohydr Polym.* 2019;224:115176. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115176.
29. Лунева С.Н., Талашова И.А., Осипова Е.В., Накоскин А.Н., Еманов А.А. Влияние состава биокомпозиционных материалов, имплантированных в дырчатые дефекты метафиза, на репаративную регенерацию и минерализацию костной ткани. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2013;156(8):255-259.
Luneva S.N., Talashova I.A., Osipova E.V., Nakoskin A.N., Emanov A.A. [Influence of the Composition of Biocomposite Materials Implanted in Perforated Metaphyseal Defects on Reparative Regeneration and Mineralization of Bone Tissue] *Vyulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2013;156(8): 255-259. (In Russian).
30. Susin C., Lee J., Fiorini T., Koo K.T., Schüpbach P., Finger Stadler A. et al. Screening of Hydroxyapatite Biomaterials for Alveolar Augmentation Using a Rat Calvaria Critical-Size Defect Model: Bone Formation/Maturation and Biomaterials Resolution. *Biomolecules.* 2022;12(11):1677. doi: 10.3390/biom12111677.
31. Wang M., Gu Z., Li B., Zhang J., Yang L., Zheng X. et al. Bioactive Nanocomposite Microsponges for Effective Reconstruction of Critical-Sized Calvarial Defects in Rat Model. *Int J Nanomedicine.* 2022;17:6593-6606. doi: 10.2147/IJN.S389194.
32. van der Stok J., Koolen M.K., de Maat M.P., Yavari S.A., Alblas J., Patka P. et al. Full regeneration of segmental bone defects using porous titanium implants loaded with BMP-2 containing fibrin gels. *Eur Cell Mater.* 2015;29:141-153; discussion 153-154. doi: 10.22203/ecm.v029a11.
33. Ando K., Imagama S., Kobayashi K., Ito K., Tsushima M., Morozumi M. et al. Effects of a self-assembling peptide as a scaffold on bone formation in a defect. *PLoS One.* 2018;13(1):e0190833. doi: 10.1371/journal.pone.0190833.

Сведения об авторах

- ✉ Щербakov Иван Михайлович
Адрес: Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
<https://orcid.org/0000-0001-5487-9039>
e-mail: imscherbackov@yandex.ru
- Климашина Елена Сергеевна — канд. хим. наук
<https://orcid.org/0000-0002-7441-7381>
e-mail: alenakovaleva@gmail.com
- Евдокимов Павел Владимирович — канд. хим. наук
<https://orcid.org/0000-0003-4398-054X>
e-mail: pavel.evdokimov@gmail.com
- Тихонов Андрей Александрович
<https://orcid.org/0000-0003-3372-5393>
e-mail: andytikhon94@gmail.com
- Путляев Валерий Иванович — канд. хим. наук
<https://orcid.org/0000-0001-7601-6787>
e-mail: valery.putlayev@gmail.com
- Шипунов Георгий Александрович
<https://orcid.org/0000-0003-4495-7050>
e-mail: shipunovgeorge@gmail.com
- Зацепин Владислав Александрович
<https://orcid.org/0000-0001-8233-2989>
e-mail: gyglvladislav@gmail.com
- Дубров Вадим Эрикович — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com
- Данилова Наталья Владимировна — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0001-7848-6707>
e-mail: natalyadanilova@gmail.com
- Мальков Павел Георгиевич — канд. мед. наук
<http://orcid.org/0000-0001-5074-3513>
e-mail: malkovp@fbm.msu.ru

Authors' information

- ✉ Ivan M. Shcherbakov
Address: 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5487-9039>
e-mail: imscherbackov@yandex.ru
- Elena S. Klimashina — Cand. Sci. (Chem.)
<https://orcid.org/0000-0002-7441-7381>
e-mail: alenakovaleva@gmail.com
- Pavel V. Evdokimov — Cand. Sci. (Chem.)
<https://orcid.org/0000-0003-4398-054X>
e-mail: pavel.evdokimov@gmail.com
- Andrei A. Tikhonov
<https://orcid.org/0000-0003-3372-5393>
e-mail: andytikhon94@gmail.com
- Valerii I. Putlayev — Cand. Sci. (Chem.)
<https://orcid.org/0000-0001-7601-6787>
e-mail: valery.putlayev@gmail.com
- Georgii A. Shipunov
<https://orcid.org/0000-0003-4495-7050>
e-mail: shipunovgeorge@gmail.com
- Vladislav A. Zatsepin
<https://orcid.org/0000-0001-8233-2989>
e-mail: gyglvladislav@gmail.com
- Vadim E. Dubrov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com
- Natal'ia V. Danilova — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0001-7848-6707>
e-mail: natalyadanilova@gmail.com
- Pavel G. Malkov — Cand. Sci. (Med.)
<http://orcid.org/0000-0001-5074-3513>
e-mail: malkovp@fbm.msu.ru

Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование

О.П. Савчук¹, Д.В. Тапальский¹, Д.А. Зиновкин¹, В.И. Николаев¹,
М.А. Ярмоленко², А.А. Рогачев³

¹ УО «Гомельский государственный медицинский университет»,
г. Гомель, Республика Беларусь

² УО «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь

³ Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Актуальность. Защита от микробной колонизации поверхности фиксаторов для металлоостеосинтеза способна сократить количество инфекционных осложнений.

Цель исследования — экспериментально оценить ранние перифокальные тканевые реакции на металлические имплантаты с композиционным антибактериальным покрытием в условиях микробной нагрузки.

Материал и методы. Фрагменты стальных спиц для остеосинтеза диаметром 1 мм с нанесенным четырехкомпонентным антибактериальным покрытием на основе полилактида, полиуретана, ципрофлоксацина и наночастиц серебра контаминировали культурой метициллинорезистентного *S. aureus* (MRSA) 43431 и имплантировали крысам в толщу четырехглавой мышцы бедра. В качестве контрольных имплантировали контаминированные спицы без покрытия. На 2-е, 4-е и 7-е сут. после имплантации животных выводили из эксперимента. Готовили патогистологические препараты тканей вокруг имплантатов. Выполняли полуколичественную оценку тканевых реакций.

Результаты. Микробная нагрузка перед имплантацией составляла $(1,12 \pm 0,26) \times 10^6$ клеток *S. aureus* для контрольных имплантатов и $(0,86 \pm 0,31) \times 10^6$ клеток для имплантатов с антибактериальным покрытием. Тканевые реакции воспалительного характера на 2-е сут. имплантации были одинаково выражены в контрольной и экспериментальной группах. К 4-м сут. отмечено значимое снижение количества иммунных клеток и некротического детрита, а также усиление разрастания соединительной ткани и неоангиогенеза в экспериментальной группе. К 7-м сут. отмечено появление менее выраженной, хорошо васкуляризованной фиброзной капсулы вокруг экспериментальных имплантатов, что указывает на более благоприятное заживление мягких тканей в сравнении с контролем.

Заключение. Слабовыраженные морфологические проявления тканевых реакций в ответ на внедрение контаминированных имплантатов с антибактериальным покрытием могут быть связаны как с прямым противомикробным действием компонентов покрытия, так и с противовоспалительной активностью входящих в его состав наночастиц серебра и ципрофлоксацина.

Ключевые слова: имплантаты, антибактериальное покрытие, ципрофлоксацин, наночастицы серебра, *Staphylococcus aureus*, контаминация, тканевые реакции.

📖 Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А. Перифокальные реакции мягких тканей на введение контаминированных имплантатов с композиционным антибактериальным покрытием: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):36-45. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2000>.

✉ Тапальский Дмитрий Викторович; e-mail: tapalskiy@gmail.com

Рукопись получена: 03.10.2022. Рукопись одобрена: 01.02.2023. Статья опубликована онлайн: 15.02.2023.

© Савчук О.П., Тапальский Д.В., Зиновкин Д.А., Николаев В.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., 2023



Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experimental Study

Oleg P. Savchuk¹, Dmitry V. Tapalski¹, Dmitry A. Zinovkin¹, Vladimir I. Nikolaev¹, Maksim A. Yarmolenko², Aleksandr A. Rogachev³

¹ Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

² Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

³ Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Background. Protection against microbial colonization of surface fixators for metal osteosynthesis can reduce the number of infectious complications.

The aim of the study was to experimentally assess early perifocal tissue reactions to metal implants with a composite antibacterial coating under microbial load.

Methods. Fragments of steel pins for osteosynthesis (diameter 1 mm) with a four-component antibacterial coating based on polylactide, polyurethane, ciprofloxacin and silver nanoparticles were contaminated by methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) 43431. They were implanted in rats within the quadriceps femoris. Contaminated uncoated pins were used as a control. The animals were withdrawn from the experiment on the 2nd, 4th, 7th day after implantation. Histopathological specimens from tissue around implants were prepared. A semiquantitative assessment of reactions was performed.

Results. The microbial load before implantation was $(1.12 \pm 0.26) \times 10^6$ *S. aureus* cells for the control implants and $(0.86 \pm 0.31) \times 10^6$ cells for implants with antibacterial coating. Tissue inflammatory reactions on the second day of implantation were equally evident in the control and investigated groups. There was a significant reduction in the number of immune cells and necrotic detritus, as well as increased growth of connective tissue and neoangiogenesis in the experimental group by the 4th day. The appearance of a less pronounced well-vascularized fibrous capsule around the experimental implants was noted by the 7th day. It indicates a more favorable healing of soft tissues in comparison with the control.

Conclusion. Weak morphological manifestations of tissue reactions in response to the fitting of contaminated implants with an antibacterial coating can be associated with both the direct antimicrobial effect of the coating components and the anti-inflammatory activity of silver nanoparticles and ciprofloxacin included in its composition.

Keywords: implants, antibacterial coating, ciprofloxacin, silver nanoparticles, *Staphylococcus aureus*, contamination, tissue reactions.

Cite as: Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A. [Perifocal Soft Tissue Reactions in Response to Contaminated Implants With a Composite Antibacterial Coating: Experiment]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):36-45. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2000>.

✉ Dmitry V. Tapalski; e-mail: tapalskiy@gmail.com

Submitted: 03.10.2022. Accepted: 01.02.2023. Published Online: 15.02.2023.

© Savchuk O.P., Tapalski D.V., Zinovkin D.A., Nikolaev V.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Частота ранней раневой инфекции области хирургического вмешательства после внутреннего остеосинтеза при закрытых переломах составляет от 0,5 до 10,0%, а при открытых переломах — до 50% [1]. В этиологической структуре имплантат-ассоциированных инфекций доминируют *Staphylococcus aureus* и коагулазонегативные стафилококки [2, 3].

Активная защита от микробной колонизации поверхностей имплантируемых фиксаторов для остеосинтеза является многообещающей стратегией, которая позволит значительно сократить количество послеоперационных раневых инфекционных осложнений [4, 5]. Разработано множество различных типов покрытий, обеспечивающих локальную противомикробную активность или доставку антимикробных веществ в область хирургического вмешательства. Главными недостатками большинства из них являются неоптимальная кинетика высвобождения антибактериальных веществ, которая чаще всего бывает слишком быстрой и не обеспечивает защиту поверхности на протяжении всего периода имплантации, возможность индуцирования устойчивости микроорганизмов к антибиотикам, высокая восприимчивость к механическим воздействиям [6, 7].

Поверхности имплантатов могут быть химически модифицированы или физически покрыты различными антибактериальными веществами, например наночастицами металлов, полимерами, гидрогелями и антибиотиками [8, 9].

На основании результатов комплекса физико-химических и медико-биологических исследований нами были разработаны и оптимизированы составы многокомпонентных покрытий, в которых в качестве полимерной матрицы выступают полиуретан, биосовместимый и биodeградируемый полилактид, а в качестве биоцидных компонентов — ципрофлоксацин и наночастицы серебра. Покрытия наносятся на металлические подложки (титан, нержавеющая сталь) методом электронно-лучевого осаждения из активной газовой фазы [10, 11].

Установлен выраженный бактерицидный эффект синтезированных покрытий и показана его универсальность в отношении микроорганизмов различных таксономических групп, не зависящая от сопутствующей устойчивости к антибактериальным препаратам. Выявлена способность полного предотвращения формирования микробных биопленок. С использованием клеточных культур НЕр-2, НаСаТ и первичной культуры фибробластов сделано заключение о биосовместимости четырехкомпонентного антибактериального покрытия полиуретан-полилактид-ципрофлоксацин-хло-

рид серебра и отсутствию у него цитотоксичности. Исследование местного действия после имплантации нелинейным крысам показало, что титановые имплантаты с композиционным антибактериальным покрытием обладают большей биосовместимостью и лучшей биоинтеграцией в окружающую соединительную ткань по сравнению с имплантатами без покрытий [12, 13].

На сегодняшний день изучение антибактериальной активности и биологической совместимости имплантатов с четырехкомпонентным композиционным покрытием в условиях контаминации клинически значимыми антибиотикорезистентными микроорганизмами является актуальным.

Цель исследования — экспериментально оценить ранние перифокальные тканевые реакции на металлические имплантаты с композиционным антибактериальным покрытием в условиях микробной нагрузки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Имплантаты

Использовали фрагменты спиц для остеосинтеза диаметром 1 мм и длиной 20 мм из коррозионностойкой стали аустенитного класса (Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Беларусь, ТУ РБ 14576608.002-2000). Четырехкомпонентное композиционное антибактериальное покрытие на основе полиуретана, полилактида, ципрофлоксацина и наночастиц серебра наносили вакуумно-плазменным методом из активной газовой фазы [10, 12]. Контрольные имплантаты не имели покрытия на своей поверхности.

Стерилизацию имплантатов проводили паровым методом в режиме давления пара $0,11 \pm 0,02$ Мпа при температуре 121°C, экспозиция 45 мин.

Культура микроорганизмов

В качестве тест-культуры использовали штамм метициллин-резистентного *S. aureus* (MRSA) 43431 из коллекции НИИ антимикробной химиотерапии Смоленского государственного медицинского университета. Штамм был выделен от пациента с посттравматическим остеомиелитом, характеризовался выраженной способностью к формированию микробной биопленки и имел устойчивость к оксациллину (минимальная подавляющая концентрация 256 мг/л), гентамицину (64 мг/л), тетрациклину (32 мг/л), рифампицину (256 мг/л), ципрофлоксацину (256 мг/л), левофлоксацину (32 мг/л).

Контаминация имплантатов

Из суточной культуры *S. aureus* 43431 в стерильном изотоническом растворе хлорида натрия готовили суспензию с оптической плотностью

1 МакФарланд (2×10^8 клеток/мл). Стерильным пинцетом погружали имплантаты в бактериальную суспензию, после чего переносили в стерильные пробирки Эппендорф объемом 1,5 мл (отдельная пробирка для каждого имплантата). Пробирки выдерживали открытыми в ламинарном боксе в течение 2 ч., после высушивания имплантатов пробирки закрывали и хранили при $+8^\circ\text{C}$ не более суток до проведения имплантации. Для подтверждения наличия жизнеспособных микробных клеток на поверхности имплантатов и определения их количества для части образцов экспериментальной и контрольной групп делался посев на поверхность кровяного агара полуколичественным методом D. Maki с соавторами [14]. Также выполнялось ресуспендирование микробных клеток в 1 мл стерильного изотонического раствора с последующим количественным исследованием. Исследование выполнялось в шести повторах.

Общая характеристика животных

В экспериментальное исследование были включены 30 крыс линии Вистар обоего пола в возрасте 9–10 нед. весом $272,0 \pm 16,6$ г. При распределении животных в группы проводилась их рандомизация с использованием генератора случайных чисел. Хирургическая операция, последующая имплантация металлоконструкции, выхаживание и содержание животных, выведение их из эксперимента и забор материала выполнялись в выделенном отдельном боксе, который соответствовал всем правилам и нормам при работе с патогенными микроорганизмами.

Имплантация

Выполнялась общая ингаляционная анестезия препаратом «Севофлуран» (Фармлэнд, Беларусь). Положение животного — на спине. Задние конечности фиксировались в положении отведения. Кожа бедренно-ягодичной области обрабатывалась дважды антисептиком «Септоцид Р» (БелАсептика, Беларусь). Скальпелем по передней поверхности бедра продольно на протяжении 2 см послойно рассекались кожа, подкожная клетчатка, фасция и мышцы до бедренной кости. Края кожной раны разводились крючками. В толщу четырехглавой мышцы продольно имплантировалось по одному фрагменту спицы. После этого операционная рана послойно ушивалась наглухо узловыми капроновыми швами без дренирования. В дальнейшем крысы находились в индивидуальных клетках для предотвращения перегрызания лигатур и нанесения дополнительных травм друг другу. Нагрузка конечности после имплантации спиц искусственно не ограничивалась. Падежа животных за весь период наблюдения, вплоть до выведения из эксперимента, не отмечалось.

Изготовление патогистологических препаратов

Животных выводили из эксперимента по 10 особей в контрольной и экспериментальной группах на 2-е, 4-е и 7-е сут. после имплантации путем декапитации под ингаляционным наркозом. Имплантаты удаляли, фрагменты тканей, прилежащих к месту имплантации, фиксировали в 10% растворе забуференного нейтрального формалина в течение 48 ч. Фиксированные мышцы разрезали перпендикулярно ходу раневого канала на пластины толщиной не более 3 мм и укладывали в гистологические кассеты. Биоптаты укладывали в гистологический процессор Thermo Microm STP-120 (Thermo Scientific, США). Выполнялись гистологическая проводка в возрастающих концентрациях изопропилового спирта, изопропилового спирта и вазелинового масла, а также инфильтрация тканей парафином в средах вазелиновое масло и парафин, парафин. Фрагменты тканей заливали в парафиновые блоки, из которых при помощи санного микротомы Thermo Fisher Scientific HM 450 (Thermo Scientific, США) готовили гистологические срезы толщиной 5–7 мкм. Полученные срезы переносили на предметные стекла, окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике и заключали под покровные стекла.

Морфометрическая оценка

Оценка периимплантных тканевых реакций проводилась с использованием полуколичественной шкалы на основе ГОСТ Р ИСО 10993-6-2009 «Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий». Часть 6 «Исследование местного действия после имплантации». Микроскопию проводили с применением микроскопа Nikon Eclipse 50i (Nikon, Япония) при увеличении $\times 400$ в 10 неперекрывающихся полях зрения.

Статистический анализ

Тест Шапиро–Уилка выявил, что распределение показателей отличалось от нормального ($p < 0,05$), в связи с чем результаты были представлены медианой (25- и 75-процентилями). Сравнения групп проводились с использованием теста Манна–Уитни. Сравнение баллов производили, используя тест Краскела–Уоллиса с применением критерия Данна. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Статистический анализ проводили с использованием пакета программ GraphPad Prism v 9.01 (GraphPad Software, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В предварительном микробиологическом исследовании подтверждено присутствие жизнеспособных бактериальных клеток на поверхности контаминированных контрольных и эксперимен-

тальных образцов. Расчетная микробная нагрузка составляла 10^6 микробных клеток *S. aureus* 43431 на образец. При посевах контаминированных контрольных и экспериментальных имплантатов на кровяной агар полуколичественным методом D. Маки отмечался обильный микробный рост. Фактическая микробная нагрузка, определенная при ресуспендировании микробных клеток с поверхности контаминированных имплантатов с последующим количественным посевом, составляла $(1,12 \pm 0,26) \times 10^6$ клеток для контрольных имплантатов и $(0,86 \pm 0,31) \times 10^6$ клеток — для экспериментальных имплантатов с антибактериальным покрытием.

При проведении гистологического исследования на 2-е сут. в месте имплантации как контрольных, так и экспериментальных спиц отмечались обширные участки некроза с плотными нейтрофильными инфильтратами в местах непосредственного контакта с поверхностью имплантата (рис. 1).

По периферии некротически измененных тканей располагались небольшие группы лимфоцитов, плазмочитов и макрофагов. Единичные пролиферирующие фибробласты отмечались только в группе животных с контаминированным имплантатом. Сравнение параметров тканевых реакций представлено в таблице 1.

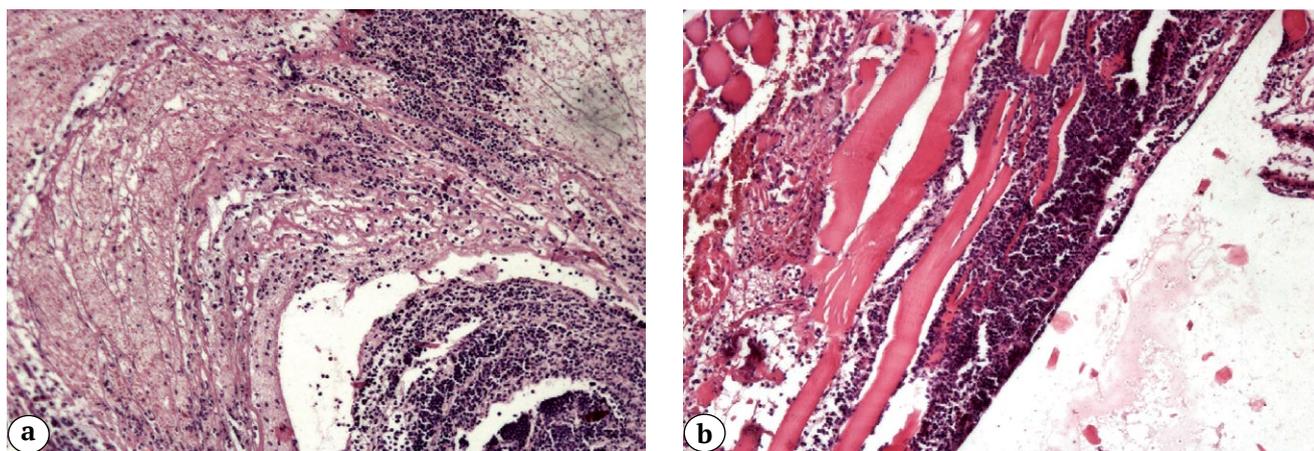


Рис. 1. Патогистологическая картина в месте имплантации на 2-е сут.: а — в контрольной группе; б — в экспериментальной группе. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 200$

Fig. 1. Pathohistological picture at the site of implantation on the 2nd day: а — in the control group; б — in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 200$

Таблица 1

Характеристика тканевых реакций в ответ на имплантацию контаминированных спиц, содержащих и не содержащих антибактериальное покрытие, баллы

Параметр	2-е сут.		4-е сут.		7-е сут.	
	эксперимент	контроль	эксперимент	контроль	эксперимент	контроль
Полиморфноядерные лейкоциты	4,0 (4,0;4,0)	4,0 (4,0;4,0)	2,2 (2,0;2,5)	2,7 (2,2;3,1)	0,1 (0,0;0,5)	0,4 (0,3;0,5)
	$p = 1,00$		$p = 0,1060$		$p = 0,0080$	
Лимфоциты	3,4 (3,2;3,6)	3,4 (3,2;3,6)	3,2 (3,0;3,3)	3,6 (3,6;3,9)	1,3 (1,0;1,4)	1,0 (1,0;1,3)
	$p = 1,00$		$p = 0,0022$		$p = 0,3720$	
Плазматические клетки	2,0 (2,0;2,0)	2,0 (2,0;2,0)	1,0 (0,8;1,3)	1,6 (1,5;1,9)	0,8 (0,8;0,8)	1,4 (1,2;1,4)
	$p = 1,00$		$p = 0,0043$		$p = 0,0022$	
Макрофаги	1,8 (1,6;2,8)	1,9 (1,6;2,8)	1,3 (1,0;1,8)	2,5 (2,1;3,0)	0,5 (0,4;0,7)	0,8 (0,6;1,1)
	$p = 1,00$		$p = 0,0022$		$p = 0,1320$	
Гигантские клетки	–	–	2,0 (2,0;2,3)	2,7 (2,2;2,8)	0,2 (0,1;0,4)	1,0 (1,0;1,0)
	–		$p = 0,0470$		$p = 0,0022$	

Окончание таблицы 1

Параметр	2-е сут.		4-е сут.		7-е сут.	
	эксперимент	контроль	эксперимент	контроль	эксперимент	контроль
Некроз	4 (3,8;4,0)	3,9 (3,8;4,0)	0,4 (0,4;0,9)	1,2 (1,2;1,4)	0,0 (0,0;0,2)	0,0 (0,0;0,0)
	$p = 1,0000$		$p = 0,0022$		$p = 0,4500$	
Неоваскуляризация	-	-	0,4 (0,4;0,5)	1,5 (1,4;1,7)	1,4 (1,2;1,7)	0,3 (0,4;0,5)
	-		$p = 0,0020$		$p = 0,0020$	
Фиброз	0,2 (0,0;0,4)	0,0 (0,0;0,0)	2,1 (1,7;2,3)	2,8 (2,6;2,8)	1,0 (1,1;1,3)	2,8 (2,8;3,0)
	$p = 1,0000$		$p = 0,0022$		$p = 0,0022$	

Полужирным шрифтом указаны статистически значимые различия ($p < 0,05$).

При сравнении суммарных баллов статистически значимые различия не определялись ($p = 0,786$) (рис. 2). Итоговое значение разницы сумм баллов (средний показатель) образцов на 2-е сут. составило 0,2.

В контрольной группе на 4-е сут. определялась толстая полоса незрелой соединительной ткани с отдельными группами пролиферирующих новообразованных сосудов и легкими некротическими изменениями в участках, непосредственно контактирующих с имплантированной спицей (рис. 3а). Полиморфноклеточные лейкоциты были представлены в виде небольших плотных инфильтратов. Лимфоциты инфильтрировали незрелую соединительную ткань, формируя диффузные обильные скопления. Плазматические клетки, макрофаги и гигантские многоядерные клетки формировали единичные выраженные инфильтраты новообразованной стромы, располагаясь преимущественно по периферии новообразованной соединительной ткани.

В экспериментальной группе отмечалась умеренно выраженная полоса незрелой соединительной ткани с небольшими (от 4 до 7 в поле зрения) группами пролиферирующих новообразованных капилляров и участками минимального некроза в месте контакта с имплантатом. Полиморфноклеточные лимфоциты инфильтриро-

вали новообразующую строму в виде небольших групп клеток от 5 до 12 в поле зрения. Лимфоциты были представлены в виде диффузного обильного инфильтрата. Плазмциты, макрофаги и гигантские многоядерные клетки были представлены слабовыраженными очаговыми инфильтратами так же, как и в контрольной группе, располагавшимися преимущественно по периферии новообразованной соединительной ткани (рис. 3б). При сравнении сумм баллов выявлялись статистически значимые различия ($p = 0,0022$) (рис. 4).

В контрольной группе на 7-е сут. определялась обширная слабо васкуляризованная соединительнотканная капсула вокруг имплантата с единичными некротизированными клетками (рис. 5а). Определялись единичные полиморфноклеточные лейкоциты и гигантские многоядерные клетки, слабовыраженная лимфоидная, макрофагальная и плазмцитарная инфильтрация.

На 7-е сут. в экспериментальной группе выявлялась умеренно выраженная хорошо васкуляризованная соединительнотканная капсула, инфильтрированная единичными полиморфноклеточными лейкоцитами, лимфоцитами, макрофагами, плазмцитами и гигантскими многоядерными клетками (рис. 5б).

При сравнении сумм баллов выявлялись статистически значимые различия ($p = 0,0022$) (рис. 6).

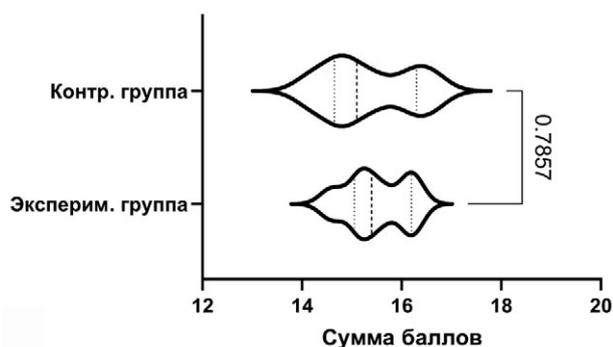


Рис. 2. Статистическая характеристика сумм баллов в группах на 2-е сут.

Примечание: вертикальной жирной пунктирной линией на графике отмечена медиана, обычными пунктирными линиями отмечены 25 и 75-й перцентили. Изгибы наружных линий, формирующих фигуры на графике, демонстрируют распределение случаев в группе

Fig. 2. Statistical characteristics of the scores in the groups on the 2nd day

Note: The vertical bold dotted line the median line on the graph, the normal dotted line indicates the 25th and 75th percentiles. The curves of the outer lines which form shapes at the graph, show the distribution of cases in the group

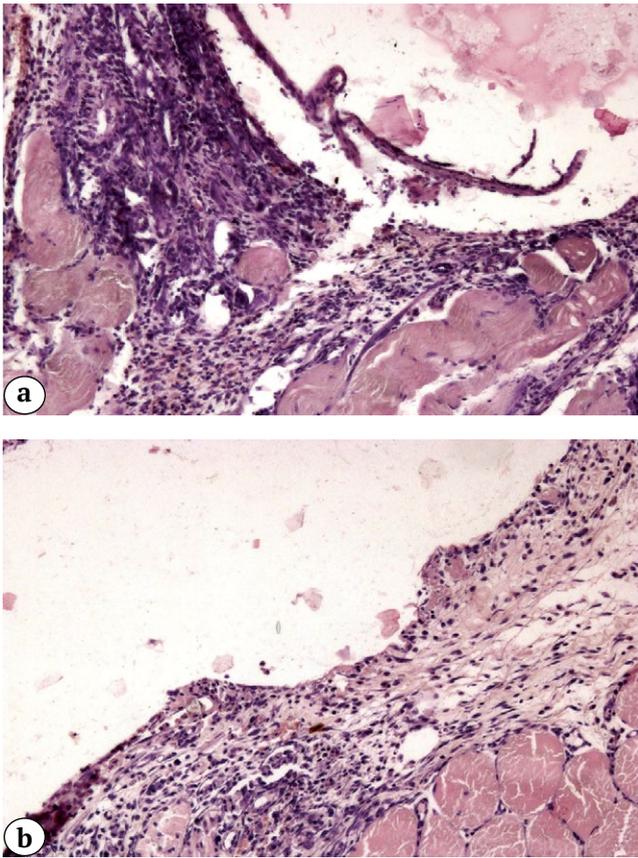


Рис. 3. Патогистологическая картина в месте имплантации на 4-е сут.:
 а — в контрольной группе; б — в экспериментальной группе. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 200$
Fig. 3. Pathohistological picture at the site of implantation on the 4th day:
 а — in the control group; б — in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 200$

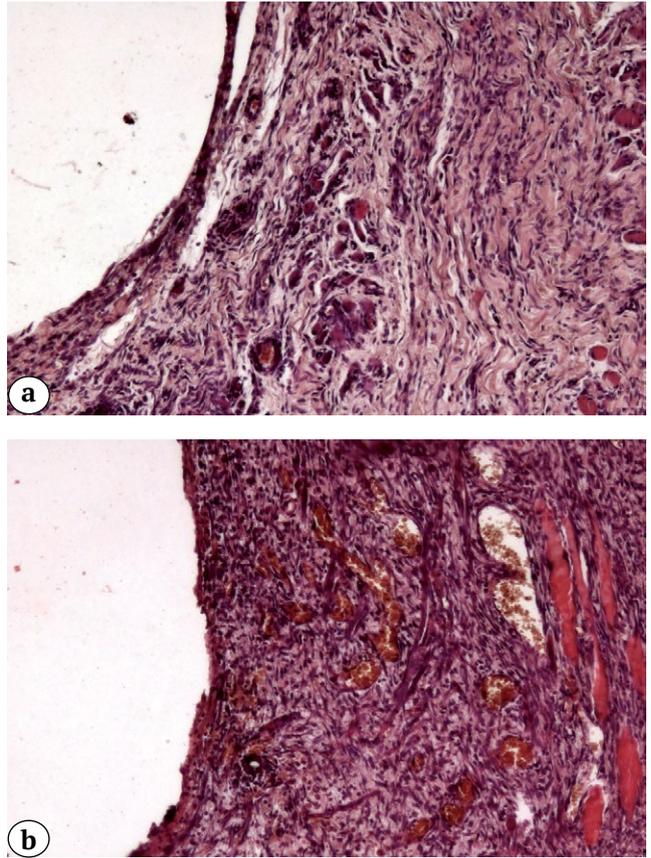


Рис. 5. Патогистологическая картина в месте имплантации на 7-е сут.:
 а — в контрольной группе; б — в экспериментальной группе. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 200$
Fig. 5. Pathohistological picture at the site of implantation on the 7th day:
 а — in the control group; б — in the experimental group. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 200$

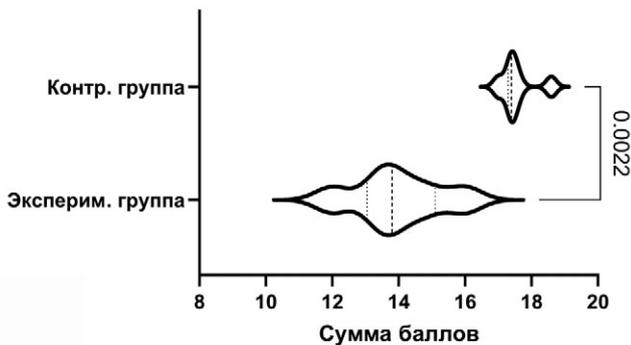


Рис. 4. Статистическая характеристика сумм баллов в группах на 4-е сут. *Примечание:* см. рис. 2
Fig. 4. Statistical characteristics of the scores in the groups at the day 4
Note: See Figure 2

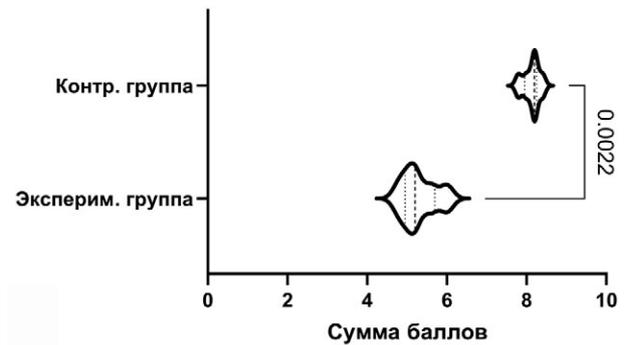


Рис. 6. Статистическая характеристика сумм баллов в группах на 7-е сут. *Примечание:* см. рис. 2
Fig. 6. Statistical characteristics of the scores in the groups at the day 7
Note: See Figure 2

ОБСУЖДЕНИЕ

Заживление послеоперационной раны является динамическим процессом, на который влияют как экзогенные, так и эндогенные факторы [15, 16]. Бактериальные инфекции являются важной причиной неудач при имплантации. Образование микробных биопленок на поверхности стальных или титановых имплантатов может привести к развитию периимплантитов. Микробная контаминация имплантируемых материалов и сопутствующая воспалительная реакция препятствуют адгезии остеобластов. Бактериальные инфекции периимплантационной области могут стать причиной развития остеомиелита [17].

Исследовались перифокальные реакции мягких тканей в условиях, максимально приближенных к реальным, когда контаминация микроорганизмом происходит уже в момент формирования открытого перелома. Микробная нагрузка при этом, как правило, невысокая, но развитию инфекционных осложнений способствует наличие имплантата в зоне раневого дефекта. Ранние инфекционные осложнения чаще всего локализованы в мягких тканях, а при длительном их течении в процесс вовлекается и кость.

Выявленная выраженная инфильтрация полиморфноклеточными лейкоцитами, наличие некроза и слабая лимфо-макрофагальная реакция в обеих группах на 2-е сут. были связаны с активацией damage-associated molecular patterns (DAMP) и pathogen-associated molecular patterns (PAMP) сигнальных путей, ассоциированных с неспецифическими паттернами врожденного иммунного ответа [18].

К 4-м сут. статистически значимое снижение в экспериментальной группе количества иммунных клеток, некротического детрита, а также усиление разрастания соединительной ткани и неоангиогенеза могли быть связаны как с непосредственным антибактериальным воздействием ципрофлоксацина и наночастиц серебра, так и с выявленным F. Sasche с соавторами противовоспалительным эффектом ципрофлоксацина [19]. Данные эффекты антибактериальных покрытий

к 7-м сут. имплантации приводили к появлению менее выраженной, хорошо васкуляризованной фиброзной капсулы вокруг экспериментальных имплантатов, имеющей более слабую инфильтрацию иммунными клетками. Перечисленные морфологические изменения вокруг экспериментального имплантата указывают на более благоприятное заживление мягких тканей [20].

Антибактериальная активность серебросодержащих покрытий в отношении штаммов MRSA ранее неоднократно демонстрировалась *in vitro* [21, 22]. Известно, что, кроме прямого противомикробного действия, наночастицы серебра могут контролировать высвобождение противовоспалительных цитокинов, тем самым способствуя ускорению заживлению ран без образования рубцов [23]. Стимулируя дифференцировку миофибробластов из нормальных фибробластов, они позволяют контролировать инфекционный процесс и ускорять процесс заживления. Наночастицы серебра также усиливают реэпителизацию эпидермиса, стимулируя пролиферацию и миграцию кератиноцитов, а в сочетании с тетрациклином значительно снижают бактериальную нагрузку в поверхностных и глубоких слоях тканей в мышинной модели, что приводит к ускоренному заживлению ран [24, 25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволили установить слабовыраженные патологические морфологические проявления тканевых реакций в ответ на использование экспериментальных имплантатов с четырехкомпонентным композиционным антибактериальным покрытием в условиях бактериальной контаминации хирургической раны. На 7-е сут. морфологические проявления воспаления в местах имплантации контаминированных MRSA экспериментальных спиц в мягких тканях у лабораторных животных минимальны, что может быть связано как с прямым противомикробным действием компонентов покрытия на микроорганизмы, так и с противовоспалительной активностью наночастиц серебра и ципрофлоксацина в раннем послеоперационном периоде.

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.

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.

Источник финансирования. Государственное бюджетное финансирование.

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

Этическая экспертиза. До начала исследования было получено одобрение локального этического комитета Гомельского государственного медицинского университета (протокол № 2 от 24.03.2021). Исследование проведено с соблюдением принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей, и директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. по охране животных, используемых в научных целях.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Funding source. State budgetary funding.

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

Ethics approval. Approval from the local ethics committee was obtained before the start of the study. The study was conducted in compliance with the principles of humane treatment of laboratory animals in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experiments and other Scientific Purposes and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of the European Union of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Romanò C.L., Bozhkova S.A., Artyukh V., Romanò D., Tsuchiya H., Drago L. Local antibacterial implant protection in orthopedics and trauma: what's new? *Traumatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(4):64-74. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-64-74.
- Harris L.G., Richards R.G. Staphylococci and implant surfaces: a review. *Injury*. 2006;37 Suppl 2:S3-14. doi: 10.1016/j.injury.2006.04.003.
- Tande A.J., Patel R. Prosthetic joint infection. *Clin Microbiol Rev*. 2014;27(2):302-45. doi: 10.1128/CMR.00111-13.
- Bohara S., Suthakorn J. Surface coating of orthopedic implant to enhance the osseointegration and reduction of bacterial colonization: a review. *Biomater Res*. 2022;26(1):26. doi: 10.1186/s40824-022-00269-3.
- Zilberman M., Elsner J.J. Antibiotic-eluting medical devices for various applications. *J Control Release*. 2008;130(3):202-215. doi: 10.1016/j.jconrel.2008.05.020.
- Tobin E.J. Recent coating developments for combination devices in orthopedic and dental applications: A literature review. *Adv Drug Deliv Rev*. 2017;112:88-100. doi: 10.1016/j.addr.2017.01.007.
- Nie B., Huo S., Qu X., Guo J., Liu X., Hong Q. et al. Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection. *Bioact Mater*. 2022;16:134-148. doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.02.003.
- Chouirfa H., Bouloussa H., Migonney V., Falentin-Daudré C. Review of titanium surface modification techniques and coatings for antibacterial applications. *Acta Biomater*. 2019;83:37-54. doi: 10.1016/j.actbio.2018.10.036.
- Hasan J., Crawford R.J., Ivanova E.P. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends Biotechnol*. 2013;31(5):295-304. doi: 10.1016/j.tibtech.2013.01.017.
- Тапальский Д.В., Бойцова Н.Ю., Осипов В.А., Рогачев А.А., Ярмоленко М.А., Рогачев А.В. и др. Новое антибактериальное покрытие на основе смеси полиуретана с поли-L-лактоидом. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2013;57(4):89-95.
- Tapalski D.V., Boytsova N. Yu., Osipov V.A., Rogachev A.A., Yarmolenko M.A., Rogachev A.V. et al. [New antibacterial coating based on the mixture of polyurethane and poly-L-lactide]. *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus]. 2013;57(4):89-95. (In Russian).
- Rogachev A.A., Yarmolenko M.A., Rogachou A.V., Tapalski D.V., Liu X., Gorbachev D.L. Morphology and structure of antibacterial nanocomposite organic-polymer and metal-polymer coatings deposited from active gas phase. *RSC Adv*. 2013;3(28):11226-11233. doi: 10.1039/C3RA23284K.
- Qi C., Rogachev A.V., Tapalski D.V., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Jiang X. et al. Nanocomposite coatings for implants protection from microbial colonization: Formation features, structure, and properties. *Surf Coatings Technol*. 2017;315:350-358. doi: 10.1016/j.surfcoat.2017.02.066.
- Тапальский Д.В., Осипов В.А., Сухая Г.Н., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., Рогачев А.В. Биосовместимые композиционные антибактериальные покрытия для защиты имплантатов от микробных биопленок. *Проблемы здоровья и экологии*. 2013; (2):129-134. doi: 10.51523/2708-6011.2013-10-2-24.
- Tapalski D.V., Osipov V.A., Sukhaya G.N., Yarmolenko M.A., Rogachiov A.A., Rogachiov A.V. [Biocompatible composite antibacterial coatings for protection of implants against microbial biofilms]. *Problemy zdorov'ya i ekologii* [Health and Ecology Issues]. 2013;(2):129-134. (In Russian). doi: 10.51523/2708-6011.2013-10-2-24.
- Maki D.G., Weise C.E., Sarafin H.W. A semiquantitative culture method for identifying intravenous-catheter-related infection. *N Engl J Med*. 1977;296(23):1305-1309. doi: 10.1056/NEJM197706092962301.
- Velnar T., Bailey T., Smrkolj V. The wound healing process: an overview of the cellular and molecular mechanisms. *J Int Med Res*. 2009;37(5):1528-1542. doi: 10.1177/147323000903700531.
- Takeo M., Lee W., Ito M. Wound healing and skin regeneration. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(1):a023267. doi: 10.1101/cshperspect.a023267.

17. Sharma S., Bano S., Ghosh A.S., Mandal M., Kim H.W., Dey T. et al. Silk fibroin nanoparticles support in vitro sustained antibiotic release and osteogenesis on titanium surface. *Nanomedicine*. 2016;12(5):1193-1204. doi: 10.1016/j.nano.2015.12.385.
18. Wilkinson H.N., Hardman M.J. Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. *Open Biol*. 2020;10(9):e200223. doi: 10.1098/rsob.200223.
19. Sachse F., von Eiff C., Becker K., Rudack C. Anti-inflammatory effects of ciprofloxacin in *S. aureus* Newman induced nasal inflammation in vitro. *J Inflamm*. 2008;5(1):e11. doi: 10.1186/1476-9255-5-11.
20. Pastar I., Wong L.L., Egger A.N., Tomic-Canic M. Descriptive vs mechanistic scientific approach to study wound healing and its inhibition: Is there a value of translational research involving human subjects? *Exp Dermatol*. 2018;27(5):551-562. doi: 10.1111/exd.13663.
21. Гордина Е.М., Божкова С.А., Ерузин А.А. Высокоэффективные оксиды серебра: влияние концентрации кислорода на антибактериальную активность в отношении клинических штаммов *Staphylococcus aureus*. *Сибирское медицинское обозрение*. 2021;(5): 54-60. doi: 10.20333/25000136-2021-5-54-60.
- Gordina E.M., Bozhkova S.A., Erusin A.A. [Highly effective silver oxides: influence of oxygen concentration on antibacterial activity against clinical strains of *Staphylococcus aureus*]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian Medical Review]. 2021;(131):54-60. (In Russian). doi: 10.20333/25000136-2021-5-54-60.
22. Necula B.S., Fratila-Apachitei L.E., Zaat S.A., Apachitei I., Duszczak J. In vitro antibacterial activity of porous TiO₂-Ag composite layers against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Acta Biomater*. 2009;5(9):3573-3580. doi: 10.1016/j.actbio.2009.05.010.
23. Hamdan S., Pastar I., Drakulich S., Dikici E., Tomic-Canic M., Deo S. et al. Nanotechnology-Driven Therapeutic Interventions in Wound Healing: Potential Uses and Applications. *ACS Cent Sci*. 2017;3(3):163-175. doi: 10.1021/acscentsci.6b00371.
24. Vijayakumar V., Samal S.K., Mohanty S., Nayak S.K. Recent advancements in biopolymer and metal nanoparticle-based materials in diabetic wound healing management. *Int J Biol Macromol*. 2019;122:137-148. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.120.
25. Szmyd R., Goralczyk A.G., Skalniak L., Cierniak A., Lipert B., Filon F.L. et al. Effect of silver nanoparticles on human primary keratinocytes. *Biol Chem*. 2013;394(1):113-123. doi: 10.1515/hsz-2012-0202.

Сведения об авторах

✉ **Тапальский Дмитрий Викторович** — д-р мед. наук
 Адрес: Республика Беларусь, 246050, г. Гомель,
 ул. Ланге, д. 5
<https://orcid.org/0000-0002-9484-7848>
 e-mail: tapalskiy@gmail.com

Савчук Олег Петрович
<https://orcid.org/0000-0003-4360-7091>
 e-mail: osa78@tut.by

Зиновкин Дмитрий Александрович — канд. биол. наук
<https://orcid.org/0000-0002-3808-8832>
 e-mail: zinovkin2012@gmail.com

Николаев Владимир Иванович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9886-7216>
 e-mail: nikolaev.52.52@mail.ru

Ярмоленко Максим Анатольевич — д-р техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-1283-8762>
 e-mail: simmak79@mail.ru

Рогачев Александр Александрович — д-р техн. наук,
 член-корр. НАН Беларуси
<https://orcid.org/0000-0003-4993-0519>
 e-mail: rogachev78@mail.ru

Authors' information

✉ **Dmitry V. Tapalski** — Dr. Sci. (Med.)
 Address: 5, Lange st., Gomel, 246050, Belarus
<https://orcid.org/0000-0002-9484-7848>
 e-mail: tapalskiy@gmail.com

Oleg P. Savchuk
<https://orcid.org/0000-0003-4360-7091>
 e-mail: osa78@tut.by

Dmitry A. Zinovkin — Cand. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-3808-8832>
 e-mail: zinovkin2012@gmail.com

Vladimir I. Nikolaev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9886-7216>
 e-mail: nikolaev.52.52@mail.ru

Maksim A. Yarmolenko — Dr. Sci. (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0002-1283-8762>
 e-mail: simmak79@mail.ru

Aleksandr A. Rogachev — Dr. Sci. (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0003-4993-0519>
 e-mail: rogachev78@mail.ru



Использование депротенизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование

Е.А. Анастасиева¹, Л.А. Черданцева¹, Т.Г. Толстикова², И.А. Кирилова¹

¹ ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

² ФГБУН «Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН», г. Новосибирск, Россия

Актуальность. В настоящее время по ряду причин не всегда возможно полное замещение дефекта костной ткани аутогенной костью. В качестве альтернативы используют костнозамещающие материалы как биологического, так и небιологического происхождения. Одним из путей развития реконструктивных технологий является использование тканеинженерных конструкций, полноценно имитирующих аутогенную костную ткань в необходимом объеме.

Цель исследования — определить *in vivo* возможности использования депротенизированной губчатой костной ткани человека в качестве матрицы для создания тканеинженерных конструкций.

Материал и методы. Исследование *in vivo* осуществляли на кроликах линии NZW. Для создания матрицы использовали фрагменты депротенизированной губчатой костной ткани головки бедренной кости человека, стромально-васкулярную фракцию жировой ткани кролика. Для оценки эффективности репаративного остеогенеза при реконструкции костных дефектов выполнялось моделирование костного дефекта с его последующим замещением. Выделены группы исследования: 1-я группа (контрольная) — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости без его реконструкции; 2-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы; 3-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы совместно со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани (согласно технологии ACP SVF).

Результаты. Сравнительный анализ репаративных процессов при использовании тканеинженерной конструкции на основе костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани человека в сочетании со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани на экспериментальной модели *in vivo* выявил, что использование костнозамещающих материалов способствует не только ранней активации репаративной регенерации основных структурных элементов костной ткани в месте замещения костного дефекта, но и их своевременной дифференцировке. Это обуславливает восстановление структурно-функциональной состоятельной костной ткани в месте повреждения, не вызывая развития выраженного реактивного воспаления. При этом действие выбранной тканеинженерной конструкции с сочетанным влиянием нескольких факторов (ACP SVF) в ее составе оказалось более эффективным для ускорения регенерации и дифференцировки костной ткани.

Заключение. Использование сочетания SVF с депротенизированной костной матрицей для создания тканеинженерной конструкции позволяет задействовать несколько механизмов регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием депротенизированной костной матрицы и без реконструкции костного дефекта.

Ключевые слова: тканеинженерная конструкция, костный дефект, костная матрица, депротенизированная губчатая кость, замещение костного дефекта, стромально-васкулярная фракция жировой ткани.

Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А. Использование депротенизированной костной ткани в качестве матрицы тканеинженерной конструкции: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):46-59. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2016>.

Анастасиева Евгения Андреевна; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Рукопись получена: 27.10.2022. Рукопись одобрена: 26.12.2022. Статья опубликована онлайн: 26.01.2023.

© Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А., 2023



Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study

Evgeniya A. Anastasieva¹, Liliya A. Cherdantseva¹, Tatyana G. Tolstikova²,
Irina A. Kirilova¹

¹Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

²N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Background. At present, for a number of reasons the complete bone defect replacement with autogenous bone is not always possible. Bone substitute materials are used as an alternative to autogenous bone tissue and can be of either biological or non-biological origin. One of the ways of development of reconstructive technologies is the use of tissue-engineered constructs that fully imitate autogenous bone tissue in the required volume.

Aim of study – to define in vivo the possibility of using deproteinized human cancellous bone tissue as a matrix for creating tissue-engineered constructs.

Methods. An in vivo study was carried out on NZW rabbits. To create a construct, we used the fragments of deproteinized cancellous bone tissue of the human femoral head and stromal vascular fraction of rabbit adipose tissue as a matrix. Bone defect modeling with its subsequent replacement was performed to evaluate the efficacy of reparative osteogenesis during bone defects' reconstruction. Study groups were defined: group 1 (control) – surgical modeling of a bone defect of the femur without its reconstruction; group 2 – surgical modeling of a bone defect of the femur with its reconstruction using fragments of deproteinized cancellous bone matrix; group 3 – surgical modeling of a bone defect of the femur with its reconstruction using fragments of deproteinized cancellous bone matrix in combination with stromal vascular fraction of adipose tissue (according to ACP SVF technology).

Results. Comparative analysis of reparative processes in case of applying tissue-engineered constructs based on deproteinized human cancellous bone matrix in combination with adipose tissue-derived stromal vascular fraction on in vivo experimental model revealed that the use of these bone substitute materials contributes not only to an early activation of reparative regeneration of main structural elements of the bone tissue in the area of the bone defect replacement, but also to its well-timed differentiation. This determines the restoration of structural and functional viability of the bone tissue at the damage site without developing discernible reactive inflammation. Moreover, the effect of the selected tissue-engineered construct with the combined influence of several factors (ACP SVF) in its composition turned out to be more effective in stimulating bone tissue repair and differentiation.

Conclusion. Combination of SVF and deproteinized bone matrix for creating tissue-engineered constructs enables to engage several regeneration mechanisms and accelerate the process of bone defect replacement in comparison with isolated deproteinized bone matrix without bone defect reconstruction.

Keywords: tissue-engineered construct, bone defect, bone matrix, deproteinized cancellous bone, bone defect replacement, adipose tissue-derived stromal vascular fraction.

Cite as: Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A. [Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):46-59. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2016>.

✉ Evgeniya A. Anastasieva; e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Submitted: 27.10.2022. Accepted: 26.12.2022. Published Online: 26.01.2023.

© Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальными для оказания высокотехнологичной и специализированной медицинской помощи пациентам в травматологии и ортопедии остаются вопросы замещения утраченного объема костной ткани при патологических состояниях разного этиопатогенеза. Причинами формирования костных дефектов могут являться как сегментарные резекции костей по поводу опухолевых и опухолеподобных процессов костей, так и реэндопротезирование суставов, травмы и последствия их лечения [1]. Под утраченным объемом костной ткани следует понимать не только фактическое отсутствие участка кости, но и изменение ее плотности — уплотнение, например вследствие импрессионного перелома, требующего реконструктивной коррекции, а также несоответствие структурно-функциональных характеристик костной ткани, например в области ложного сустава [1, 2].

Трудность замещения костных дефектов может возникать в случае как ограниченных, так и неограниченных дефектов, что имеет особое значение при сочетании патологического процесса с нарушением нормальной биомеханики. При этом немаловажную роль в успешности качественной реконструкции костных дефектов играют индивидуальные особенности организма пациента. Безусловно, и в настоящее время для замещения костных дефектов оптимальным является аутогенная костная ткань пациента [3]. Однако по ряду причин не всегда возможно полное замещение дефекта костной ткани с ее помощью [4, 5]. В качестве альтернативы используют костнозамещающие материалы как биологического, так и небологического происхождения. На данном этапе можно выделить два основных пути развития реконструктивных технологий [1, 4, 6]. Первый из них — создание и установка индивидуальных 3D-конструкций. Метод отличается высокой эффективностью, однако затраты для производства 3D-имплантата высокие. Возможно, при удешевлении материальной базы метод будет более доступен, хотя при расчете на отдаленный период затраты можно сравнить со стандартными методами лечения [7]. Второй путь развития реконструктивных технологий костной ткани — использование тканеинженерных конструкций, полноценно имитирующих аутогенную костную ткань в необходимом объеме [8].

Цель исследования — определить *in vivo* возможности использования депротенизированной губчатой костной ткани человека в качестве матрицы для создания тканеинженерных конструкций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выбор модели. Исследование выполнено на 24 кроликах линии NZW. Было сформировано три группы исследования: 1-я группа (контрольная) — хирургическое моделирование в участках диафиза контралатеральной бедренной кости костных дефектов без реконструкции, аналогичных группам исследования; 2-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта диафиза бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы человека; 3-я группа — хирургическое моделирование костного дефекта диафиза бедренной кости с его реконструкцией фрагментами депротенизированной губчатой костной матрицы человека совместно со стромально-васкулярной фракцией жировой ткани (согласно технологии «Autologous conditioned plasma-SVF» (ACP-SVF) (патент US10512659B2).

Животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом на 2-й, 4-й и 6-й нед. послеоперационного периода. В стандартных условиях осуществляли забор операционного материала для последующей гистологической оценки местного влияния костнозамещающих материалов на живые ткани и реализацию репаративного остеогенеза в области реконструкции костных дефектов. Эвтаназию животных осуществляли способом передозировки эфирного наркоза. Дизайн исследования соответствует действующим международным стандартам проведения лабораторных исследований ISO 10993-2-2009.

Подготовка костной матрицы для восполнения дефекта. Для создания матрицы использовали фрагменты депротенизированной губчатой костной ткани головки бедренной кости (человека), резецированной по медицинским показаниям и после комплексного обследования на гемотрансмиссивные инфекции (ВИЧ, гепатит В и С, сифилис). Каждый имплантируемый образец был заранее смоделирован по форме и размерам, соответствующим моделируемому костным дефектам, подвергнут многоэтапной последовательной обработке — механической и физико-химической децеллюляризации и депротенизации с последующей радиационной стерилизацией (RU 2232585 C2, RU 2223104 C2, RU 2640932 C2).

Размеры фрагментов костной матрицы соответствовали размерам каждого смоделированного костного дефекта и составляли 2×5 мм*. Цилиндрическая форма костной матрицы обеспечивает его стабильное неподвижное расположение в участке имплантации. Проводили исследование местного влияния раздражающего, сенсибилизи-

* ГОСТ ISO 10993-6-2011, действующий до 01.03.2022, и ГОСТ 10993-6-2021 Приложение С, актуальное на момент проведения экспериментальной работы взамен утратившего силу ГОСТ Р ИСО 10993-6-2009 Приложение D.

рующего и цитотоксического действия выбранных костных матриц на живые ткани в области имплантационного ложа*.

Методика получения жировой ткани и стромально-васкулярной фракции жировой ткани. До начала анестезии у животных забирали 2 мл венозной крови из *v. marginalis* с последующим двукратным центрифугированием в течение 10 мин. при частоте 2800 об./мин. [9]. Кожные покровы в области экспериментального хирургического вмешательства освобождали от шерсти и маркировали по стандартной методике [10]. Общую анестезию осуществляли 1% раствором тиопентала натрия с предшествующей местной инфильтрационной анестезией тканей 2 мл 2% раствора лидокаина с 6 мл 0,9% раствора NaCl для каждого этапа операции.

С целью минимизации объема оперативного вмешательства использовали единичный небольшой хирургический доступ по дорсальной поверхности шеи животного, паравертебрально между лопатками и параллельно линии остистых отростков позвонков и осуществляли забор жировой ткани кремово-белого цвета в объеме 2 мл. Именно для этой локализации у взрослых особей кроликов характерно наибольшее количество светло-коричневых жировых клеток (Beige AT), схожих по свойствам с хорошо васкуляризированной бурой жировой тканью [11]. Согласно принципам современной физиологии, у человека при выполнении операций с использованием стромально-васкулярной фракции жировой ткани забор жировой ткани осуществляется из аналогичных анатомических областей тела и параумбиликальной зоны [12]. Полученную жировую ткань укладывали в стерильную чашку Петри с добавлением 4 мл раствора Кляйна (оригинального состава) с последующим измельчением (рис. 1).

Обрабатывали посредством быстрого перегона в системе из двух стерильных инъекционных шприцев до получения однородной массы с последующим распределением по 4 пробиркам типа эппендорф объемом 2 мл и двукратно центрифугировали

в течение 10 мин. при частоте оборотов 2800 об./мин. с этапным очищением (дополнительным центрифугированием) и соответственно сокращением объема субстрата. Следующий этап выделения и обработки стромально-васкулярной фракции жировой ткани был проведен по стандартной методике с добавлением центрифугированной крови — выделенной из нее обогащенной тромбоцитами плазмой.

По данным литературы, количество клеток SVF, которые могут быть выделены из подкожной жировой ткани, составляет приблизительно $0,5-2,0 \times 10^6$ на грамм жировой ткани, при этом процентное содержание стволовых клеток колеблется от 1 до 10% [13, 14].

Методика подкожной имплантации костных матриц. После получения жировой ткани хирургическим способом для определения влияния костной матрицы на живые ткани животным подкожно, с двух сторон паравертебрально и параллельно линии остистых отростков позвонков устанавливали фрагменты губчатой депротенинизированной костной ткани головки бедренной кости человека размером 5×5 мм с последующим ушиванием кожи стерильным шовным материалом простым непрерывным обвивным швом.

Методика моделирования костных дефектов и их реконструкции костнозамещающими материалами на основе костных матриц. Для оценки эффективности репаративного остеогенеза при реконструкции костных дефектов разными вариантами костнозамещающих материалов на основе костных матриц осуществляли имплантацию фрагментов депротенинизированной губчатой костной ткани в моделированные костные дефекты согласно выбранным группам исследования. С этой целью в стерильных условиях под общей комбинированной анестезией выполняли хирургический доступ по латеральной стороне дистальной части бедра. Мягкие ткани разводили тупо по ходу мышечных волокон, надкостницу отслаивали при помощи распатора.

В диафизарной части бедренной кости обеих задних лап каждого животного формировали по три костных дефекта специализированным стерильным хирургическим инструментарием. Два из трех костных дефектов, расположенных



Рис. 1. Жировая ткань межлопаточной области кролика линии NZW в процессе обработки по стандартной методике

Fig. 1. Fragmented interscapular adipose tissue of a NZW rabbit during its processing according to the standard method

* ГОСТ ISO 10993-6-2011 (действующий до 01.03.2022) и 10993-6-2021 Приложение А, актуальное на момент проведения экспериментальной работы взамен утратившего силу ГОСТ Р ИСО 10993-6-2009 Приложение В.

в диафизе правой бедренной кости, заполняли образцами костного материала в соответствии с группой исследования — 2-я и 3-я группы (рис. 2). Симметричные костные дефекты контралатеральной бедренной кости не заполняли костным материалом, использовали в качестве контроля. Для подтверждения отсутствия вариативности морфологических проявлений репаративной регенерации костной ткани в условиях каждой отдельной особи были сформированы дополнительные дефекты — по одному в диафизарной части бедренной кости на каждой конечности. После этого осуществляли гемостаз и послойное ушивание операционной раны. Осуществляли обработку послеоперационного шва раствором антисептика и порошком антибактериального комбинированного препарата с активными веществами бацитрацин, неомицин.



Рис. 2. Хирургическое моделирование дефектов костной ткани в диафизе бедренной кости кролика

Fig. 2. Surgical modeling of bone defects in the femoral diaphysis of a rabbit

Гистологическое исследование операционного материала. Материалом исследования служили фрагменты костной ткани из области хирургического моделирования реконструкции костных дефектов. Образцы фиксировали в 10% нейтральном забуференном растворе формалина в течение 72 ч. с последующей декальцинацией в растворе Рихмана–Гельфанда–Хилла в течение 10 сут. при температуре 20°C. После стандартной гистологической проводки в серии спиртов возрастающей концентрации и ксилоле образцы костной ткани заливали в парафиновые блоки с последующим изготовлением серийных срезов толщиной 4–5 мкм и их окрашиванием гематоксилином и эозином. С целью дифференцированной количественной оценки зрелой и формирующейся соединительной ткани в образцах исследования гистологические срезы окрашивали по Ван Гизону и подвергали импрегнации серебром. После окраски препараты заключали в монтирующую среду под покровное стекло и высушивали в течение 7 дней при комнатной температуре.

Обзорную световую микроскопию с получением обзорных микрофотографий осуществляли на лабораторном микроскопе OLYMPUS CX 43

с фотокамерой OLYMPUS UC 90 (Olympus Medical Systems Corp., Япония). Морфометрическое исследование гистологических образцов участков гетеротопической и ортотопической имплантации материалов исследования проводили с помощью программного обеспечения (ImageJ, v. 1.53o, 2022, Wayne Rasband and contributors National Institutes of Health, США) при увеличении 200. В гистологических срезах оценивали численную плотность сосудов (Nai), из них процент полнокровных сосудов в зоне имплантации (%), объемную плотность зрелых коллагеновых волокон (Vv%), объемную плотность аргирофильных соединительнотканых волокон (Vv%), объемную плотность костной ткани зрелой и новообразованной (Vv%).

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных морфометрических данных осуществляли в программе RStudio (v. 2022.02.1 RStudio, Inc., США) на языке R (v. 4.1.3, Австрия).

Дескриптивные статистики непрерывных показателей рассчитывались в виде медиан [первый квартиль; третий квартиль], среднее \pm стандартное отклонение и минимальное — максимальное значение; у категориальных показателей определялось количество пациентов (частота) для каждой категории.

Сравнение непрерывных показателей между группами проводилось непараметрическим непарным U-критерием Манна–Уитни. Производился расчет смещения распределений с построением 95% доверительного интервала (ДИ) для смещения. Категориальные показатели сравнивали точным двусторонним критерием Фишера. Коррекция ошибки множественного тестирования при сравнении категорий проводилась методом Бенджамини–Хохберга.

Проверка статистических гипотез проводилась при критическом уровне значимости $p = 0,001$, т.е. различие считалось статистически значимым при $p < 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При макроскопической оценке покровных тканей области гетеротопической имплантации костных матриц, начиная со 2-й нед. исследования, морфологических признаков развития местной воспалительной реакции у животных выявлено не было. У всех животных в участках имплантации отмечали формирование состоятельного послеоперационного рубца толщиной до 0,2 см плотной консистенции на всем протяжении. Кожные покровы в области послеоперационного рубца были целостные, бледно-розового цвета, без патологических изменений. Подкожная клетчатка области послеоперационного рубца представлена равно-

мерной прослойкой жировой ткани светло-кремового цвета толщиной до 0,5 см однородной консистенции без патологических изменений.

На 2-й нед. исследования при световой микроскопии гистологических образцов кожи области гетеротопической фиксации имплантата у животных между дермой и мышцей спины отмечали формирование толстостенной соединительнотканной капсулы со слабой инфильтрацией стенок макрофагами и мононуклеарными лейкоцитами. Между волокнами соединительной ткани выявили большое количество мелких тонкостенных кровеносных сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений. В просвете соединительнотканной капсулы сохранялись фрагменты имплантированных депротенизированных губчатых костных матриц, представленные зрелой костной тканью. В тканях, перифокально области имплантации костных матриц, у животных формирования клеточно-воспалительного инфильтрата выявлено не было (рис. 3).

На 4-й нед. исследования у животных дерма не изменена. В месте фиксации имплантированных костных матриц, между дермой и мышечными волокнами, у животных выявили очаги компактно расположенных грубоволокнистых соединительнотканых волокон, которые, вероятно, являются фрагментами фиброзной капсулы. В мышечной оболочке дермы и подкожной клетчатке отмечали большое количество тонкостенных сосудов. Между мышечной оболочкой дермы и подкожной клетчаткой наблюдались участки компактно

расположенных соединительных волокон со слабой очаговой инфильтрацией мононуклеарными лейкоцитами. Во всех слоях дермы у животных определяли очаговую клеточную слабую преимущественно лимфоцитарно-макрофагальную инфильтрацию (рис. 4).

Данные микроскопической картины при гистологическом исследовании образцов кожи с подлежащими мягкими тканями на 6-й нед. экспериментального исследования носили характер, аналогичный выявленным изменениям у животных на предшествующем сроке исследования. При визуальном осмотре покровных тканей участков экспериментального моделирования костных дефектов и их ортотопической реконструкции костно-замещающими материалами у всех животных признаков местно развивающейся воспалительной реакции выявлено не было. Послеоперационные рубцы у всех животных были состоятельны, толщиной до 0,2–0,3 см, плотной консистенции на всем протяжении. Целостность кожных покровов в области послеоперационного рубца была без нарушений и патологических изменений, бледно-розового цвета. Подкожная клетчатка в области послеоперационного рубца в виде равномерно распределенной жировой ткани светло-кремового цвета толщиной до 0,5 см без патологических изменений.

Начиная со 2-й нед. у всех животных в области моделированных костных дефектов и при их заполнении костно-замещающими материалами наблюдали незначительное утолщение кости.

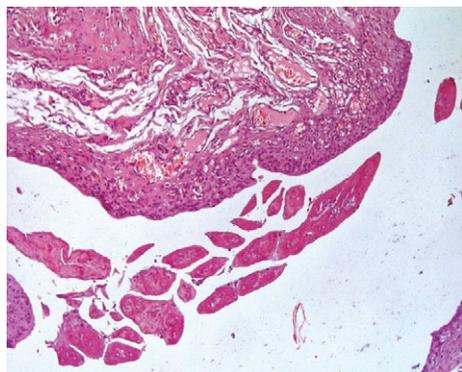


Рис. 3. Фрагмент кожи кролика линии NZW, 2-я нед. исследования: в просвете соединительнотканной капсулы сохранены фрагменты зрелой костной ткани имплантированных костных матриц; слабая инфильтрация стенок соединительнотканной капсулы макрофагами и мононуклеарными лейкоцитами; большое количество мелких полнокровных тонкостенных кровеносных сосудов между волокнами соединительной ткани. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 3. Skin fragment of a NZW rabbit in the 2nd week of study. Fragments of trabecular bone tissue of implanted bone matrix are preserved in the space of connective tissue capsule; poor infiltration of connective tissue capsule walls by macrophages and mononuclear leucocytes; numerous small full-blooded thin-wall vessels between connective tissue fibers. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

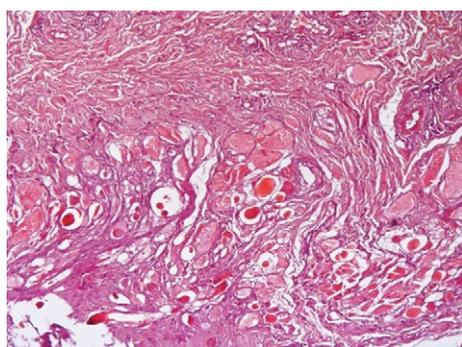


Рис. 4. Фрагмент кожи кролика линии NZW, 4-я нед. исследования: соединительная ткань с очагами слабой инфильтрации мононуклеарными лейкоцитами, с большим количеством мелких полнокровных сосудов. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 4. Skin fragment of a NZW rabbit in the 4th week of study. Connective tissue with foci of poor infiltration by mononuclear leucocytes with numerous small full-blooded vessels. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

К 4-й нед. периода репарации наблюдали формирование костной мозоли, образованной значительной степени пористости костной тканью с последующим ее уплотнением к 6-й нед. исследования. При обзорной световой микроскопии гистологических образцов в 1-й группе исследования на 2-й нед. визуализировали дефекты костной ткани неправильной округлой формы, заполненные плотноволокнистой соединительной тканью, формирование «цепочек» остеобластов, очаговое формирование ретикулофиброзной ткани. Это сопровождалось умеренным полнокровием сосудов с формированием незначительно выраженного периваскулярного отека, слабой клеточно-воспалительной инфильтрацией, преимущественно лимфоцитарно-макрофагального характера (рис. 5а).

К 4-й нед. исследования отмечали компактизацию субхондрально расположенных трабекул костной ткани и сохранение более рыхлого их расположения в толще «костной мозоли»; образование первичных остеонов с первичными крупными гаверсовыми каналами; скопления незрелой костной ткани с большим количеством остеобластов на поверхности трабекул. Среди петель сформированной ретикулярной соединительной ткани и между волокнами грубоволокнистой соединительной ткани сохранялось большое количество кровеносных сосудов без признаков нарушения гемоциркуляции. Степень выраженности клеточной реакции соответствовала предыдущему сроку наблюдения. К 6-й нед. исследования происходило значительное уплотнение костной ткани в зоне моделированного дефекта за счет заполнения губчатой костью, тесно связанной с окружающей хрящевой тканью. В области внутренней поверхности дефектов происходило дальнейшее образование правильно ориентированных компактных костных балок со скоплением остеобластов на поверхности трабекул, формирование лакун элемен-

тами костного мозга (рис. 5б). Сохранялись очаги слабо выраженной клеточно-воспалительной инфильтрации лимфоцитарно-макрофагального характера.

При световой микроскопии образцов костной ткани 2-й группы на 2-й нед. отмечали полное заполнение костного дефекта фрагментами костно-замещающего материала и плотное прилегание фрагментов к собственной зрелой костной ткани в области внутренней поверхности зоны дефекта. Во все периоды исследования хорошо выраженная кортикальная пластинка и губчатая кость имели развитую архитектуру трабекул с пластинчатым строением и хорошо выраженными гаверсовыми каналами, формированием остеонов со слабо выраженной структурой. На 2-й нед. исследования выявили значительное количество истонченных костных трабекул, хаотично расположенных с расширением межтрабекулярного пространства, заполненного большим количеством ретикулярных и грубоволокнистых соединительнотканых волокон. Губчатое вещество костных балок представлено пластинчатой костной тканью с поверхностным формированием цепочек остеобластов (рис. 6а).

Помимо этого, определялась очаговая клеточная инфильтрация лимфоцитарно-макрофагального характера. На 4-й нед. исследования формирование трабекул костной ткани сохранялось. Межбалочные пространства были заполнены ретикулярной соединительной тканью с участками грубоволокнистой неоформленной соединительной ткани с сохранением большого количества кровеносных сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений.

Аналогичные изменения были выявлены и на 6-й нед. исследования. При этом трабекулы губчатой кости были представлены зрелой костной тканью с очаговыми отложениями остеоида и формированием цепочек из остеобластов на поверхности. Сохранялись участки дезорганизации

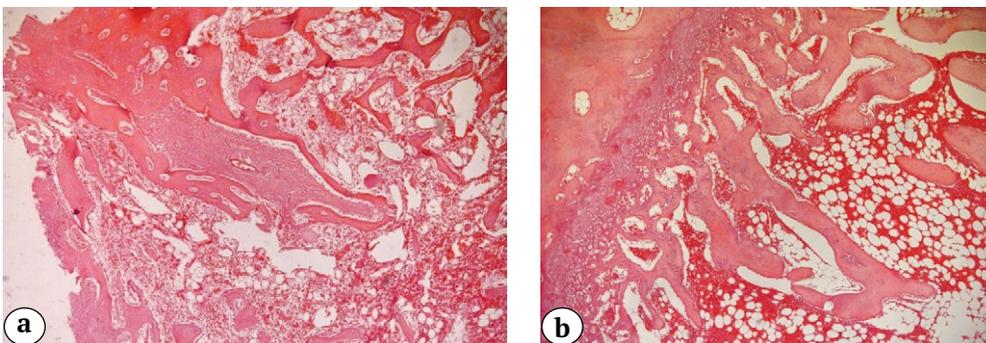


Рис. 5. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика линии NZW, область костного дефекта: а — 2-я нед. исследования; б — 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×100

Fig. 5. Bone tissue fragment of the femur of a NZW rabbit, bone defect area: а — in the 2nd week of study; б — in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. ×100

использованного костного матрикса в участках локализации многоядерных гигантских клеток и сохранения клеточного макрофагального инфильтрата. В большей степени это было выражено в области кортикальной пластинки. В сохраняющихся участках формирования ретикулярной соединительной ткани отмечали очаговое полнокровие сосудов (рис. 6b).

При визуализации гистологических образцов костной ткани 3-й группы выявили прогрессирующие признаки репаративного остеогенеза с 2-й по 6-ю нед. исследования, которые были выражены в большей степени в сравнении с аналогичными гистологическими проявлениями в соответствующие сроки исследования в образцах 1-й и 2-й групп.

К 6-й нед. исследования выявили формирование костной ткани, представленной кортикальной пластинкой с первичными широкими гаверсовыми каналами, в области прилегания к стенке дефекта костной ткани (рис. 7).

В вышерасположенных участках определяли отдельные очаги костного регенерата с фрагментами костнозамещающего материала, окруженного новообразованными костными балками с формированием на поверхности «цепочек» остеобластов

и отложением остеоида. Новообразованная костная ткань плотно прилегала к участкам костнозамещающего материала, местами образуя единую структуру с очагами резорбции костной ткани в участках локализации гигантских многоядерных клеток. Межбалочное пространство было заполнено стромальным компонентом костного мозга, преимущественно ретикулярными соединительнотканными волокнами, неоформленными волокнами грубоволокнистой соединительной ткани с достаточным количеством сосудов без признаков гемоциркуляторных нарушений. Помимо этого, сохранялись участки лимфоцитарно-макрофагальной инфильтрации.

При морфометрическом исследовании образцов костной ткани области моделирования костного дефекта и его реконструкции разными костнозамещающими материалами во всех группах было выявлено прогрессивное увеличение показателя численной плотности сосудов к 6-й нед. исследования, в том числе полнокровных. При этом в 3-й группе величина показателя численной плотности сосудов была больше на 2-й, 4-й и 6-й нед. исследования в 1,8; 2,3 и 1,5 раза соответственно, чем в образцах 1-й (контрольной) группы, и несколько больше, чем во 2-й группе (табл. 1).

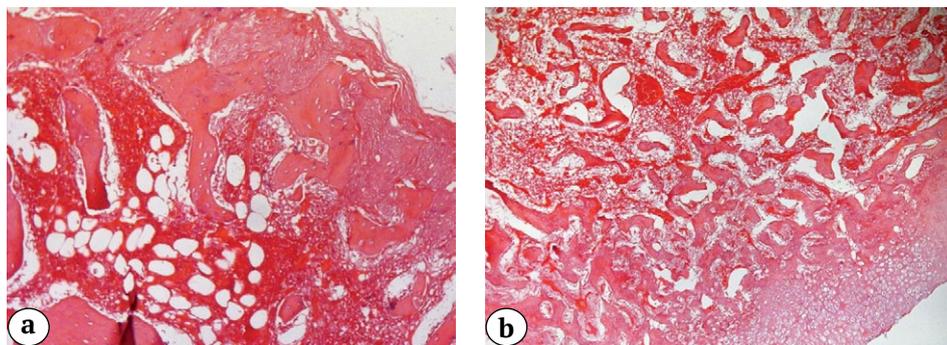


Рис. 6. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика, область замещения костного дефекта депротенизированной губчатой костной тканью: а — 2-я нед. исследования; б — 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 6. Bone tissue fragment of rabbit femur, area of bone defect replacement with deproteinized cancellous bone tissue: а — in the 2nd week of study; б — in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

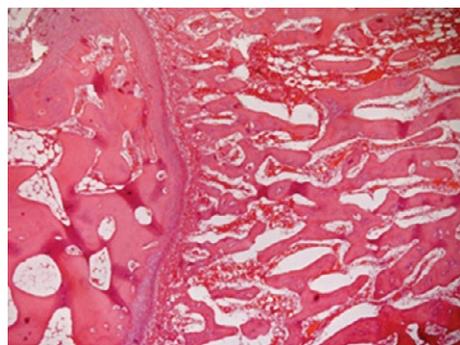


Рис. 7. Фрагмент костной ткани бедренной кости кролика, область замещения костного дефекта тканеинженерной конструкцией на основе депротенизированной губчатой костной ткани и стромально-васкулярной фракции жировой ткани, 6-я нед. исследования. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$

Fig. 7. Bone tissue fragment of rabbit femur, area of bone defect replacement with tissue-engineered construct based on deproteinized cancellous bone tissue and adipose tissue-derived stromal vascular fraction in the 6th week of study. Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

Таблица 1

Результаты гистологического исследования репаративного остеогенеза при ортогипической реконструкции костных дефектов разными видами костнозамещающего материала, M±m

Параметр	Группа исследования											
	1-я группа (контрольная) Костный дефект без замещения			2-я группа Костный дефект с замещением губчатой депротеминизированной костной матрицей			3-я группа Костный дефект с замещением губчатой депротеминизированной костной матрицей + SVF			Неделя исследования		
	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я	2-я	4-я	6-я
Численная плотность сосудов в образцах костной ткани, N_{Ai}	5,61±1,50	8,25±1,50	16,66±5,70	10,43±3,50*	18,73±2,20*	23,70±6,80*	10,40±3,41*	20,36±4,50**	26,31±7,90***			
Доля полнокровных сосудов, %	54,44±0,20	78,82±0,20	96,58±0,10	38,30±0,20*	75,49±0,20*	92,20±0,10*	81,19±0,20***	64,45±0,20*	97,37±0,30			
Объемная плотность коллагеновых волокон в образцах костной ткани, $V_V\%$	5,15±0,60	7,08±1,10	12,68±2,50	6,35±3,80*	8,83±2,55*	9,26±1,60*	6,88±1,50*	9,30±1,10*	10,68±1,60***			
Объемная плотность арирофильных волокон в образцах костной ткани, $V_V\%$	7,33±0,70	11,83±1,10	14,19±2,40	7,25±1,80	9,95±1,60*	10,03±2,20*	9,66±1,30***	10,23±1,90*	10,65±2,10*			
Объемная плотность зрелой костной ткани, $V_V\%$	2,88±0,70	6,43±0,80	8,98±1,60	5,98±2,80*	8,81±1,50*	12,83±1,50*	8,63±2,20***	11,51±2,50***	14,58±2,20***			
Объемная плотность новообразованной костной ткани, $V_V\%$	3,81±0,70	6,43±0,80	9,26±2,10	6,11±3,20*	9,81±1,60*	13,53±2,70*	9,51±2,20***	12,95±2,71**	16,43±2,10***			

* — статистически значимые отличия величин рассматриваемых параметров от аналогичных показателей в контрольной группе при $p < 0,001$.

** — статистически значимые отличия величин рассматриваемых параметров от аналогичных показателей во 2-й группе при $p < 0,001$.

При оценке показателя объемной плотности коллагеновых соединительнотканых волокон в образцах исследования 3-й группы выявили его динамическое увеличение на 36% со 2-й по 6-ю нед. При этом величина данного показателя уже на 2-й нед. исследования была больше на 25%, чем в образцах 1-й группы, однако на 6-й нед. отмечали ее незначительное уменьшение. При этом во все сроки исследования величина данного параметра была незначительно больше, чем в образцах 2-й группы. Это сопровождалось незначительным прогрессирующим увеличением показателя объемной плотности аргирофильных волокон в образцах 3-й группы и его некоторым преобладанием над величиной данного параметра во 2-й группе на 2-й и 4-й нед. исследования. К 6-й нед. разница в величинах данного показателя невеликовалась. Прогрессирующее увеличение показателя объемной плотности аргирофильных волокон в образцах 1-й и 2-й групп выявили с 2-й по 6-ю нед. (в 2 раза). При этом объемная плотность аргирофильных волокон в 1-й группе исследования на 6-й нед. была больше на 28Vv% в сравнении с величиной аналогичного показателя во 2-й и 3-й группах.

Величина объемной плотности новообразованной костной ткани прогрессивно увеличивалась с 2-й по 6-ю нед.: в 1-й группе — в 1,6 раза, во 2-й группе — в 2,2 раза и в 3-й группе — в 1,7 раза. При этом во все периоды наблюдения объемная плотность новообразованной костной ткани в 3-й группе была статистически значимо больше, чем в 1-й группе, примерно в 2 раза. Объемная плотность зрелой костной ткани в образцах исследования увеличивалась с 2-й по 6-ю нед. во всех группах. При этом величины данного показателя в 2-й и 3-й группах были больше, чем в 1-й группе, во все сроки наблюдения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор кролика в качестве модели животного для настоящего исследования обоснован аналогичным типом репаративного остеогенеза по гавверсовому типу у данного вида млекопитающих и человека [15]. Это позволяет экстраполировать результаты данного исследования на человека.

Выбор в качестве костной матрицы депротеинизированной губчатой костной ткани резецированной головки бедренной кости человека обоснован данными научной литературы и результатами собственных ранее проведенных исследований, которые выявили свойства данного материала, позволяющие использовать его в качестве самостоятельного костнозамещающего материала и рассматривать в качестве костной матрицы для создания эффективных тканеинженерных конструкций [16, 17] (рис. 8).



Рис. 8. Механизмы воздействия костнопластического материала на процессы регенерации кости

Fig. 8. Mechanisms of osteoplastic material impact on bone regeneration processes

В случае использования конструкции на базе депротеинизированной костной матрицы с содержанием аутологичного материала, способного воздействовать на регенерацию костной ткани, происходит включение всех четырех процессов регенерации костной ткани: остеобластического, остеоиндуктивного, остеокондуктивного и стимулированного остеогенеза.

Несмотря на то, что в нашем исследовании использованные костные матрицы в отношении выбранной модели животных (кролик) являются ксеногенными, начиная со 2-й нед. выявили отсутствие макро- и микроскопических морфологических признаков формирования местной воспалительной реакции мягких тканей и отторжения костных матриц в участках их гетеротопической имплантации в 2-й и 3-й группах. Это обусловлено соответствующими свойствами использованных костных матриц — физико-химическими и биологическими, удовлетворяющими характеристикам окружающих тканей в участках имплантации, что, в свою очередь, определяется способом и степенью очистки губчатой костной ткани от антигенных структур [18, 19, 20].

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии токсического действия выбранного материала в отношении живых клеток и тканей *in vivo* и иммунной реакции макроорганизма. Это позволило использовать его в качестве костных матриц для разработки тканеинженерных конструкций и дальнейшего изучения их эффективности.

В качестве биологически активного компонента для создания тканеинженерной конструкции на основе депротеинизированной губчатой костной матрицы была выбрана стромально-васкулярная фракция жировой ткани, выделенная и обработанная по стандартной методике, что позволяет исключить проведение дополнительной экспериментальной количественной оценки клеточного

состава полученной фракции [13, 14, 21]. Это обосновано клеточным составом фракции и свойствами самих клеток — стволовые клетки жировой ткани, эндотелиальные и гладкомышечные клетки кровеносных сосудов и их предшественники, фибробласты, макрофаги, Т-лимфоциты, перicyты и другие клетки, обуславливающие выраженный регенераторный потенциал, выраженное противовоспалительное действие и иммунорегуляторную активность. Также факторы стромально-васкулярной фракции стимулируют образование сосудистой сети, что способствует регенерации костной ткани [22, 23, 24, 25].

Разработка новых методов активации репаративного остеогенеза с помощью разных костнозамещающих материалов требует объективных данных о безопасности и эффективности используемых материалов [26]. Получить объективные и достоверные данные о состоянии репаративного остеогенеза можно с помощью микроскопического исследования гистологических образцов костной ткани. Гистологическое исследование позволяет оценить клеточные и тканевые реакции, формирующиеся в ответ на разного рода патологические воздействия, и определить степень выраженности репаративной регенерации костной ткани — ключевое звено в исследованиях по поиску эффективных и безопасных костнозамещающих материалов и разработке на их основе тканеинженерных конструкций для травматологии и ортопедии.

Современные методы обработки фрагментов костной ткани позволяют получить гистологические препараты костных регенератов хорошего качества. Важную роль при оценке состояния костной ткани играет гистологическая окраска. Использование рутинного окрашивания гематоксилином и эозином позволяет оценить качество гистологических срезов, провести обзорную оценку гистологических критериев изучаемого процесса. Для уточнения полученной информации о характере выявленных процессов в костном регенерате в работе использовали дополнительные гистохимические методы окраски — по Ван Гизону, импрегнация серебром.

Для осуществления морфометрического исследования важным является также качество окрашивания образцов, так как это напрямую влияет на получение достоверных, статистически обоснованных результатов исследований. Разработка новых костнозамещающих продуктов на основе, в частности, депротенизированной губчатой костной матрицы, невозможна без проведения морфометрической оценки гистологических критериев биологической безопасности используемого материала и его способности эффективно активировать репаративный остеогенез. В настоящее время отсутствует четкая система морфометрии, адаптированная для костной ткани. Необходимым

является исследование как фрагментов самого костного регенерата, так и структурных компонентов костнозамещающего материала, помещенного в костный дефект, так как он обуславливает реализацию, в большей или меньшей степени выраженности, каскада специфических реакций на введение данного агента, исходя из его свойств [27].

В нашем исследовании была проведена морфологическая и морфометрическая оценка костных регенератов после имплантации костнозамещающих материалов на основе костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани резецированной головки бедренной кости человека и аналогичной костной матрицы с добавлением стромально-васкулярной фракции жировой ткани. С целью комплексной оценки биологических (остеокондуктивных, остеоиндуктивных, остеогенных) свойств костнозамещающих материалов осуществляли подсчет относительного объема «зрелой» и новообразованной костной ткани. Динамика изменения показателя объемной плотности «зрелой» костной ткани была аналогичной показателю объемной плотности «незрелой» костной ткани в гистологических образцах при имплантации костнозамещающих материалов. Минимальным показателем объемной плотности новообразованной и «зрелой» костной ткани был в гистологических образцах без замещения костных дефектов. Помимо этого, выявили склонность к формированию грубоволокнистой соединительной ткани на поверхности костного регенерата и внутри него в случаях заполнения костного дефекта депротенизированной костной матрицей и при ее сочетании с SVF. Выраженное формирование грубоволокнистой соединительной ткани, локализованной преимущественно над поверхностью регенерата, выявили при отсутствии замещения костного дефекта. Это сопровождалось тем, что объемная плотность аргирофильных соединительнотканых волокон преобладала над показателем объемной плотности коллагеновых волокон во все периоды исследования. Также преобладание аргирофильных волокон при самопроизвольном заживлении костного дефекта над показателями в образцах костной ткани при замещении костных дефектов выбранными костнозамещающими материалами могут быть косвенным признаком нарушения дифференцировки соединительной ткани в области самопроизвольного заживления костного дефекта и причиной формирования осложнений, таких как ложный сустав.

Вероятно, формирование выявленных структурных изменений обусловлено, в том числе, влиянием про- и противовоспалительной активности клеток в составе лимфоцитарно-макрофагального клеточного инфильтрата в ответ на инородное тело при реконструкции костных дефектов, что может слу-

жить активатором процесса ремоделирования костной ткани. Динамику репаративного остеогенеза и ремоделирование костной ткани в данной экспериментальной работе оценивали в гистологических образцах костной ткани трех временных точек исследования. Принимая во внимание непродолжительный период исследования, выявленные структурные изменения свидетельствуют о преобладании процессов репарации костной ткани в области ее дефектов над процессами резорбции и ремоделирования, что в большей степени выражено при использовании костнозамещающих материалов.

Сравнительный анализ репаративных процессов при использовании костной матрицы из депротенизированной губчатой костной ткани человека и при ее сочетании с SVF на экспериментальной модели *in vivo* выявил, что использование указанных костнозамещающих материалов способствует не только ранней активации репаративной регенерации основных структурных элементов костной ткани в месте замещения костного дефекта, но и их своевременной дифференцировке. Это обуславливает восстановление структурно-функциональной состоятельной костной ткани в месте повреждения, не вызывая развития выраженного реактивного воспаления. Использование тканеинженерной конструкции в составе с SVF на депротенизированной костной матрице позволяет задействовать все механизмы регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием костной матрицы или без заполнения дефекта. Действие выбранной тканеинженерной конструк-

ции с сочетанным влиянием нескольких факторов в ее составе оказалось более эффективным в отношении активации регенерации костной ткани. Следовательно, это подтверждает возможность использования костной матрицы на основе депротенизированной губчатой костной ткани для создания тканеинженерных конструкций.

Ограничения исследования

Ограничением настоящего исследования послужило использование стромально-васкулярной фракции аутологичной жировой ткани в качестве компонента при создании тканеинженерной конструкции, несмотря на многообразие субстратов, потенциально воздействующих на процессы остеогенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам макро- и микроскопической оценки тканей области гетеротопической и ортотопической имплантации депротенизированных костных матриц отсутствовали признаки воспаления и деструктивных изменений в тканях, что является признаком биологической безопасности в отношении живых тканей.

Использование сочетания SVF с депротенизированной костной матрицей для создания тканеинженерной конструкции позволяет задействовать несколько механизмов регенерации и ускорить процесс замещения костного дефекта по сравнению с изолированным использованием депротенизированной костной матрицы и без реконструкции костного дефекта.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Анастасиева Е.А. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, редактирование статьи.

Черданцева Л.А. — анализ и интерпретация данных, редактирование статьи.

Толстикова Т.Г. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных.

Кирилова И.А. — концепция и дизайн исследования, 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. Государственное бюджетное финансирование.

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

DISCLAIMERS

Author contribution

Anastasieva E.A. — research conception and design, analysis and statistical processing of data, writing the draft, text editing.

Cherdantseva L.A. — analysis and statistical processing of data, text editing.

Tolstikova T.G. — research conception and design, analysis and statistical processing of data.

Kirilova I.A. — research 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. State budgetary funding.

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

Этическая экспертиза. Все исследования были проведены в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (18.03.1986) и Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19.03.2003 г. № 226).

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Ethics approval. All studies were carried out in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or for Other Scientific Purposes (March 18, 1986) and the Rules for Conducting Researches Using Experimental Animals (Order of Health Ministry of Russian Federation, March 19, 2003 No. 226).

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Гуражев М.Б., Байтов В.С., Гаврилов А.Н., Павлов В.В., Короткин А.А. Методы замещения костного дефицита большеберцовой кости при первичном эндопротезировании коленного сустава: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):173-188. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-173-188. Gurazhev M.B., Baitov V.S., Gavrillov A.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A. [Methods of the Tibia Bone Defect in Primary Knee Arthroplasty: Systematic Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(3):173-188. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-173-188.
2. Stewart S.K. Fracture non-union: a review of clinical challenges and future research needs. *Malaysian Orthop J*. 2019;13(2):1-10. doi: 10.5704/2FMOJ.1907.001.
3. Кирилова И.А., Подорожная В.Т. Сравнительная характеристика материалов для костной пластики: состав и свойства. В кн.: *Физико-химические и механические свойства внеклеточного матрикса как сигналы для управления пролиферацией, дифференцировкой, подвижностью и таксисом клеток*. Москва: ФИЗМАТЛИТ; 2021. с. 27-54. Kirilova I.A., Podorozhnaya V.T. Comparative characteristics of materials for bone grafting: composition and properties. In: *Physicochemical and mechanical properties of the extracellular matrix as signals for controlling proliferation, differentiation, motility and taxis of cells*. Moscow: FIZMATLIT; 2021. p. 27-54. (In Russian).
4. Шастов А.Л., Кононович Н.А., Горбач Е.Н. Проблема замещения посттравматических дефектов длинных костей в отечественной травматолого-ортопедической практике (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2018;24(2):252-257. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-252-257. Shastov A.L., Kononovich N.A., Gorbach E.N. [Management of posttraumatic long bone defects in the national and foreign orthopedic practice (literature review)]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2018;24(2):252-257. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-252-257.
5. Wang W., Yeung K.W.K. Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: A review. *Bioact Mater*. 2017;2(4):224-247. doi: 10.1016/j.bioactmat.2017.05.007.
6. Короткин А.А., Захарова Д.В., Новикова Я.С., Горбатов Р.О., Ковалдов К.А., Эль Мудни Ю.М. Опыт применения индивидуальных трехфланцевых вертлужных компонентов при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(4):101-111. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-101-111. Korytkin A.A., Zakharova D.V., Novikova Ya.S., Gorbatov R.O., Kovaldov K.A., El Moudni Y.M. [Custom Triflange Acetabular Components in Revision Hip Replacement (experience Review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(4):101-111. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-101-111.
7. Тихилов Р.М., Джавадов А.А., Денисов А.О., Чилилов А.М., Черкасов М.А., Билык С.С. и др. Анализ экономической эффективности использования индивидуальных и серийных вертлужных конструкций при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):234-240. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Denisov A.O., Chililov A.M., Cherkasov M.A., Bilyk S.S. et al. [Cost-effectiveness analysis of custom-made and serial acetabular components in revision hip arthroplasty]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2022;28(2):234-240. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240.
8. Yu X., Tang X., Gohil S.V., Laurencin C.T. Biomaterials for bone regenerative engineering. *Adv Healthc Mater*. 2015;4(9):1268-1285. doi: 10.1002/adhm.201400760.
9. Hrapkiewicz K., Colby L.A., Denison P. Clinical laboratory animal medicine: an introduction. John Wiley & Sons; 2013. 431 p.
10. Liu E., Fan J. Fundamentals of Laboratory Animal Science. CRC Press; 2017. 352 p.
11. Heuther S. Obesity and disorders of nutrition. In: Brashers V.L. et al. (ed.). *Pathophysiology: the biologic basis for disease in adults and children*. 8th edition. Elsevier; 2018. p 2268-2313.
12. Baljit S. Part I. General anatomy. In: Baljit S. ed. *Dyce, Sack, and Wensing's textbook of veterinary anatomy*. London: Elsevier; 2017 (Ed. 5). p. 1-28.
13. Oedayrajsingh-Varma M.J., Van Ham S.M., Knippenberg M., Helder M.N., Klein-Nulend J., Schouten T.E. et al. Adipose tissue-derived mesenchymal stem cell yield and growth characteristics are affected by the tissue-harvesting procedure. *Cytotherapy*. 2006;8(2):166-177. doi: 10.1080/14653240600621125.
14. Baer P.C., Geiger H. Adipose-derived mesenchymal stromal/stem cells: tissue localization, characterization, and heterogeneity. *Stem Cells Int*. 2012;2012:812693. doi: 10.1155/2012/812693.
15. Permuy M., López-Peña M., Muñoz F., González-Cantalapiedra A. Rabbit as model for osteoporosis research. *J Bone Miner Metab*. 2019;37(4):573-583. doi: 10.1007/s00774-019-01007-x.
16. Подорожная В.Т., Садовой М.А., Кирилова И.А., Шаркеев Ю.П., Легостаева Е.В. Аллогенные костные материалы: структура, свойства, применение. *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013;56(12-3):14-20.

- Podorozhnaya V.T., Sadovoi M.A., Kirilova I.A., Sharkeev Yu.P., Legostaeva E.V. [Allogeneic bone materials: structure, properties, application]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika* [Russian Physics Journal]. 2013;56(12-3):14-20. (In Russian).
17. Черданцева Л.А., Анастасиева Е.А., Алейник Д.Я., Егорихина М.Н., Кирилова И.А. Оценка *in vitro* влияния аллогенной костной матрицы на характеристики мезенхимальных стромальных клеток из жировой ткани при создании комбинированных тканеинженерных конструкций. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):53-65. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-53-65. Cherdantseva L.A., Anastasieva E.A., Aleynik D.Ya., Egorikhina M.N., Kirilova I.A. [In Vitro Evaluation of the Allogeneic Bone Matrix Effect on the Adipose Mesenchymal Stromal Cells Characteristics in Combined Tissue Engineering]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):53-65. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-53-65.
 18. Воробьев К.А., Божкова С.А., Тихилов Р.М., Черный А.Ж. Современные способы обработки и стерилизации аллогенных костных тканей (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(3):134-147. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-134-147. Vorobyov K.A., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Cherny A.Zh. [Current Methods of Processing and Sterilization of Bone Allografts (Review of Literature)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(3):134-147. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-134-147.
 19. Воробьев К.А., Божкова С.А., Анисимова Л.И., Нетьлько Г.И. Влияние методов заготовки костно-пластического материала на процессы ремоделирования в модели костного дефекта в эксперименте *in vivo*. *Практическая медицина*. 2019;17(1):67-72. Vorobyov K.A., Bozhkova S.A., Anisimova L.I., Netylko G.I. [Effect of the osteoplastic material processing methods on the remodeling in the experimental bone defect model *in vivo*]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical medicine]. 2019;17(1):67-72. (In Russian).
 20. Кирилова И.А. Анатомо-функциональные свойства кости как основа создания костно-пластических материалов для травматологии и ортопедии. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2019. 256 p. Kirilova I.A. [Anatomical and functional properties of bone as the basis for the creation of osteoplastic materials for traumatology and orthopedics]. Moscow: FIZMATLIT; 2019. 256 p. (In Russian).
 21. Sharun K., Pawde A.M., Kumar R., Kalaiselvan E., Kinjavdekar P., Dhama K. et al. Standardization and characterization of adipose-derived stromal vascular fraction from New Zealand white rabbits for bone tissue engineering. *Vet World*. 2021;14(2):508-514. doi: 10.14202/vetworld.2021.508-514.
 22. Guo J., Nguyen A., Banyard D.A., Fadavi D., Toronto J.D., Wirth G.A. et al. Stromal vascular fraction: A regenerative reality? Part 2: Mechanisms of regenerative action. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2016;69(2):180-188. doi: 10.1016/j.bjps.2015.10.014.
 23. Bora P., Majumdar A.S. Adipose tissue-derived stromal vascular fraction in regenerative medicine: a brief review on biology and translation. *Stem Cell Res Ther*. 2017;8(1):145. doi: 10.1186/s13287-017-0598-y.
 24. Gentile P., Sterodimas A., Pizzicannella J., Dionisi L., De Fazio D., Calabrese C. et al. Systematic Review: Allogenic Use of Stromal Vascular Fraction (SVF) and Decellularized Extracellular Matrices (ECM) as Advanced Therapy Medicinal Products (ATMP) in Tissue Regeneration. *Int J Mol Sci*. 2020;21(14):4982. doi: 10.3390/ijms21144982.
 25. Павлов В.Н., Казихинов Р.А., Казихинов Р.А., Пушкарев А.М., Агавердиев М.А., Максимова С.Ю. и др. Современные возможности клинического применения стромально-вазкуляриной фракции жировой ткани. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2020;15(6(90)):142-153. Pavlov V.N., Kazikhinurov A.A., Kazikhinurov R.A., Pushkarev A.M., Agaverdiev M.A., Maximova S.Yu. et al. [Modern possibilities of clinical application of the adipose tissue-derived stromal vascular fraction. Literature review]. *Meditsinskii vestnik Bashkortostana* [Bashkortostan Medical Journal]. 2020;15(6(90)):142-153. (In Russian).
 26. Хоминец В.В., Воробьев К.А., Соколова М.О., Иванова А.К., Комаров А.В. Аллогенные остеопластические материалы для реконструктивной хирургии боевых травм. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090. Khominets V.V., Vorobev K.A., Sokolova M.O., Ivanova A.K., Komarov A.V. [Allogenic osteoplastic materials for reconstructive surgery of combat injuries]. *Izvestiya Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Russian Military Medical Academy Reports]. 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090.
 27. Elgali I., Turri A., Xia W., Norlindh B., Johansson A., Dahlin C. et al. Guided bone regeneration using resorbable membrane and different bone substitutes: Early histological and molecular events. *Acta Biomater*. 2016;29:409-423. doi: 10.1016/j.actbio.2015.10.005.

Сведения об авторах

✉ Анастасиева Евгения Андреевна

Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17
<https://orcid.org/0000-0002-9329-8373>
 e-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com

Черданцева Лилия Александровна — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-4729-3694>
 e-mail: cherdanceff@yandex.ru

Толстикова Татьяна Генриховна — д-р биол. наук
<https://orcid.org/0000-0002-3750-2958>
 e-mail: tg_tolstikova@mail.ru

Кирилова Ирина Анатольевна — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>
 e-mail: irinakirilova71@mail.ru

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

Liliya A. Cherdantseva — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-4729-3694>
 e-mail: cherdanceff@yandex.ru

Tatyana G. Tolstikova — Dr. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-3750-2958>
 e-mail: tg_tolstikova@mail.ru

Irina A. Kirilova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>
 e-mail: irinakirilova71@mail.ru

Научная статья

УДК [616.728.2+616.728.3]-089.844-089.17

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>

Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена

А.П. Середа^{1,2}, А.А. Джавадов¹, А.А. Черный¹, С.С. Билык¹, А.О. Денисов¹, И.И. Шубняков¹, Н.Н. Корнилов^{1,3}, А.И. Авдеев¹, А.А. Столяров⁴, А.С. Демин¹, 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 «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

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

Актуальность. На сегодняшний день в России диспансерное наблюдение за пациентами после эндопротезирования осуществляется в соответствии с клиническими рекомендациями, формулировки из которых основаны на монографиях 2006, 2008 и 2014 гг. Кроме того, клинические рекомендации по диспансерному наблюдению не учитывают результаты лечения, оцененные самим пациентом.

Целью данного исследования было изучение существующих систем и разработка собственной системы наблюдения за пациентами после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов.

Результаты. Обзор литературы выявил, что наблюдение за пациентами после эндопротезирования представляет собой нерешенную проблему, составляющими которой являются низкий охват, нежелание или забывчивость асимптомных пациентов, проблема доступности медицинских осмотров, избыточная финансовая нагрузка на систему здравоохранения. С 2022 г. в клинической практике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в выписных эпикризах используются рекомендации по наблюдению после эндопротезирования. Рекомендации по периодичности наблюдений были сформулированы экспертами на основе всестороннего обзора литературы и собственного опыта. За первые три месяца собрана 221 анкета по оценке тазобедренного сустава и 235 — коленного сустава, причем число анкет по данным еженедельного мониторинга прогрессивно возрастает.

Заключение. К сожалению, поликлиническая система не всегда может обеспечить качественное наблюдение за пациентами после эндопротезирования в силу различных причин, поэтому реализация механизма удаленного наблюдения за пациентами, на наш взгляд, позволит выявлять на этапе ранней диагностики различные осложнения, что будет способствовать оперативному решению данной проблемы. Также система удаленного наблюдения представляет собой важный источник научных данных.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава, эндопротезирование тазобедренного сустава, диспансерное наблюдение.

☞ Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Билык С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М. Наблюдение пациентов после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов: обзор литературы и доклад о пилотном проекте Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):60-72. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>.

✉ Джавадов Алисагиб Аббасович; e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Рукопись получена: 01.11.2022. Рукопись одобрена: 31.01.2023. Статья опубликована онлайн: 13.02.2023.

© Середа А.П., Джавадов А.А., Черный А.А., Билык С.С., Денисов А.О., Шубняков И.И., Корнилов Н.Н., Авдеев А.И., Столяров А.А., Демин А.С., Тихилов Р.М., 2023



Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Andrei P. Sereda^{1,2}, Alisagib A. Dzhavadov¹, Alexander A. Cherny¹, Stanislav S. Bilyk¹, Alexey O. Denisov¹, Igor I. Shubnyakov¹, Nikolai N. Kornilov^{1,3}, Alexander I. Avdeev¹, Alexey A. Stolyarov⁴, Alexander S. Demin¹, 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 Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

⁴ Stavropol State University, Stavropol, Russia

Background. Today in our country, the follow-up of patients after arthroplasty is carried out in accordance with clinical guidelines, the wording of which is based on monographs from 2006, 2008, and 2014, in addition, clinical guidelines for follow-up do not take into account the results of treatment assessed by the patient himself.

The purpose of this study was to examine existing systems and develop a proprietary follow-up system for patients after hip and knee arthroplasty.

Results. A review of the literature revealed that follow-up of patients after arthroplasty is an unsolved problem, within which there is low coverage, reluctance or forgetfulness of the asymptomatic patient, the problem of accessibility of medical examinations, and an excessive financial burden on the health care system. Since 2022, fixed recommendations for follow-up after arthroplasty have been used in the clinical practice of our center in discharge epicrisis. Recommendations for the frequency of follow-up were formulated by experts based on a comprehensive review of the literature and their own experience. In the first three months, 221 hip and 235 knee evaluation questionnaires were collected through the proposed mechanism, with a progressive increase in the number of questionnaires based on weekly monitoring data.

Conclusion. Unfortunately, the outpatient clinic system is not always able to provide qualitative monitoring of patients after arthroplasty due to various reasons, therefore, in our opinion, the implementation of the mechanism of remote monitoring of patients will allow detecting various complications at the stage of early diagnosis, which will contribute to prompt solution of these problems. The remote monitoring system is also an important source of scientific data.

Keywords: knee arthroplasty, hip arthroplasty, remote monitoring, follow-up.

Cite as: Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M. [Follow-Up After Hip and Knee Arthroplasty: a Review of the Literature and a Report on a Pilot Project at the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedic]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):60-72. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2020>.

✉ Alisagib A. Dzhavadov; e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

Submitted: 01.11.2022. Accepted: 31.01.2023. Published Online: 13.02.2023.

© Sereda A.P., Dzhavadov A.A., Cherny A.A., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I., Kornilov N.N., Avdeev A.I., Stolyarov A.A., Demin A.S., Tikhilov R.M., 2023

Введение

Число эндопротезирований тазобедренного и коленного суставов неуклонно растет во всем мире [1]. В Российской Федерации, по данным отчета НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, в 2018 г. было выполнено 116 597 операций, из них 70 316 артропластик тазобедренного и 42 904 артропластики коленного сустава в соотношении 1,6:1,0 [2].

Отчет НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена показал еще большее количество эндопротезирований: в 2019 г. в РФ было выполнено 83 311 операция первичного эндопротезирования тазобедренного, 63 750 — коленного суставов (соотношение 1,3:1,0), 5 197 ревизионных артропластик тазобедренного сустава и 2 573 — коленного сустава. Соотношение ревизионных и первичных операций тазобедренного сустава составило 1:16, а коленного — 1:25. Таким образом, ревизии коленного сустава выполнялись в 1,55 раза реже, чем тазобедренного [3]. Большие цифры в отчете НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена обусловлены тем, что в отличие от отчета НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова в анализ были включены медицинские организации федерального подчинения и частные медицинские организации.

В соответствии с клиническими рекомендациями после эндопротезирования тазобедренного сустава [4] рекомендовано выполнение рентгенографии тазобедренных суставов в двух проекциях через 3 и 12 мес., а затем — один раз в 5 лет [5, 6]. Клинические рекомендации по гонартрозу [7] диктуют необходимость рентгенографии после эндопротезирования через 6 и 12 мес., а затем — один раз в 5 лет [8].

Как можно видеть, формулировка клинических рекомендаций по периодичности диспансерного рентгенологического обследования после эндопротезирования как тазобедренного, так и коленного суставов основана на монографиях 2006, 2008 и 2014 гг. [5, 6, 8], которые не являются сами по себе научными исследованиями, сфокусированными на вопросе периодичности послеоперационного диспансерного наблюдения. Кроме того, клинические рекомендации по диспансерному наблюдению совершенно не учитывают клинические результаты, оцененные пациентом, — так называемые Patient Related Outcome Measures (PROM), качество жизни пациента и его динамику. В результате этого может сложиться порочное представление о том, что исключительно диспансерная рентгенологическая оценка будет служить мерилом того, требуется ли пациенту ревизия или оказалась ли эффективной операция.

PROM имеет важную особенность — эта оценка исключительно субъективна и учитывает только оценку полученных результатов самим пациентом. Соответственно, PROM может выполняться

дистанционно, без обременения пациента явками в лечебные учреждения, что не только открывает новые горизонты реального наблюдения за пациентом, но и теоретически повысит соблюдение пациентом предписанных рекомендаций и снизит нагрузку на систему здравоохранения за счет исключения ни на что не влияющих визитов.

Поскольку диспансеризация в соответствии с нормативными документами ограничена только лишь рентгенографией и не включает в себя PROM, то в рамках данной статьи мы будем использовать термин «наблюдение», подразумевая не только комплекс диспансерного наблюдения, но и систему принятия решений и передачи информации.

Цель исследования — изучение существующих систем и разработка собственной системы наблюдения за пациентами после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов.

Нуждаются ли пациенты в наблюдении после эндопротезирования?

Система наблюдения за пациентами после эндопротезирования должна учитывать следующую дилемму:

- рентгенологические обследования могут выявить асимптомных пациентов, которым показана ревизия;
- не все рентгенологические изменения требуют ревизии у асимптомных и малосимптомных пациентов.

Частота ранних ревизий (в течение 5 лет после первичной операции) после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, по данным зарубежных авторов, в настоящее время составляет лишь около 24% от всех повторных операций [9]. Структура ревизий включает следующие основные причины: вывихи, асептическое расшатывание и инфекцию [9, 10, 11].

В контексте наблюдения за пациентами особенно важна диагностика остеолита, который может быть вполне бессимптомным до того, как появится расшатывание. В 1990-х и 2000-х гг. частота ревизий по поводу асептического расшатывания ввиду остеолита была весьма высокой и достигала 47% от числа всех ревизий [12]. В.М. Wroblewski с соавторами наблюдали за 22 066 первичными эндопротезами в течение максимального периода 38 лет и обнаружили, что 72,6% случаев расшатывания или износа полиэтилена произошли в срок между 7 и 20 годами после операции [13]. Это говорит о том, что основной целью наблюдения за такими пациентами должно быть выявление бессимптомных пациентов с остеолитом до того, как появится несомненный повод к ревизии. С другой стороны, в настоящее время отсутствуют исследования, которые доказали бы эффективность

профилактических ревизий по поводу остеолита. Отсутствие таких исследований, на наш взгляд, обусловлено сложностью корректного дизайна исследования и не должно ставить под сомнение целесообразность наблюдения и ранней диагностики остеолита в целом.

Частота и структура ранних ревизий тазобедренного сустава, по данным регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, в отличие от зарубежных публикаций, иная: к 2019 г. доля ранних ревизий увеличилась с 32,9% до 56,7% в 2013 г., при этом ранние ревизии составили 37,4% первичных ревизий [14], что намного больше 24% по данным J.S. Melvin с соавторами [9]. Основными причинами ревизий, по данным регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, в 2019 г. являлись асептическое расшатывание компонентов эндопротеза (50,3%), инфекция (27,6%), износ полиэтилена и остеолит (9,0%) и вывихи (6,2%) [14].

По данным национального регистра эндопротезирования коленного сустава Англии, Уэльса, Северной Ирландии и острова Мэн, риск ревизионной операции в течение первых 12 лет после операции относительно низкий и составляет примерно 5% [15, 16]. От 27% до 69% ревизионных операций являются ранними и выполняются в течение первых двух лет, а наиболее частым поводом к ревизии при этом является инфекция [16, 17].

Некоторые авторы указывают, что, в отличие от эндопротезирования тазобедренного сустава, остеолит является редкой причиной ранней неудачи после эндопротезирования коленного сустава: частота этого повода к ревизии коленного сустава составляет менее 10% [1, 17]. Однако М. Khan с соавторами в своем обзоре объединенных данных из нескольких регистров сообщили, что асептическое расшатывание (29,8%), инфекция (14,8%) и боль (9,5%) были наиболее частыми поводами к ревизиям (как ранним, так и поздним) [16].

При анализе регистра эндопротезирования коленного сустава НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2011 по 2021 г. включительно отмечается тенденция выравнивания процентного соотношения асептических и септических ревизий (рис. 1). Это, вероятно, связано с кривой обучения и вытекающим из этого постепенным уменьшением количества рисков, а именно интраоперационной кровопотери и времени первичного оперативного вмешательства. Однако эти данные сложно экстраполировать на другие клиники, поскольку в данном случае НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена выступает в роли ревизионного центра, куда направляется большая часть профильных пациентов со всех регионов Российской Федерации независимо от места выполнения первичной артропластики.



Рис. 1. Структура основных причин ревизионного эндопротезирования коленного сустава в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2011 по 2021 г. включительно

Fig. 1. Structure of the main causes of revision total knee arthroplasty in the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics from 2011 to 2021

Между тем в регистре НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в структуре асептических ревизий коленного сустава ведущей причиной по итогам 2021 г. стала асептическая нестабильность (60,4%). В число значимых причин вошли также дисбаланс либо нестабильность сустава (8,1%) и боль в переднем отделе сустава (7,2%), которые, однако, наблюдались в существенно меньшем количестве случаев.

Меньшая частота ревизий по поводу остеолита коленного сустава по сравнению с тазобедренным, возможно, предполагает более низкую потребность в рентгенологической оценке после эндопротезирования коленного сустава, что нашло соответствующее отображение в рекомендациях, указанных в выписном эпикризе для пациентов НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, — у коленного сустава нет рекомендации по выполнению рентгенографии через 7 лет в отличие от тазобедренного.

Обзор существующих рекомендаций по наблюдению после эндопротезирования

Британское общество тазобедренного сустава (British Hip Society) рекомендует выполнять контрольные осмотры через год, через 7 лет и далее каждые 3 года, если пациент бессимптомен и не имеет рентгенологической проблемы. В ходе каждого осмотра рекомендуется выполнять рентгенограммы в переднезадней и боковой проекциях и оценку по шкале Oxford (по телефону или по традиционной почте). Если у пациента использовался новый имплантат, то дополнительно рекомендуется осмотр через 5 лет, затем через 7, 10 и далее каждые 3 года [18].

Общество эндопротезирования Австралии (Arthroplasty Society of Australia) тем пациентам,

у которых операция была выполнена в возрасте моложе 70 лет, или в тех случаях, когда использовался эндопротез, не оцененный долгосрочно в австралийском регистре NJRR, рекомендует осмотры менее часто — один раз через 1–2 года, один раз через 7–10 лет и далее каждые 3–5 лет [19]. Такая периодичность осмотров поддерживается результатами исследования L.E. Vayliss с соавторами, которые выяснили, что риск ревизии в течение оставшейся жизни у пациентов, прооперированных в возрасте старше 70 лет, составляет 1–6%, в то время как для пациентов в возрасте моложе 50 лет на момент первой операции этот риск составляет 35% [20]. Таким образом, более экстенсивное наблюдение за более пожилыми пациентами, может быть, лишено смысла, а экстенсивная рекомендация по более частым, не имеющим смысла осмотрам пожилых пациентов может служить причиной разочарований доступностью медицинской помощи, снижения вероятности соблюдения пациентами рекомендаций, психологических рисков и нагрузки на систему здравоохранения. С другой стороны, частота осмотров молодых пациентов должна быть большей.

В США отсутствуют рекомендации по периодичности наблюдения, поэтому решения принимаются врачами самостоятельно. Опрос ортопедов, выполненный Американской ассоциацией хирургов тазобедренного и коленного сустава (American Association of Hip and Knee Surgeons), показал, что 95,9% используют «календарь» плановых осмотров и рентгенографических исследований после эндопротезирования, при этом большинство респондентов рекомендуют такие наблюдения ежегодно в течение первых 5 лет, затем каждые 2 года до 10 лет после операции, а далее — каждые 2 года или ежегодно как для коленного, так и для тазобедренного суставов [21].

J.V. Meding с соавторами провели анализ 11 019 эндопротезирований коленного сустава с целью выявления пика времени, когда пациенты нуждаются в ревизии. Оказалось, что оптимальным временем для осмотров являются 6 мес., 1 год, 3 года, 8, 12 и 17 лет. При этом более частые осмотры требуются для пациентов с индексом массы тела >40 кг/м², а также для тех пациентов, у которых симптомы появились через 6 мес. после операции. Однако в этом исследовании общая частота ревизий составила 7,5% через 20 лет, и в нем, как и во всех других исследованиях, не регистрируется факт того, что решение о ревизии было принято у симптомного пациента, обратившегося самостоятельно по поводу своих жалоб, или в ходе рутинного планового осмотра [22]. Соответственно, рекомендации по периодичности осмотров у асимптомных пациентов, возможно, избыточны, так как не влияют в конечном итоге на решение о ревизии.

Аналогично отсутствуют и исследования, которые подтвердили бы эффективность профилактических ревизий, в том числе и ввиду сложности их дизайна. В связи с этим имеющихся в настоящее время данных недостаточно, чтобы опровергнуть утверждение о том, что асимптомный пациент не нуждается в частом наблюдении, а в абсолютном случае не нуждается вообще ни в каком наблюдении: обоснованное решение об операции принимается у симптомного пациента, эффективность профилактических ревизий не доказана. Однако полностью исключить рекомендации по осмотрам асимптомных пациентов будет неразумным, поскольку мы лишимся важного инструмента научных исследований во благо пациента. С другой стороны, нужно признать, что периодичность наблюдений после эндопротезирования — не более чем мнение экспертов и никак не подкреплена корректными исследованиями.

Как проводится наблюдение после эндопротезирования?

Какими бы ни были рекомендации по периодичности осмотров, существует проблема их реальности и выполнимости как ввиду доступности медицинской помощи, так и ввиду соблюдения данных рекомендаций пациентом. В этом вопросе весьма отрезвляюще выглядят результаты исследования P. De Pablo с соавторами, которые показали, что после эндопротезирования тазобедренного сустава у 15% пациентов вообще не была выполнена диспансерная рентгенограмма, у 43% пациентов был выполнен только ранний осмотр и лишь у 42% пациентов был выполнен полноценный осмотр с рентгенографией через 6 лет. Соответственно, можно предположить, что в более поздние периоды наблюдения процент охвата будет еще меньшим, причем намного меньшим до тех пор, пока у пациента не появятся какие-либо симптомы [23].

Еще меньший охват продемонстрирован в других работах. Так, опрос членов Британской ассоциации ортопедов (British Orthopaedic Association) показал, что 60% ортопедов не видят прооперированных пациентов через один год, только 27% ортопедов выполняют осмотр после эндопротезирования тазобедренного сустава и лишь 13% назначают контрольные рентгенограммы [24].

Как мы отмечали выше, североамериканские коллеги рекомендуют контрольные осмотры намного чаще (наблюдения ежегодно в течение первых 5 лет, затем каждые 2 года до 10 лет после операции, а далее — каждые 2 года или ежегодно как для коленного, так и для тазобедренного суставов) [21]. Однако 78,3% врачей в том исследовании были врачами частной практики и получали соответствующее финансовое вознаграждение за осмотр пациента в отличие от их британских коллег.

В этой связи мы повторим мысль о том, что поступат «бессимптомному пациенту наблюдение нужно», совершенно не опровергнут.

Некоторые авторы считают, что раннее наблюдение после эндопротезирования вообще весьма сомнительно [1]. В исследовании С.А. Jacobs с соавторами было продемонстрировано, что ни у одного из 339 пациентов, которым была выполнена ранняя ревизия в интервале между годом и двумя, не было выявлено каких-либо проблем в ходе ранних осмотров до одного года [25]. Аналогичное исследование показало, что только у одного из 304 пациентов повод к ревизии был обнаружен в ходе рутинного осмотра (асептическое расшатывание) [26].

Аналогично мало доказательств эффективности рутинных среднесрочных и долгосрочных диспансерных осмотров у асимптомных пациентов. С. Nacking с соавторами сообщили, что в серии из 110 пациентов, перенесших ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, только 4 (3,6%) тазобедренных сустава (у 3 пациентов) были бессимптомными, остальные пациенты были симптомными по боли (75%), вывиху (8,2%), перипротезному перелому (6,4%) и по другим причинам (6,8%), (настоящие проценты пересчитаны авторами этой публикации) [27]. Очевидно, что эти 96,4% симптомных пациентов искали бы медицинской помощи по поводу своих симптомов и без рутинного диспансерного осмотра. В этой связи интересна работа А.В. Joshi с соавторами, которые обнаружили, что пациенты, перенесшие эндопротезирование коленного сустава и выбывшие из наблюдения, имели более низкую частоту ревизий и более высокие баллы удовлетворенности [28]. Соответственно, пациент, которому нужна ревизия, обратится за помощью и без рутинного осмотра.

Стоимость одной консультации и рентгенологического обследования в нашей стране не устанавливается на федеральном уровне — в каждом субъекте Российской Федерации существует своя территориальная программа государственных гарантий. Поэтому вычисление стоимости одного дополнительного посещения пациента после эндопротезирования в масштабах страны будет иметь некоторую приблизительность. Возьмем три субъекта Российской Федерации, медианных по валовому внутреннему продукту: Калужская область, Мурманская область и Архангельская область (без округа) — 466; 482,5 и 514 млрд рублей [29]. Можно предположить, что это истинно средние субъекты по экономической ситуации. Консультация врача травматолога-ортопеда тарифицируется как первичная медико-санитарная помощь в амбулаторных условиях с профилактической и иными целями. Средневзвешенные нормативы финансовых затрат на единицу объема медицинской помощи по трем медианным субъектам в тарифах 2022 г.

составляют 498 руб., а средневзвешенный тариф на рентгенографию в одной проекции (таз, шейка бедренной кости, коленный сустав) составляет 593 руб., в двух проекциях — 1288 руб. Таким образом, каждое дополнительное наблюдение пациента после эндопротезирования в ценах 2022 г. будет стоить 1786 руб. без учета CAPEX-затрат (капитальные затраты), которые не погружены в тарифы обязательного медицинского страхования в части амбулаторных посещений.

Учитывая, что ежегодно проводится 88 508 эндопротезирований тазобедренного и 66 323 коленного сустава (первичных и ревизионных), то дополнительные годовые затраты составят $(88\,508 + 66\,323) \cdot 1\,786 \text{ руб} = 276\,528\,166 \text{ руб}$. С учетом того, что каждый год в нашей стране число пациентов, которым выполнено эндопротезирование, увеличивается на 155 тыс. человек, то каждые два дополнительных наблюдения (в сравнении с клиническими рекомендациями [4, 7]) в десятилетнем горизонте, как указывается в выписных рекомендациях НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, будут требовать дополнительных затрат в масштабах страны в размере 553 млн руб. ежегодно. С одной стороны, это немного, тем более что охват такими явками никогда не бывает полным, но, с другой стороны, эта цифра не учитывает CAPEX-затраты. А самое опасное, на наш взгляд, в том, что каждое дополнительное посещение снижает доступность медицинской помощи в целом в тех случаях, когда это действительно нужно, например симптомному пациенту.

Важный вопрос заключается в том, кто непосредственно проводит осмотры пациентов после эндопротезирования. В ряде зарубежных стран существуют специализированные амбулаторные службы, которые не только наблюдают пациентов после эндопротезирования, но и эффективно ведут лист ожидания на эндопротезирование — так называемые клиники под руководством опытного врача (advanced-practitioner-led clinic) [30, 31]. При этом осмотры и последующее направление пациентов на консультацию к ортопеду вполне эффективно делают физиотерапевты, разгружая ортопедов — анализ консультаций таких физиотерапевтов показал, что они перенаправляют пациента для консультации по поводу оперированного сустава только в 7,4% случаев [32]. Более того, К.Е. Large с соавторами сообщили о более высоких результатах PROM после эндопротезирования коленного сустава у пациентов, которых вели и наблюдали физиотерапевты, при этом ни один из таких пациентов не был направлен на консультацию к ортопеду [33]. В обоих исследованиях не было зарегистрировано ни одного случая нежелательных явлений при ведении (наблюдении) пациента только физиотерапевтом [32, 33]. При этом комплайнс пациентов и их приверженность

явкам на осмотры к физиотерапевтам, по данным M.J. Walton с соавторами и В. Savka с соавторами [32, 34], были весьма высокими и превышали 80%. В целом физиотерапевт может быть вполне разумной полной альтернативой ортопеду при раннем наблюдении за пациентами, перенесшими эндопротезирование [34, 35], хотя экономическая целесообразность такой модели практически отсутствует. M.J. Walton с соавторами пришли к выводу, что ведение и наблюдение пациента через систему клиники под руководством опытного врача дает только 1% финансовой экономии по сравнению с традиционной системой наблюдения у ортопеда [32].

Другой важный игрок в системе наблюдения за пациентом после эндопротезирования — врач общей практики, причем такая модель наблюдения используется все чаще [36]. С другой стороны, врачи общей практики не обладают достаточной квалификацией в ранней диагностике перипротезной инфекции [37], а ведь своевременная диагностика перипротезной инфекции может сделать возможной гораздо более привлекательную одноэтапную санацию. Существуют обоснованные сомнения и в вопросе диагностики врачами общей практики остеолита, так как они будут полагаться на заключение рентгенолога, который, в свою очередь, тоже проигрывает ортопеду в части верификации ранних проявлений. M.C. Nogaró с соавторами сообщили, что у пациентов, которым выполнялась ревизия тазобедренного сустава, рентгенологи сравнивали предоперационные снимки в динамике только в 42% случаев, они вообще не идентифицировали расшатывание вертлужного компонента в 10% случаев, бедренного компонента — в 12% случаев и не верифицировали вертлужный и бедренный остеолит в 26% и 28% случаев соответственно [38].

Преимущество наблюдения пациента после эндопротезирования самими ортопедами заключается в том, что это позволяет более прецизионно оценивать результаты, точнее даже непосредственно видеть ортопедам результаты своих операций, в том числе и в рамках оценки новых имплантатов [39, 40]. С другой стороны, в двух исследованиях Beyond Compliance и Scottish Arthroplasty Project было показано, что врачи общей практики вполне эффективно справляются с мониторингом новых имплантатов и своевременно диагностируют неудачи [41, 42].

Перспективы наблюдения за пациентами: «виртуальная» клиника

Последние 10 лет прогрессивно развиваются системы удаленного сбора информации о пациентах после эндопротезирования, которые включают рентгенографию и PROM. В их основе, как правило, лежит web-опросник, к которому можно

прикрепить рентгенограммы. Пионерами создания таких систем являлись G. Wood с соавторами — 40 пациентов [43] и J.D. Marsh с соавторами — 118 пациентов [44]. В этих пилотных исследованиях было продемонстрировано снижение потребности в очных консультациях, а также, что такое телеконсультирование как минимум в течение первого года после операции позволяет не пропустить повод к ревизии [43, 44]. Позже J. Marsh с соавторами показали и экономическую эффективность такой модели [45].

Такое телеконсультирование показывает хорошую вовлеченность пациентов на ранних сроках после операции, однако существуют обоснованные опасения в полноте сбора информации на более отдаленных сроках [46]. Из 154 пациентов, которые отказались принимать участие в пилотном проекте J. Marsh с соавторами [44], 14% больных обосновали это тем, что они «хотят видеть хирурга вживую», а удовлетворенность пациентов, которые приходили к ортопеду очно, оказалась более высокой, чем у пациентов «виртуальной» клиники [44, 47]. Возможно, эта проблема решится посредством применения видеосвязи или возможности прикрепления видеофайлов [48]. Кроме того, значительное число пациентов в обоих исследованиях испытывали трудности с компьютером и нуждались в помощи при заполнении анкеты [43, 44].

Пандемия COVID-19 дала мощный импульс развитию телемедицины. Развитие идет как по пути IT-гигантов (Information Technology), например Zoom for Health [49], по пути собственных платформ «министерств» здравоохранения, например National Health Service attend anywhere [50], по пути «кастомных» разработок клиник [51, 52]. Также системы мониторинга на основе приложений для смартфонов развивают и такие производители эндопротезов, как Zimmer Biomet (Warsaw, США) [53, 54].

Система удаленной оценки результатов эндопротезирования в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена

С 2022 г. в клинической практике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в выписных эпикризах используются рекомендации по наблюдению (табл. 1).

Как можно заметить, частота рекомендованных наблюдений в выписных эпикризах НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена превышает частоту наблюдений в клинических рекомендациях [4, 7]. Формулировка рекомендаций для выписного эпикриза делалась в конце 2021 г. врачами Центра, являющимися авторами настоящей статьи. С одной стороны, большая частота рекомендаций по рентгенографии может служить источником сопротивления со стороны страховых компаний, но, с другой стороны, клинические рекомендации подлежат периодическому пересмотру.

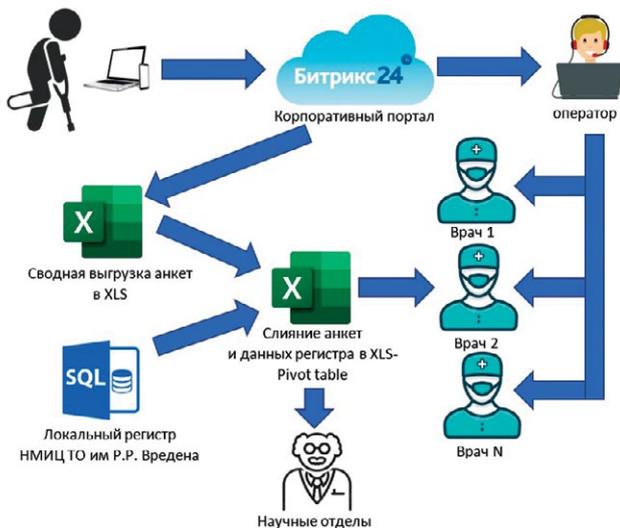


Рис. 3. Схема дистанционного наблюдения за пациентами после эндопротезирования в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена

Fig. 3. Scheme of remote monitoring patients after arthroplasty at the Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics

Затем пациент отвечает на вопросы шкалы Oxford в модификации Центра им. Р.Р. Вредена, прикрепляет файлы (возможно прикрепление с камеры смартфона), указывает варианты обратной связи, включая наиболее распространенный мессенджер WhatsApp. Далее анкета из web-формы уходит в виде отдельной задачи в корпоративный портал, где поступает на рассмотрение оператору. Мы считаем этот этап очень важным и не видим возможности исключить оператора по следующим причинам: уверенная связка данных пациента, заполнившего анкету, возможна только через Госуслуги по протоколу единой системы идентификации и аутентификации (ЕСИА). Внедрение ЕСИА в web-форму возможно, но мы опасаемся, что это отпугнет ряд пациентов. Автосвязывание через номер электронной медицинской карты тоже может быть затруднительно для некоторых пациентов. Автосвязывание через лечащего врача или оперировавшего хирурга также малоперспективно, так как многие пациенты просто не помнят фамилию врача или врач может уволиться. Кроме того, теоретически некоторые анкеты пациентов требуют административного участия. В связи с этим мы полагаем невозможным исключить этап оператора, сортирующего анкеты. Мы планируем сохранять этот механизм в течение как минимум двух лет, чтобы понять реальную вовлеченность пациентов, и только после этого будем внедрять либо аутентификацию через Госуслуги (ЕСИА), либо иной вариант аутентификации (через привязку к соцсетям, почте и т.д.).

Далее оператор переключает задачу в корпоративном портале на того врача, который опери-

ровал. В тексте задачи есть результаты анкетирования по шкале Oxford–Вредена, прикрепленные пациентом изображения, его вопросы и комментарии. В задаче есть автоматическая гиперссылка на прямой номер пациента в WhatsApp (по протоколу открытых линий), поэтому врач при необходимости может в один клик перейти из корпоративного портала в мессенджер WhatsApp и ответить пациенту текстом или голосом со своего номера телефона или с номера отделения.

Все анкеты объединяются в виде сводного xls-файла, который сопоставляется с выгрузкой из локального регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена. Важно отметить, что предоперационный и послеоперационный статусы оцениваются по абсолютно идентичным анкетам Oxford–Вредена. Автоматическое слияние данных регистра и сводной выгрузки анкет из web-форм в настоящее время невозможно ввиду описанных выше причин, связанных с аутентификацией. После уточнения статуса анкетирования в течение двух лет мы планируем принять решение о пути автоматического слияния пред- и послеоперационных данных в виде сводной таблицы или привязки к медицинской информационной системе. Без понимания статуса реализации дорогостоящего механизма слияния по ошибочному пути может дорого обойтись, так как речь идет о тысячах и десятках тысяч пациентов.

Предложенный механизм был внедрен летом 2021 г., но нашей ошибкой было использование в качестве основы для web-формы платформы одного из зарубежных партнеров. Весной 2022 г. мы лишились возможности продлевать сотрудничество и оплачивать небольшую ежегодную абонентскую плату, поэтому пришлось сделать собственную «кастомную» разработку web-формы, которая была закончена в мае 2022 г.

За первые три месяца через предложенный механизм были собраны 221 анкета по оценке тазобедренного сустава и 235 — коленного сустава, причем число анкет, по данным еженедельного мониторинга, прогрессивно возрастает, что неудивительно, поскольку в выписных эпикризах содержится соответствующая рекомендация по периодичности (см. табл. 1).

Заключение

Наблюдение за пациентами после эндопротезирования представляет собой нерешенную проблему, составляющими которой являются низкий охват, нежелание или забывчивость асимптомного пациента, проблема доступности медицинских осмотров, избыточная финансовая нагрузка на систему здравоохранения. При этом в настоящее время остается неизвестным реальное влияние профилактических осмотров на принятие решения о ревизионном эндопротезировании, особенно

у пациентов в возрасте старше 70 лет, равно как и не доказана эффективность «профилактических» ревизий по поводу остеолита без расшатывания.

Тем не менее наблюдение за асимптомным пациентом после эндопротезирования представляет собой важный источник научных данных, которые могут использоваться как и для уточнения показаний к эндопротезированию в целях решения возможной проблемы эпидемии эндопротезирования ранних артрозов, так и для мониторинга безопасности имплантатов, особенно новых, а также для планирования развития системы эндопротезирования в целом.

Возможно, проблема низкого охвата наблюдением за пациентами после эндопротезирования будет решена за счет современных технологий. Преимуществом является простота для пациента, для чего в пилотном проекте НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена отдано предпочтение «архаичным», но более понятным пациентам web-формам. Важной особенностью является попадание результатов анкетирования и контрольных рентгеновских снимков непосредственно к оперировавшему врачу.

К сожалению, у такой формы наблюдения отсутствует юридический статус, но, несмотря на это, в случае реальной ортопедической проблемы, она может быть решена, так как есть непосред-

ственная прямая связь врач-пациент, при реализации которой право инициации связи мы отдали именно врачу, а не пациенту.

В настоящее время есть нерешенная проблема автоматического слияния данных послеоперационного наблюдения с данными локального регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена или с медицинской информационной системой. Вариантное решение будет реализовано через ЕСИА через два года по мере накопления материала и анализа приверженности и сложностей пациентов при реализованном механизме послеоперационного наблюдения. Вселяет оптимизм тот факт, что первые три месяца работы показали хорошую вовлеченность пациентов, по крайней мере, на этапе краткосрочных результатов.

Поликлиническая система не всегда может обеспечить качественное наблюдение за пациентами после эндопротезирования в силу различных причин, поэтому реализация механизма удаленного наблюдения, на наш взгляд, позволит выявлять на этапе ранней диагностики различные осложнения, что будет способствовать оперативному решению данных проблем. Увеличение количества, а также анализ поступающей информации обеспечит дальнейшее совершенствование системы удаленного наблюдения за пациентами после эндопротезирования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Середа А.П. — концепция и дизайн исследования; сбор, анализ, интерпретация данных; написание текста.

Джавадов А.А. — написание текста.

Черный А.А. — написание текста.

Билык С.С. — концепция и дизайн исследования.

Денисов А.О. — концепция и дизайн исследования.

Шубняков И.И. — редактирование.

Корнилов Н.Н. — редактирование.

Авдеев А.И. — сбор, анализ, интерпретация данных.

Столяров А.А. — концепция и дизайн исследования.

Демин А.С. — сбор, анализ, интерпретация данных.

Тихилов Р.М. — концепция и дизайн исследования.

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.

DISCLAIMERS

Author contribution

Sereda A.P. — research conception and design, analysis and statistical processing of data, writing the draft.

Dzhavadov A.A. — writing the draft.

Cherny A.A. — writing the draft.

Bilyk S.S. — research conception and design.

Denisov A.O. — research conception and design.

Shubnyakov I.I. — text editing.

Kornilov N.N. — text editing.

Avdeev A.I. — analysis and statistical processing of data.

Stolyarov A.A. — research conception and design.

Demin A.S. — analysis and statistical processing of data.

Tikhilov R.M. — research conception and design.

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]

- Lovelock T.M., Broughton N.S. Follow-up after arthroplasty of the hip and knee: are we over-servicing or under-caring? *Bone Joint J.* 2018;100-B(1):6-10. doi: 10.1302/0301-620X.100B1.BJJ-2017-0779.R1.
- Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2018 году. Москва: ЦИТО; 2019. [Trauma cases, orthopaedic morbidity, state of trauma and orthopaedic assistance service for population of Russian Federation in 2018]. Moscow: СИТО; 2019. (In Russian).
- Серода А.П., Кочиш А.А., Черный А.А., Антипов А.П., Алиев А.Г., Вебер Е.В. и др. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России.* 2021;(3):84-93. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93. Sereda A.P., Kochish A.A., Cherny A.A., Antipov A.P., Aliev A.G., Veber E.V. et al. [Epidemiology of Hip And Knee Arthroplasty and Periprosthetic Joint Infection in Russian Federation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;(3):84-93. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93.
- Клинические рекомендации. Коксартроз. ID666. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/666_1. Clinical guidelines. Coxarthrosis ID666. (In Russian). Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/666_1.
- Тихилов Р.М., Шаповалов В.М. Руководство по эндопротезированию тазобедренного сустава. Санкт-Петербург; 2008. 324 с. Tikhilov R.M., Shapovalov V.V. [Guide for hip arthroplasty]. St. Petersburg; 2008. 324 p. (In Russian).
- Тихилов Р.М., Шубняков И.И. Руководство по хирургии тазобедренного сустава. Санкт-Петербург; 2014. Т.1. 368 с. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I. [Guide to Hip Surgery]. St. Petersburg; 2014. 368 p. (In Russian).
- Клинические рекомендации. Гонартроз. ID667. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/667_1. [Clinical guidelines. Gonarthrosis]. ID667. (In Russian). Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/667_1.
- Новосёлов К.А., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А. Повреждения и заболевания коленного сустава. В кн.: *Травматология и ортопедия.* Под ред. Н.В. Корнилова, Э.Г. Грязнухина. Санкт-Петербург: Гиппократ; 2006. Т. 3, гл. 5. с. 213-438. Novoselov K.A., Kornilov N.N., Kulyaba T.A. Injuries and diseases of the knee joint. In: *Traumatology and Orthopedics.* N.V. Kornilov, E.G. Gryaznukhin (eds.). St. Petersburg: Gippokrat; 2006. Vol. 3, Ch. 5. p. 213-438. (In Russian).
- Melvin J.S., Karthikeyan T., Cope R., Fehring T.K. Early failures in total hip arthroplasty - a changing paradigm. *J Arthroplasty.* 2014;29(6):1285-1288. doi: 10.1016/j.arth.2013.12.024.
- Huang T., Wang W., George D., Mao X., Graves S. What can we learn from AOANJRR 2014 annual report? *Ann Transl Med.* 2015;3(10):131. doi: 10.3978/j.issn.2305-5839.2015.05.04.
- Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. Supplementary report No 5: revon hip and knee arthroplasty. 2016. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/275066/Hip%2C%20Knee%20%26%20Shoulder%20Arthroplasty>.
- Abu-Amer Y., Darwech I., Clohisy J.C. Aseptic loosening of total joint replacements: mechanisms underlying osteolysis and potential therapies. *Arthritis Res Ther.* 2007;9(1):S6. doi: 10.1186/ar2170.
- Wroblewski B.M., Siney P.D., Fleming P.A. Charnley low-friction arthroplasty: survival patterns to 38 years. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(8):1015-1018. doi: 10.1302/0301-620X.89B8.18387.
- Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Денисов А.О., Ахмедиллов М.А., Черный А.Ж., Тотоев З.А. и др. Что изменилось в структуре ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава в последние годы? *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):9-27. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27. Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Denisov A.O., Akhmedilov M.A., Cherny A.Z., Totoev Z.A. et al. [What Has Changed in the Structure of Revision Hip Arthroplasty?] *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(4):9-27. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27.
- National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man. 13th Annual report 2016. 2016. Available from: <https://www.hqip.org.uk/wp-content/uploads/2018/02/national-joint-registry-13th-annual-report-2016.pdf>
- Khan M., Osman K., Green G., Haddad F.S. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision. *Bone Joint J.* 2016;98-B (1SupplA):105-112. doi:10.1302/0301-620X.98B1.36293.
- Hossain F., Patel S., Haddad F.S. Midterm assessment of causes and results of revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(5):1221-1228. doi: 10.1007/s11999-009-1204-0.
- British Orthopaedic Association and the British Hip Society. Primary Total Hip Replacement: A Guide to Good Practice. 2012. Available from: https://britishhipsociety.com/wp-content/uploads/2020/12/2012-Nov_BOA-Blue-Book.pdf.
- Broughton N., Collopy D., Solomon M. Arthroplasty Society of Australia. Arthroplasty Society of Australia position statement on follow-up of joint replacement patients. 2016. Available from: <https://www.aoa.org.au/docs/default-source/states/arthroplasty-follow-up-guidelines-2016.pdf?sfvrsn=2>.
- Bayliss L.E., Culliford D., Monk A.P., Glyn-Jones S., Prieto-Alhambra D., Judge A. et al. The effect of patient age at intervention on risk of implant revision after total replacement of the hip or knee: a population-based cohort study. *Lancet.* 2017;389(10077):1424-1430. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30059-4.
- Teeny S.M., York S.C., Mesko J.W., Rea R.E. Long-term follow-up care recommendations after total hip and knee arthroplasty: results of the American Association of Hip and Knee Surgeons' member survey. *J Arthroplasty.* 2003;18(8):954-962. doi: 10.1016/j.arth.2003.09.001.
- Meding J.B., Ritter M.A., Davis K.E., Farris A. Meeting increased demand for total knee replacement and follow-up: determining optimal follow-up. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11):1484-1489. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.32467.

23. De Pablo P., Losina E., Mahomed N., Wright J., Fossel A.H., Barrett J.A. et al. Extent of followup care after elective total hip replacement. *J Rheumatol.* 2006;33(6):1159-1166.
24. Abraham A., Hajipour L., Innes A.R., Phillips H., McCaskie A.W. Are national guidelines for total hip replacement in the UK reflected in practice? *Ann R Coll Surg Engl.* 2006;88(2):108-115. doi: 10.1308/003588406X82943.
25. Jacobs C.A., Christensen C.P., Karthikeyan T. Assessing the utility of routine first annual follow-up visits after primary total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2015;30(4):552-554. doi: 10.1016/j.arth.2014.11.016.
26. Bhatia M., Obadare Z. An audit of the out-patient follow-up of hip and knee replacements. *Ann R Coll Surg Engl.* 2003;85(1):32-35. doi: 10.1308/003588403321001408.
27. Hacking C., Weinrauch P., Whitehouse S.L., Crawford R.W., Donnelly W.J. Is there a need for routine follow-up after primary total hip arthroplasty? *ANZ J Surg.* 2010;80(10):737-740. doi: 10.1111/j.1445-2197.2010.05346.x.
28. Joshi A.B., Gill G.S., Smith P.L. Outcome in patients lost to follow-up. *J Arthroplasty.* 2003;18(2):149-153. doi: 10.1054/arth.2003.50061.
29. Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>. [Federal State Statistics Service]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>. (In Russian).
30. Harrison J., Rangan A., Shetty A., Robinson C. Reducing waiting times: physiotherapy shoulder assessment clinic. *Br J Ther Rehabil.* 2001;8:57-59. doi: 10.12968/bjtr.2001.8.2.13730.
31. Stanhope J., Grimmer-Somers K., Milanese S., Kumar S., Morris J. Extended scope physiotherapy roles for orthopedic outpatients: an update systematic review of the literature. *J Multidiscip Healthc.* 2012;5:37-45. doi: 10.2147/JMDH.S28891.
32. Walton M.J., Walton J.C., Bell M., Scammell B.E. The effectiveness of physiotherapist-led arthroplasty follow-up clinics. *Ann R Coll Surg Engl.* 2008;90(2):117-119. doi: 10.1308/003588408X261528.
33. Large K.E., Page C.J., Brock K., Dowsey M.M., Choong P.F. Physiotherapy-led arthroplasty review clinic: a preliminary outcomes analysis. *Aust Health Rev.* 2014;38(5):510-516. doi: 10.1071/AH13238.
34. Cavka B., Bucknill A., Hatfield A., Cary B. Joint replacement reviews conducted by physiotherapists - a safe and effective model. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94-B(suppl XLI):106-139. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106.
35. Kennedy D.M., Robarts S., Woodhouse L. Patients are satisfied with advanced practice physiotherapists in a role traditionally performed by orthopaedic surgeons. *Physiother Can.* 2010;62(4):298-305. doi: 10.3138/physio.62.4.298.
36. Bradley B., Middleton S., Davis N., Williams M., Stocker M., Hockings M. et al. Discharge on the day of surgery following unicompartmental knee arthroplasty within the United Kingdom NHS. *Bone Joint J.* 2017;99-B(6):788-792. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-0540.R2.
37. Haddad F.S., Ashby E., Konangamparambath S. Should follow-up of patients with arthroplasties be carried out by general practitioners? *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(9):1133-1134. doi: 10.1302/0301-620X.89B9.19697.
38. Nogaro M.C., Wijeratna M., Santhapuri S., Sood M. Can GP's perform routine long-term follow-up of total hip arthroplasties (THAs)? *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94-B(SUPP XXXIX):177. https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.94BSUPP_XLI.AOA-NZOA2011-106.
39. Beulé P.E., Bleeker H., Singh A., Dobransky J. Defining modes of failure after joint-preserving surgery of the hip. *Bone Joint J.* 2017;99-B(3):303-309. doi: 10.1302/0301-620X.99B3.BJJ-2016-0268.R1.
40. Kynaston-Pearson F., Ashmore A.M., Malak T.T., Rombach I., Taylor A., Beard D. et al. Primary hip replacement prostheses and their evidence base: systematic review of literature. *BMJ.* 2013;347:f6956. doi: 10.1136/bmj.f6956.
41. NHS National Services Scotland. Scottish Arthroplasty Project. Annual Report 2017. 2017. Available from: <http://www.arthro.scot.nhs.uk/docs/2017/2017-08-08-SAP-Publication-Report.pdf>.
42. Beyond Compliance. About Beyond Compliance. Available from: <http://www.beyondcompliance.org.uk/About.aspx>.
43. Wood G., Naudie D., MacDonald S., McCalden R., Bourne R. An electronic clinic for arthroplasty follow-up: a pilot study. *Can J Surg.* 2011;54(6):381-386. doi: 10.1503/cjs.028510.
44. Marsh J.D., Bryant D.M., MacDonald S.J., Naudie D.D., McCalden R.W., Howard J.L. et al. Feasibility, effectiveness and costs associated with a web-based follow-up assessment following total joint arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014;29(9):1723-1728. doi: 10.1016/j.arth.2014.04.003.
45. Marsh J., Hoch J.S., Bryant D., MacDonald S.J., Naudie D., McCalden R. et al. Economic evaluation of web-based compared with in-person follow-up after total joint arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(22):1910-1916. doi: 10.2106/JBJS.M.01558.
46. van Eck C.F. Web-based follow-up after total joint arthroplasty proves to be cost-effective, but is it safe? commentary on an article by Jacquelyn Marsh, PhD, et al.: «Economic evaluation of web-based compared with in-person follow-up after total joint arthroplasty». *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(22):e192. doi: 10.2106/JBJS.N.00829.
47. Marsh J., Bryant D., MacDonald S.J., Naudie D., Remtulla A., McCalden R. et al. Are patients satisfied with a web-based followup after total joint arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(6):1972-1981. doi: 10.1007/s11999-014-3514-0.
48. Sharareh B., Schwarzkopf R. Effectiveness of telemedical applications in postoperative follow-up after total joint arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014;29(5):918-922. doi: 10.1016/j.arth.2013.09.019.
49. Dubin J.M., Wyant W.A., Balaji N.C., Ong W.L., Kettache R.H., Haffaf M. et al. Telemedicine usage among urologists during the COVID-19 pandemic: cross-sectional study. *J Med Internet Res.* 2020;22(11):e21875. doi: 10.2196/21875.
50. Rapson J. Covid sparks boom in digital hospital outpatient appointments. *Health Service Journal.* 2020. Available from: <https://www.hsj.co.uk/technology-and-innovation/covidsparks-boom-in-digital-hospital-outpatient-appointments/7027590.article>.

51. Goetter E.M., Iaccarino M.A., Tanev K.S., Furbish K.E., Xu B., Faust K.A. Telemental health uptake in an outpatient clinic for veterans during the COVID-19 pandemic and assessment of patient and provider attitudes. *Prof Psychol Res Pr.* 2022;53(2):151-159. doi: 10.1037/pro0000437.
52. Tenforde A.S., Iaccarino M.A., Borgstrom H., Hefner J.E., Silver J., Ahmed M., et al. Telemedicine during COVID-19 for outpatient sports and musculoskeletal medicine physicians. *PM R.* 2020;12(9): 926-932. doi: 10.1002/pmrj.12422.
53. Crawford D.A., Duwelius P.J., Sneller M.A., Morris M.J., Hurst J.M., Berend K.R. et al. 2021 Mark Coventry Award: Use of a smartphone-based care platform after primary partial and total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *Bone Joint J.* 2021;103-B (6 Supple A):3-12. doi: 10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2352.R1.
54. Crawford D.A., Lombardi A.V., Berend K.R., Huddleston J.I. 3rd, Peters C.L., DeHaan A. et al. Early outcomes of primary total hip arthroplasty with use of a smartphone-based care platform: a prospective randomized controlled trial. *Bone Joint J.* 2021;103-B(7 Supple B):91-97. doi: 10.1302/0301-620X.103B7.BJJ-2020-2402.R1.

Сведения об авторах

✉ Джавадов Алисагиб Аббасович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>
e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

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

Черный Александр Андреевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-1176-612X>
e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Билык Станислав Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-7123-5582>
e-mail: bss0413@gmail.com

Денисов Алексей Олегович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-0828-7678>
e-mail: med-03@ya.ru

Шубняков Игорь Иванович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
e-mail: shubnyakov@mail.ru

Корнилов Николай Николаевич — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-6398-2377>
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Авдеев Александр Игоревич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-1557-1899>
e-mail: spaceship1961@gmail.com

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

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

Тихилов Рашид Муртузалиевич — д-р мед. наук,
чл.-корр. РАН, профессор
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
e-mail: rtikhilov@gmail.com

Authors' information

✉ Alisagib A. Dzhavadov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-6745-4707>
e-mail: alisagib.dzhavadov@mail.ru

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

Alexander A. Cherny — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1176-612X>
e-mail: alexander.cherny.spb@gmail.com

Stanislav S. Bilyk — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-7123-5582>
e-mail: bss0413@gmail.com

Alexey O. Denisov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-0828-7678>
e-mail: med-03@ya.ru

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>
e-mail: shubnyakov@mail.ru

Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6398-2377>
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Alexander I. Avdeev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1557-1899>
e-mail: spaceship1961@gmail.com

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

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

Rashid M. Tikhilov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>
e-mail: rtikhilov@gmail.com



Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей

С.А. Герасимов^{1,2}, А.А. Зыкин¹, Е.А. Морозова^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия

² АНО «Ортопедические исследовательские проекты», г. Нижний Новгород, Россия

Актуальность. Артроскопия тазобедренного сустава является малотравматичным хирургическим методом, который чаще всего выполняется для устранения фемороацетабулярного импинджмента (ФАИ). В настоящее время она широко применяется зарубежными врачами; имеется значительное число англоязычных публикаций по данной тематике. Количество проводимых артроскопических операций на тазобедренном суставе в России неизвестно. Информация о данной хирургической методике также весьма ограничена в нашей стране.

Цель исследования — оценить уровень артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России.

Материал и методы. Было проведено сплошное анкетирование травматологов-ортопедов, имеющих опыт выполнения артроскопий тазобедренного сустава. Анкета была размещена на платформе Google Forms и состояла из 13 вопросов закрытого, полужакрытого и открытого типов. Для опроса были приглашены 54 хирурга из российских клиник, из них анкету заполнили 45 человек.

Результаты. Среди респондентов преобладали врачи с опытом выполнения артроскопических операций на коленном и плечевом суставах (100,00±0,00% и 93,30±0,03% соответственно). Большинство специалистов (73,30±0,06%) обучались артроскопии тазобедренного сустава на первичном курсе в одной из клиник России. Более половины опрошенных (68,80±0,06%) в настоящее время занимаются данным хирургическим направлением, однако количество операций у 45,16±0,07% из них не превышает пяти в год. У хирургов, прошедших два и более обучающих курса, объем выполняемых операций выше ($p<0,05$). Артроскопию с помощью альтернативной техники выполняют 51,11±0,07% врачей. Специалистов, артроскопически резецирующих костный компонент ФАИ, практически в 2,5 раза больше, чем хирургов, обладающих навыками реконструктивной артроскопической хирургии тазобедренного сустава ($p<0,05$). Пятнадцать опрошенных (48,39±0,08%) выполняют дебридмент в качестве попытки отсрочить эндопротезирование. Наиболее распространенными трудностями, с которыми сталкиваются врачи, являются проблемы с диагностикой ФАИ (40,00±0,02%), отсутствие необходимого инструментария (40,00±0,02%), недостаточного количества времени на освоение техники (33,30±0,07%). Только трое (6,60±0,07%) опрошенных считают, что им удается достичь запланированных результатов операции; 93,30±0,03% хирургов сообщили о том, что не всегда получается добиться желаемых исходов.

Заключение. Артроскопия тазобедренного сустава в России мало распространена, объем подобных вмешательств незначителен. Преобладают врачи с минимальными навыками артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Факторы, которые затрудняют развитие данного направления в нашей стране, связаны с методами обучения, проблемами диагностики ФАИ, отсутствием необходимого инструментария для проведения операций, нехваткой времени у специалистов для освоения хирургической техники.

Ключевые слова: артроскопия, фемороацетабулярный импинджмент, ФАИ, тазобедренный сустав, реконструктивная хирургия, повреждение губы вертлужной впадины, дебридмент.

Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А. Состояние артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России: оценка на основании социологического опроса врачей. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):73-83. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2022>.

Морозова Екатерина Александровна; e-mail: kneeandpelvis@yandex.ru

Рукопись получена: 03.11.2022. Рукопись одобрена: 05.12.2022. Статья опубликована онлайн: 20.01.2023.

© Герасимов С.А., Зыкин А.А., Морозова Е.А., 2023



The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors

Sergey A. Gerasimov^{1,2}, Andrey A. Zykin¹, Ekaterina A. Morozova^{1,2}

¹ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

² ANO "Orthopaedic research projects", Nizhny Novgorod, Russia

Background. Hip arthroscopy is a minimally invasive surgical technique most commonly performed to correct femoroacetabular impingement (FAI). Currently, it is widely used by worldwide; in addition, there are a significant number of english-language publications on this topic. The number of hip arthroscopy performed in Russia is unknown. Information about this surgical technique is also very limited in our country.

The aim of the study was to assess the level of hip arthroscopy in Russia.

Methods. A total sociological survey of orthopaedic surgeon with experience in performing hip arthroscopy was conducted. The questionnaire was posted on the Google Forms platform and consisted of 13 questions of closed, semi-closed and open types. The survey included 54 surgeons from Russian clinics, 45 people filled out the questionnaire.

Results. Among the respondents, doctors with experience in performing arthroscopic operations on the knee and shoulder joints predominated (100.00±0.00% and 93.30±0.03%, respectively). The majority of specialists (73.30±0.06%) were trained in hip arthroscopy during the primary course in one of the clinics in Russia. More than half of the respondents (68.80±0.06%) are currently engaged in this surgical area, however, in 45.16±0.07% of them, the number of operations does not exceed 5 per year. For surgeons who have completed two or more training courses, the volume of operations performed is higher ($p<0.05$); 51.11±0.07% of doctors perform arthroscopy using an alternative technique. There are 2.5 time more specialists doing just bone resection, than surgeons who apply any kind of reconstruction technique while treating FAI ($p<0.05$). Fifteen respondents (48.39±0.08%) perform debridement as an attempt to delay arthroplasty. The most common difficulties faced by surgeon are problems with the diagnosis of FAI (no patients) (40.00±0.02%), lack of the necessary tools (40.00±0.02%) and sufficient time to master the technique (33.30±0.07%). Only three (6.60±0.07%) respondents believe that they manage to achieve the planned results of the operation, 93.30±0.03% of surgeons said that it is not always possible to achieve the desired outcomes.

Conclusion. Hip arthroscopy in Russia is not very common, the volume of such interventions is insignificant. Doctors with minimal skills in arthroscopic hip surgery predominate. Factors that impede the development of this area in our country are related to teaching methods, problems with FAI diagnostics, the lack of necessary instruments for performing operations, and the lack of time for specialists to master surgical techniques.

Keywords: arthroscopy, femoroacetabular impingement, FAI, hip, reconstruction surgery, labrum tear, debridement.

Cite as: Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A. [The State of Hip Arthroscopy in Russia: Assessment Based on a Sociological Survey of Doctors]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):73-83. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2022>.

✉ Ekaterina A. Morozova; e-mail: kneeandpelvis@yandex.ru

Submitted: 03.11.2022. Accepted: 05.12.2022. Published Online: 20.01.2023.

© Gerasimov S.A., Zykin A.A., Morozova E.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Лечебно-диагностическая артроскопия тазобедренного сустава — малотравматичный хирургический способ устранения деформации вертлужной впадины и проксимального отдела бедренной кости, которые участвуют в развитии патомеханического процесса — фемороацетабулярного импинджмента (ФАИ). Иными показаниями к выполнению данного вмешательства на сегодняшний день являются повреждение суставной губы вертлужной впадины, хряща головки бедренной кости, круглой связки, синдром подвздошно-поясничной мышцы, подостный импинджмент, удаление хондромных тел [1, 2].

Впервые артроскопию тазобедренного сустава на кадаверном материале выполнил в 1931 г. M. Burman [3]. Впервые в клинической практике этот метод применил спустя 8 лет, в 1939 г. K. Takagi в качестве дополнительного метода лечения при суставах Шарко, туберкулезном и септическом артрите [4]. До середины 1970-х гг. было опубликовано незначительное количество научных исследований по артроскопии тазобедренного сустава, однако после того, как R. Gross сообщил о применении данной методики в качестве лечения педиатрических заболеваний тазобедренного сустава, стало появляться все больше научных работ с описанием серий случаев [5, 6]. Активное развитие и становление артроскопии тазобедренного сустава как хирургического метода лечения начинается с 1980-х гг.

Проведенный поиск в электронной базе PubMed за последние пять лет только по ключевым словам «hip arthroscopy» выявил 2523 статьи, по «femoroacetabular impingement» — 2058. Тематика публикаций разнообразна: методы диагностики патологии, консервативные и хирургические варианты лечения, техники выполнения артроскопии, реабилитация, оценка результатов операции у пациентов на разных сроках, осложнения, причины ревизионных артроскопий, особенности и результаты лечения профессиональных и непрофессиональных спортсменов с ФАИ и т.д.

По данным Swedish National Patient Register (NPR), за период с 2006 по 2018 г. было выполнено 6105 артроскопических операций. С 2006 по 2014 г. отмечался экспоненциальный рост количества подобных вмешательств; в последующем с каждым годом в исследуемом периоде это число снижалось [7]. Аналогичная ситуация была зафиксирована и в Финляндии. По данным Finnish National Hospital Discharge Registry (NHDR), с 1997 по 2016 г. было проведено 4207 артроскопий тазобедренного сустава. В первые 16 лет в анализируемом периоде отмечался ежегодный прирост числа операций на 13,0%, в следующие 3 года данный показатель снижался

ежегодно на 17,9% [8]. Примерно в это же время (2004–2016 гг.), по данным Statewide Planning and Research Cooperative System (SPARCS) штата Нью-Йорк (США), было выполнено 23 640 артроскопических операций пациентам старше 10 лет [9]. Стоит отметить, что в этом штате США не наблюдалось тенденции к снижению частоты проведения данного оперативного вмешательства за исследуемый период. В г. Онтарио (Канада) на основании изучения базы данных выявлено увеличение числа артроскопий тазобедренного сустава на 470% в год с 2010 по 2016 г. [10]. В публикации H. Yang с соавторами нет информации о количестве проведенных операций в Китае, однако авторы провели анализ публикационной активности, связанной с лечением ФАИ при помощи артроскопии за 2005–2019 гг. Было выявлено, что артроскопия тазобедренного сустава активно развивается — в последние годы отмечается рост количества научных статей о ее применении [11].

На сегодняшний день артроскопия тазобедренного сустава продолжает совершенствоваться и широко применяться за рубежом [12, 13]. К сожалению, общее число подобных операций, проведенных в России, неизвестно ввиду отсутствия какого-либо открытого регистра с данной информацией. ФГБОУ ВО «ПИМУ» является одним из основных центров в стране, где проводится артроскопия тазобедренного сустава. Данное хирургическое направление в институте развивается с 2015 г. На момент начала работы над статьей было выполнено 325 вмешательств.

В научной электронной библиотеке eLIBRARY с 2017 по 2022 г. по ключевым словам «артроскопия тазобедренного сустава» было найдено 16 публикаций, «фемороацетабулярный импинджмент» — 23, практически треть (7 работ) из них посвящены диагностике и лечению аваскулярного некроза головки бедренной кости. После исключения повторяющихся статей их общее количество составило 37, три из них представляют различные аспекты ФАИ (история, диагностика патологии и планирование артроскопии тазобедренного сустава, результаты артроскопической хирургии).

С 2017 по 2022 г. в нашей стране было проведено 16 конференций, в том числе и в онлайн-формате, где обсуждались вопросы артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Для сравнения: симпозиумы, посвященные эндопротезированию тазобедренного сустава, насчитывают значительно большее количество — только в 2022 г. было запланировано 13 крупных всероссийских мероприятий, в том числе с международным участием.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что артроскопия тазобедренного сустава недостаточно популяризируется среди травматологов-ортопедов, количество русскоязычных

источников о ФАИ как об анатомическом варианте развития тазобедренного сустава, который является одним из основных показаний к проведению оперативного лечения, ограничено.

Цель исследования — оценить уровень развития артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование носило характер сплошного анкетирования травматологов-ортопедов, имеющих опыт выполнения артроскопических операций на тазобедренном суставе. Анкета была размещена на платформе Google Forms, ссылка на заполнение отправлена респондентам. Анкета состояла из 13 вопросов закрытого, полузакрытого и открытого типов. Часть вопросов посвящалась артроскопической практике в целом, другая — опыту проведения артроскопии тазобедренного сустава, в том числе способам освоения данной методики лечения и трудностям, с которыми сталкиваются врачи при ее выполнении. Для опроса были приглашены 54 хирурга из российских клиник, из них анкету заполнили 45 человек.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Statistica v.13.3 (TIBCO Software Inc). Качественные данные представлены в виде $P \pm \sigma$ (P — процентная доля, σ — стандарт-

ное отклонение процентной доли). При частотном анализе таблиц сопряженности использовали критерии Йетса и Фишера. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$ с поправкой на множественные сравнения при анализе более двух групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группу респондентов составили врачи в возрасте от 30 до 50 лет.

Большинство опрошенных выполняют артроскопические операции на коленном и плечевом суставах ($100,00 \pm 0,00\%$ и $93,30 \pm 0,03\%$ соответственно); количество специалистов, осуществляющих операции на голеностопном суставе, в 1,5 раза меньше, на локтевом суставе — в 2 раза меньше (рис. 1).

Среди респондентов преобладали специалисты с опытом артроскопической хирургии более 10 лет ($40,00 \pm 0,07\%$), а также те, кто занимается данным направлением в течение 6–8 лет ($26,60 \pm 0,06\%$). Наибольшее количество операций выполняют врачи с опытом 6–8 лет, наименьшее — хирурги, которые проводят артроскопические операции в течение 3–5 и 9–10 лет (табл. 1).

Большинство респондентов обучались артроскопии тазобедренного сустава на первичном курсе в одной из клиник России ($73,30 \pm 0,06\%$). Иным практикуемым методом освоения техники являлся визит хирурга в клинику на первые операции —

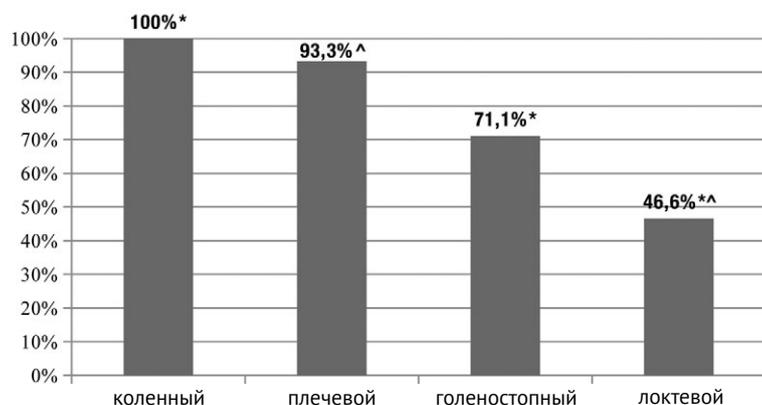


Рис. 1. Частота выполнения артроскопических операций в зависимости от сустава. Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; $p = 0,008$; *vs^ — $p < 0,008$

Fig. 1. The incidence of arthroscopic procedures depending on the joint. The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; $p = 0,008$; *vs^ — $p < 0,008$

Таблица 1

Количество выполняемых операций в год в зависимости от опыта хирурга, $P \pm \sigma\%$

Количество операций в год	Опыт, лет			
	менее 3	3–5	6–8	более 9–10
Менее 50 ($n = 7$ чел.)	$42,86 \pm 0,07$	$28,57 \pm 0,06$	–	$28,57 \pm 0,06$
51–100 ($n = 7$ чел.)	$14,29 \pm 0,05$	$14,29 \pm 0,05$	$14,29 \pm 0,05$	$57,14 \pm 0,07$
101–150 ($n = 6$ чел.)	–	$16,67 \pm 0,05$	$33,33 \pm 0,07$	$50,00 \pm 0,07$
151–200 ($n = 10$ чел.)	–	–	$30,00 \pm 0,06$	$70,00 \pm 0,06$
Более 200 ($n = 15$ чел.)	$13,33 \pm 0,05$	–	$40,00 \pm 0,07$	$46,67 \pm 0,18$

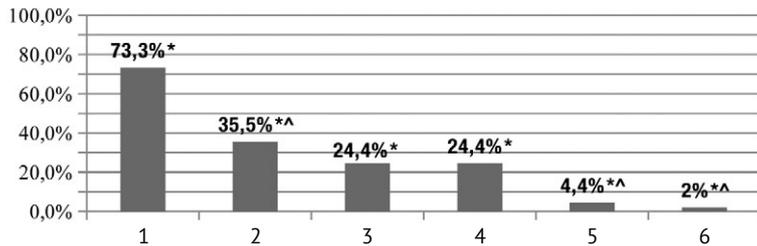
доля специалистов, выбравших данный вариант ответа, была в два раза меньше ($35,50 \pm 0,07\%$). Каждый четвертый опрошенный проходил кадаверный курс за рубежом или посещал иностранного специалиста с целью обучения (рис. 2).

На момент опроса более половины травматологов-ортопедов выполняли артроскопию тазобедренного сустава, их доля составила $68,80 \pm 0,06\%$ ($p < 0,05$). Из 18 человек ($40,00 \pm 0,02\%$), посетивших два и более курса по освоению техники, 16 ($88,80 \pm 0,07\%$) применяют полученные навыки в своей практике ($p < 0,05$). Немногим более половины ($60,00 \pm 0,03\%$) участников опроса посещали только один обучающий курс, из них 12 человек ($44,40 \pm 0,09\%$) в последующем не проводили подобных операций, причем большинство хирургов ($66,60 \pm 0,09\%$) участвовали в первичном курсе, проводившемся в одной из клиник России.

Необходимо отметить, что около половины респондентов ($45,16 \pm 0,07\%$), ответивших, что в настоящее время выполняют артроскопию тазобедренного сустава, осуществляют не более 5 подобных операций в год (рис. 3).

Существует три основных техники, применяющиеся при артроскопии тазобедренного сустава. Половина травматологов-ортопедов ($51,11 \pm 0,07\%$) отдает предпочтение так называемой альтернативной технике с началом операции

из периферического отдела сустава, моделирующей костной резекции деформации проксимального отдела бедренной кости и вертлужной впадины, после которой производится тракция и осуществляются работа с центральным отделом сустава и шов суставной губы. Доля опрошенных хирургов, применяющих стандартную технику операции, составляет $35,50 \pm 0,07\%$. При стандартной технике тракция используется в течение значительно более продолжительного времени, а последовательность действий выглядит следующим образом: капсулотомия, устранение деформации вертлужной впадины, шов суставной губы, снятие тракции, резекция деформации проксимального отдела бедренной кости. Только каждый седьмой участник опроса использует в своей практике экстракапсулярную технику ($13,33 \pm 0,05\%$), которая заключается в проведении артроскопа и рабочих инструментов экстраартикулярно на переднюю капсулу с T-образной капсулотомией и последующим выполнением резекции костных структур, восстановлением повреждений суставной губы, при необходимости работы с суставными поверхностями. При этом время тракции сопоставимо с ее продолжительностью при альтернативной технике. Чаще всего специалисты обучались экстракапсулярной методике в рамках визита хирурга на первые операции ($31,25 \pm 0,06\%$).



- 1 – первичный курс в одной из клиник России
- 2 – визит хирурга в клинику на первые операции
- 3 – кадаверный курс за рубежом
- 4 – визит к хирургу за рубежом
- 5 – кадаверный курс в России
- 6 – VuMedi

Рис. 2. Структура видов обучения артроскопической хирургии тазобедренного сустава
Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; $p = 0,003$; *vs^ — $p < 0,0003$

Fig. 2. Structure of hip arthroscopy training courses

The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; $p = 0,003$; *vs^ — $p < 0,0003$

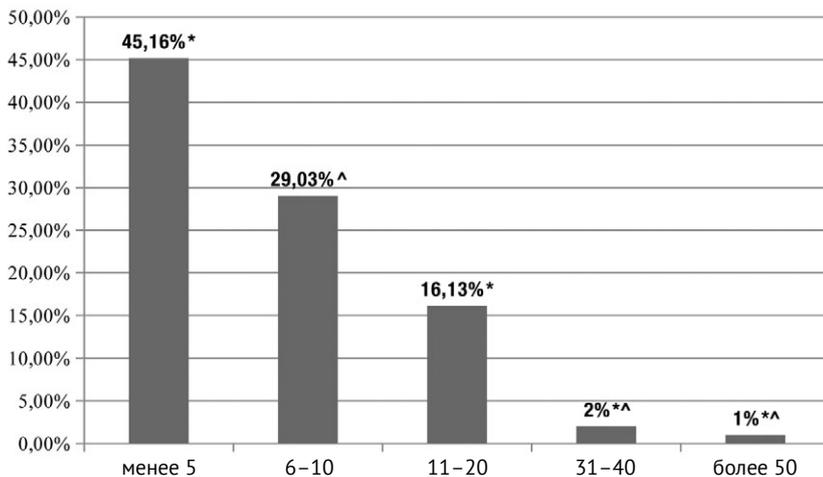


Рис. 3. Распределение респондентов по количеству проводимых артроскопических операций на тазобедренном суставе в год
Уровень значимости $p = 0,005$;
*vs^ — $p < 0,005$

Fig. 3. Distribution of respondents by the number of hip arthroscopy per year

Significance level $p = 0,005$;
*vs^ — $p < 0,005$

Способы освоения двух других техник более вариабельны.

Практически все врачи (93,30±0,03%) рутинно в своей практике выполняют резекцию сам-компонента ФАИ, немногим более половины опрошенных устраняют pinser-деформацию (60,00±0,03%). Каждый третий хирург обладает навыками шва суставной губы (28,80±0,06%) (рис. 4).

Было выявлено, что специалистов, артроскопически резецирующих костный компонент ФАИ, практически в 2,5 раза больше, чем хирургов, обладающих навыками реконструктивной артроскопической хирургии тазобедренного сустава (p<0,05) (табл. 2). Несмотря на преобладание врачей с опытом резекционной хирургии ФАИ, выполняемый ими объем операций по данной патологии в течение года крайне мал.

Поданным опроса, более половины (66,60±0,07%) врачей оперируют пациентов моложе 40 лет (p<0,05). Выполнение артроскопического дебримента как попытки отсрочить эндопротезирование сустава осуществляется 15 врачами (48,39±0,08%) (p<0,05). Девять специалистов (56,25±0,07%) из них используют подобную методику у пациентов старше 40 лет.

Вне зависимости от количества проводимых операций в год наиболее распространенными трудностями, с которыми сталкиваются травматологи-ортопеды, являются проблемы с диагностикой ФАИ (40,00±0,02%), отсутствие необходимого инструментария (40,00±0,02%), достаточного количества времени на освоение техники (33,30±0,07%) (рис. 5). К категории «иные причины» были отнесены ответы достаточно частного характера,

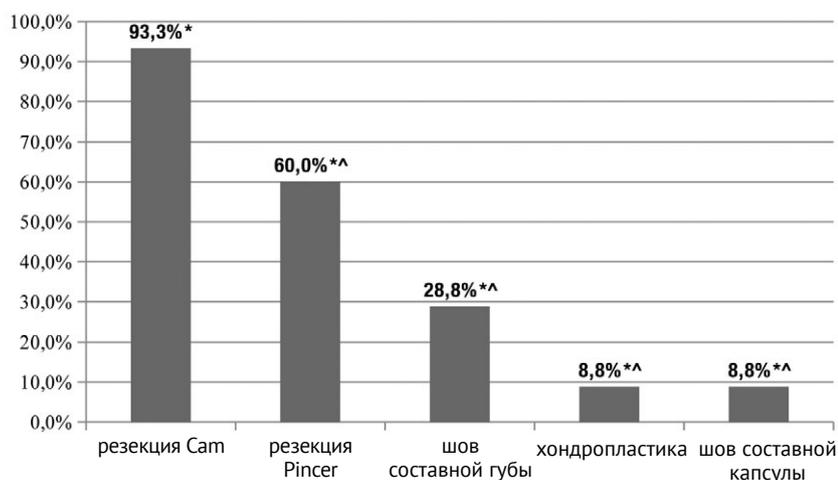


Рис. 4. Частота рутинно выполняемых этапов при артроскопии тазобедренного сустава

Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа; p = 0,005; *vs^ — p<0,005

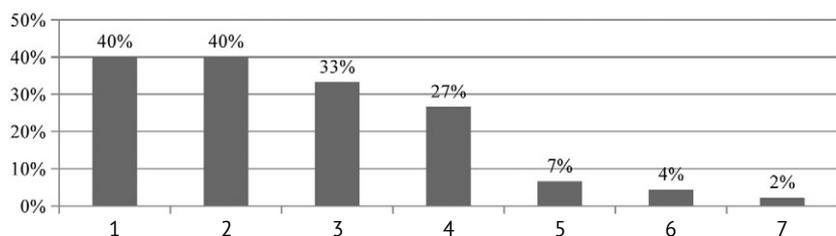
Fig. 4. Kinds routinely performed stages in hip arthroscopy

The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options; p = 0,005; *vs^ — p<0,005

Уровень хирургических навыков в зависимости от количества выполняемых артроскопических операций на тазобедренном в суставе в год, n (P±ср%)

Уровень хирургических навыков	Количество операций в год		p
	менее 5	более 5	
Резекционная хирургия (n = 29 чел.)	22 (75,86±0,09)	7 (24,14±0,16)	<0,05
Реконструктивная хирургия (n = 11 чел.)	5 (45,45±0,15)	6 (54,55±0,20)	>0,05

Таблица 2



- 1 – трудности с диагностикой ФАИ
- 2 – нет необходимого артроскопического инструмента
- 3 – нет времени на освоение техники
- 4 – нет операционного стола с возможностью тракции
- 5 – иные причины
- 6 – административные барьеры
- 7 – отсутствие ЭОП

Рис. 5. Трудности, с которыми сталкиваются опрошенные при проведении артроскопии тазобедренного сустава. Итоговый процент превышает 100, т.к. вопрос предполагал несколько вариантов ответа

Fig. 5. Difficulties faced by respondents during hip arthroscopy. The total percentage exceeds 100 because the question had multiple answer options

которые не представлялось возможным объединить с другими указанными группами — «адаптация на новом рабочем месте», «анестезиолог», «отсутствие связи поликлиника-стационар».

Установлено, что только 3 (6,60±0,07%) опрошенных считают, что им удастся достичь запланированных результатов операции, подавляющее большинство респондентов (93,30±0,03%) сообщили о том, что не всегда получается добиться желаемых исходов ($p < 0,05$). Ожидается не всегда достигают поставленных задач врачи, выполняющие менее 5 вмешательств в год.

ОБСУЖДЕНИЕ

Артроскопия тазобедренного сустава является технически сложной операцией, которая требует от травматолога-ортопеда опыта и хирургических навыков для достижения оптимальных результатов лечения и снижения риска развития осложнений. Как правило, врачи, начинающие заниматься данным направлением, имеют опыт выполнения артроскопических операций на других суставах. По результатам проведенного опроса подавляющая часть респондентов применяют данный вид хирургии на коленном и плечевом суставах.

Опираясь на наш опыт, можно сказать, что, обладая хорошими артроскопическими навыками, специалист, который выполняет коррекцию ФАИ, сталкивается со значительными трудностями в триангуляции, что обусловлено большим массивом мягких тканей на протяжении портов, плотной суставной капсулой, ограничивающей привычные манипуляции, а также применением артроскопа 70°, который крайне редко используется в артроскопической хирургии других суставов. В ряде работ сообщается о высокой частоте неудовлетворительных результатов лечения, повреждении хряща головки бедренной кости травматологами-ортопедами, только начинающими выполнять данные операции [14, 15, 16]. Поэтому обучение является одним из важнейших факторов освоения артроскопии тазобедренного сустава.

В настоящее время для подготовки специалистов используются различные обучающие системы: кадаверный материал, виртуальные симуляторы, тренажеры. В нашей стране есть два курса по артроскопии тазобедренного сустава — кадаверный курс на базе центра высоких медицинских технологий АМТЕС KAZAN (г. Казань) и первичный курс на базе Университетской клиники ПИМУ (г. Нижний Новгород). Наше исследование показало, что более всего среди респондентов распространен второй вариант обучения, а освоение техники на кадаверном материале более популярно в иностранных центрах, что, вероятнее всего, связано с ограниченным доступом к кадаверному материалу в нашей стране. В настоящее время

передача опыта между хирургами из разных стран затруднена, что может негативно сказаться на развитии артроскопии тазобедренного сустава в России, т.к. обучение именно у зарубежных коллег составило достаточно большую долю. Но в то же время данную ситуацию можно расценить как возможность совершенствования системы обучения в нашей стране. В зарубежной практике обучения программа освоения артроскопии тазобедренного сустава имеет более комплексный подход, при этом активно используются симуляторы, тренажеры и отработка навыков в кадаверных центрах [17, 18]. По результатам опроса было установлено, что хирурги, прошедшие только один курс, реже в последующем занимаются артроскопией тазобедренного сустава, чем специалисты, которые становились участниками двух и более обучающих мероприятий.

Для оценки кривой обучения артроскопии тазобедренного сустава нужно принимать во внимание результаты лечения, осложнения и необходимость повторных вмешательств. Приобретение хирургических навыков и их применение на практике оценили N. Mehta с соавторами, которые провели stratum-specific likelihood ratio (SSLR) анализ результатов в последующие 5 лет после артроскопических операций, проведенных 251 хирургом у 8041 пациента в штате Нью-Йорк в период с 2003 по 2012 г. [19]. Авторами было определено 4 группы на основании количества выполненных вмешательств и процента повторных операций на суставе. Исследователи пришли к выводу о весьма продолжительной кривой обучения. Частота повторных операций снизилась до 10% только после 388 артроскопий, самая низкая частота (2,6%) была выявлена у специалистов, которые провели более 519 операций. Стоит отметить, что данные анализировались за период, который можно отнести к этапу развития артроскопической хирургии тазобедренного сустава, когда определялись показания и противопоказания к проведению операции, совершенствовались хирургические техники. В связи с этим можно предположить, что достижение так называемого плато в кривой обучения на сегодняшний день может наступить раньше. L. Naipeng с соавторами отмечают некоторое снижение продолжительности операции после проведения первых 25 вмешательств, но оно не являлось существенным и объяснялось увеличением сложности хирургии. Однако практически в 2 раза сократилось время установки портов после проведения 30 операций [16].

Получение хирургических навыков возможно только при условии систематического выполнения подобных операций в течение года, при этом отсутствие практики быстро приводит к снижению качества хирургии [20]. Согласно опросу 64 амери-

канских хирургов, занимающихся артроскопией тазобедренного сустава, немногим более 70% выполняют больше 100 операций в год, более половины респондентов (56,3%) имеют опыт выполнения подобных операции свыше 5 лет [21]. По мнению респондентов, основными хирургическими этапами являются резекция сат-деформации и реконструкция суставной губы.

Стоит отметить, что резекция *pincer*-деформации и шов суставной губы требуют более высоких хирургических навыков по сравнению с устранением деформации головки и шейки бедренной кости. У 55% пациентов, имеющих клинические симптомы ФАИ, встречается сопутствующее повреждение губы вертлужной впадины [22, 23], которое может распространяться на хрящ, что увеличивает риск развития дегенеративных изменений в суставе [24]. В данном случае возможно применение дебридмента суставной губы или ее восстановление с помощью фиксации или пластики. В настоящее время хирурги предпочитают сохранить губу вертлужной впадины, когда это возможно. По данным обзора литературы за период с 2009 по 2017 г., отмечается увеличение частоты восстановления суставной губы при артроскопии тазобедренного сустава с 19 до 81% [25]. Согласно исследованию М.Р. Kucharik с соавторами, из 99 пациентов, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава по поводу ФАИ с пластикой губы вертлужной впадины, 5 (5,1%) перенесли эндопротезирование в течение последующих 10 лет, а из 105 участников, которым проводился дебридмент, замена тазобедренного сустава потребовалась 23 (21,9%) [24]. Кроме этого, авторы нескольких метаанализов пришли к выводу о более высокой эффективности восстановления губы вертлужной впадины по сравнению с дебридментом на основании уровня удовлетворенности пациентов [26, 27]. Применение дебридмента тазобедренного сустава в качестве попытки отсрочить эндопротезирование оценивалось в исследовании S. Daivajna с соавторами, по результатам которого 34 (44%) из 77 пациентов с остеоартритом 2–3 ст. по Tönnis, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава, в среднем через 18 мес. потребовалось проведение эндопротезирования [28].

Чем больше вмешательств проводит врач, тем больше нюансов хирургии он осваивает. Согласно данным Non-Arthroplasty Hip Registry (Великобритания), в 2018 и 2019 гг. было выполнено более 1200 артроскопических операций на тазобедренном суставе. Отмечается рост числа операций с 2012 по 2021 г., за исключением 2017, 2020 и 2021 гг. Если в 2017 г. снижение было незначительным, то в 2020 и 2021 гг. количество артроскопий сократилось практически в два раза и не превысило

750 вмешательств, что связано с эпидемиологической обстановкой по поводу COVID-19 [29].

Схожие показатели представлены в базе данных Danish Hip Arthroscopy Registry за 2016–2018 гг., по данным которого ежегодно осуществлялось 800 артроскопических операций на тазобедренном суставе [30].

Наиболее активно артроскопия применяется в США — только в штате Нью-Йорк, согласно данным Statewide Planning and Research Cooperative System (SPARCS), в 2016 г. выполнено более 3000 артроскопических операций. Около 50% врачей выполнили менее 100 подобных вмешательств в год, 25% специалистов провели от 164 до 340 операций [9].

Полученные нами данные позволяют предположить, что ежегодное количество выполняемых артроскопических операций на тазобедренном суставе в России составляет не более 200–250 вмешательств. Столь низкий показатель обусловлен рядом трудностей, которые препятствуют применению данного вида хирургического лечения в практике врачей. Одной из основных причин являются проблемы с диагностикой ФАИ. Это отчасти может быть связано с низкой информированностью врачей, в том числе поликлинического звена, о данной патологии и о том, какие методы диагностики требуются для постановки диагноза и выбора варианта лечения. Отсутствие правильно подобранных пациентов для проведения артроскопии тазобедренного сустава не позволяет врачу развивать свои хирургические навыки. Кроме этого, значительная доля респондентов отметила отсутствие времени для освоения техники операции. По данным опроса, специалисты имеют довольно интенсивную хирургическую активность, а обучение артроскопии тазобедренного сустава является весьма трудоемким процессом, требующим прохождения различных курсов и постоянной практики. Только эти два фактора уже в значительной степени влияют на развитие хирургических навыков, увеличивая и без того продолжительную кривую обучения. Другой распространенной проблемой является отсутствие необходимого артроскопического инструментария, а также операционного стола с возможностью тракции нижней конечности.

Представленные трудности, с которыми сталкиваются травматологи-ортопеды в своей работе, взаимосвязаны. Для решения данных проблем первым шагом может быть повышение уровня осведомленности специалистов о патологических состояниях тазобедренного сустава. Еще в 1965 г. R.O. Murray с соавторами доказали взаимосвязь между ФАИ и последующим развитием остеоартроза [31], которую в 2008 г. R. Ganz с соавторами описали как «механическую концепцию развития коксартроза» [32]. Позднее многие авторы также расценивали ФАИ как этиологический

фактор прогрессирования дегенерации тазобедренного сустава. Соответственно, вовремя диагностированная патология и успешное проведение операции могут избавить человека не только от клинического проявления заболевания, но и от эндопротезирования в дальнейшем. При этом следует отметить, что возраст пациента, в котором выполняется коррекция ФАИ, напрямую влияет на функциональные результаты и необходимость артропластики тазобедренного сустава. Так, по результатам лечения 16 327 пациентов, выполнение операции в возрасте старше 40 лет в 18,1% требует проведения эндопротезирования тазобедренного сустава в течение последующих 25 мес., старше 50 лет — в 23,1%, старше 60 лет — в 25,2% [33].

«Омоложение» пациентов, перенесших артроскопию тазобедренного сустава, является общемировой тенденцией, которая, несмотря на значительно меньшее распространение артроскопической хирургии тазобедренного сустава в России, прослеживается и по данным опроса. В работе L. Naipeng с соавторами средний возраст пациентов, которым выполнялась артроскопия тазобедренного сустава, составил $30,8 \pm 12,7$ лет [16]. W.W. Schairer с соавторами сообщили, что у хирургов, выполнивших более 160 артроскопических операций на тазобедренном суставе, средний возраст пациентов составил около 32 лет; авторы связывают это более строгим отбором больных [9]. Средний возраст наших пациентов, которым была выполнена операция в 2020 г., составил 37 лет, в 2021 г. — 34 года.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Герасимов С.А. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста статьи.

Зыкин А.А. — концепция исследования.

Морозова Е.А. — сбор и анализ данных, написание текста 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. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать ряд выводов. Артроскопия тазобедренного сустава в России мало распространена, объем подобных вмешательств незначителен, практически не популяризируется среди травматологов-ортопедов. Имеется небольшое количество русскоязычных публикаций, которые всесторонне освещают проблему ФАИ и методов его коррекции. Факторы, которые затрудняют развитие данного направления в нашей стране, связаны с методами обучения, проблемами диагностики ФАИ, отсутствием необходимого инструментария для проведения операций, нехваткой времени у специалистов для освоения хирургической техники. Преобладают врачи с минимальными навыками артроскопической хирургии тазобедренного сустава. Травматологов-ортопедов, выполняющих шов или пластику суставной губы и работу с суставным хрящом, насчитывается менее 10. Для развития этого направления на территории нашей страны требуется создание комплексной пошаговой системы обучения, включающей в себя теоретический курс, занятия на симуляторах, работу в кадаверной лаборатории и выполнение первых операций вместе с более опытным хирургом. Все это позволит врачу правильно определять показания к артроскопии тазобедренного сустава, сравнительно быстро выйти на плато кривой обучения и, как следствие, получать хорошие функциональные результаты лечения.

DISCLAIMERS

Author contribution

Gerasimov S.A. — research concept and design, manuscript writing and editing.

Zykin A.A. — research concept.

Morozova E.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. 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

1. Zhang J., Pettit M., Sunil Kumar K.H., Khanduja V. Recent advances and future trends in hip arthroscopy. *J Arthrosc Surg Sports Med.* 2020;1(1):81-89. doi: 10.25259/JASSM_24_2020.
2. Volpin A., Maden C., Biz C., Hossain F., Zagra L., Konan S. Hip arthroscopy current advances. *Acta Orthop Belg.* 2020;86(e-Suppl. 3):158-164.
3. Burman M.S. Arthroscopy or the direct visualization of joints: an experimental cadaver study. 1931. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(390):5-9. doi: 10.1097/00003086-200109000-00003.
4. Takagi K. The arthroscope: the second report. *J Jpn Orthop Assoc.* 1939;14:441-466.
5. Kandil A., Safran M.R. Hip Arthroscopy: a brief history. *Clin Sports Med.* 2016;35(3):321-329. doi: 10.1016/j.csm.2016.02.001.
6. Magrill A.C.L., Nakano N., Khanduja V. Historical review of arthroscopic surgery of the hip. *Int Orthop.* 2017;41(10):1983-1994. doi: 10.1007/s00264-017-3454-x.
7. Wörner T., Eek F., Kraus-Schmitz J., Sansone M., Stålmán A. Rapid decline of yearly number of hip arthroscopies in Sweden: a retrospective time series of 6,105 hip arthroscopies based on a national patient data register. *Acta Orthop.* 2021;92(5):562-567. doi: 10.1080/17453674.2021.1928396.
8. Karelson M.C., Jokihäara J., Launonen A.P., Huttunen T., Mattila V.M. Lower nationwide rates of arthroscopic procedures in 2016 compared with 1997 (634925 total arthroscopic procedures): has the tide turned? *Br J Sports Med.* 2021;55:1018-1023. doi: 10.1136/bjsports-2019-101844.
9. Schairer W.W., Nwachukwu B.U., Suryavanshi J.R., Yen Y.-M., Kelly B.T., Fabricant P.D. A shift in hip arthroscopy use by patient age and surgeon volume: a New York State – based population analysis 2004 to 2016. *Arthroscopy.* 2019;35(10):2847-2854.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2019.05.008.
10. Degen R.M., McClure J.A., Le B., Welk B., Lanting B., Marsh J.D. Hip arthroscopy utilization and reoperation rates in Ontario: a population-based analysis comparing different age cohorts. *Can J Surg.* 2022;65(2):E228-E235. doi: 10.1503/cjs.025020.
11. Yang H., You M., Li Y., Li T., Qin T., Chen G. Hip arthroscopy for femoroacetabular impingement in China: a review and meta-analysis. *Orthop Surg.* 2021;13(6):1721-1729. doi: 10.1111/os.13105.
12. Cevallos N., Soriano K.K.J., Flores S.E., Wong S.E., Lansdown D.A., Zhang A.L. Hip arthroscopy volume and reoperations in a large cross-sectional population: high rate of subsequent revision hip arthroscopy in young patients and total hip arthroplasty in older patients. *Arthroscopy.* 2021;37(12):3445-3454.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2021.04.017.
13. Sudah S.Y., Michel C.R., Nasra M.H., Faccione R.D., Constantinescu D.C., Menendez M.E. et al. Hip arthroscopy procedural volume is low among graduating orthopaedic surgery residents. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022;4(3):e1179-e1184. doi: 10.1016/j.asmr.2022.04.016.
14. Dietrich F., Ries C., Eiermann C., Miehlke W., Sobau C. Complications in hip arthroscopy: necessity of supervision during the learning curve. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:953-958. doi: 10.1007/s00167-014-2893-9.
15. Dumont G.D., Cohn R.M., Gross M.M., Menge T.J., Battle N.C., Their Z.T. The learning curve in hip arthroscopy: effect on surgical times in a single surgeon cohort. *Arthroscopy.* 2020;36(5):1293-1298. doi: 10.1016/j.arthro.2019.11.121.
16. Haipeng L., Ji L., Juanli Z., Lijun S., Yujie L., Zhongli L. et al. Portal setup: the key point in the learning curve for hip arthroscopy technique. *Orthop Surg.* 2021;13(6):1781-1786. doi: 10.1111/os.13035.
17. Rashed S., Ahrens P.M., Maruthainar N., Garlick N., Saeed M.N. The role of arthroscopic simulation in teaching surgical skills. *JBJS Rev.* 2018;6(9):e8. doi: 10.2106/JBJS.RVW.17.00201.
18. Bishop M.E., Ode G.E., Hurwit D.J., Zmugg S., Rauck R.C., Nguyen J.T. et al. The arthroscopic surgery skill evaluation tool global rating scale is a valid and reliable adjunct measure of performance on a virtual reality simulator for hip arthroscopy. *Arthroscopy.* 2021;37(6):1856-1866. doi: 10.1016/j.arthro.2021.01.046.
19. Mehta N., Chamberlin P., Marx R.G., Hidaka C., Ge Y., Nawabi D.H. et al. Defining the learning curve for hip arthroscopy a threshold analysis of the volume-outcomes relationship. *Am J Sports Med.* 2018;46(6):1284-1293. doi: 10.1177/0363546517749219.
20. Kautzner J., Zeman P., Stančák A., Havlas V. Hip arthroscopy learning curve: a prospective single-surgeon study. *Int Orthop.* 2018;42(4):777-782. doi: 10.1007/s00264-017-3666-0.
21. Wininger A.E., Dabash S., Ellis T.J., Nho S.J., Harris J.D. The key parts of hip arthroscopy for femoroacetabular impingement syndrome implications for the learning curve. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(6):23259671211018703. doi: 10.1177/23259671211018703.
22. Awad M.A.H., Bajwa A.K., Slaunwhite E., Logan K.J., Wong I.H. Indications for hip arthroscopy in pediatric patients a systematic review. *J Hip Preserv Surg.* 2019;6(4):304-315. doi: 10.1093/jhps/hnz056.
23. Nasser R., Domb B. Hip arthroscopy for femoroacetabular impingement. *EFORT Open Rev.* 2018;3(4):121-129.
24. Kucharik M.P., Abraham P.F., Nazal M.R., Varady N.H., Eberlin C.T., Meek W.M. et al. Arthroscopic acetabular labral repair versus labral debridement long-term survivorship and functional outcomes. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(7):23259671221109012. doi: 10.1177/23259671221109012.
25. Riff A.J., Kunze K.N., Movassaghi K., Hijji F.Y., Massel D.H., Bohl D.D. et al. Systematic review of hip arthroscopy for femoroacetabular impingement: the importance of labral repair and capsular closure. *Arthroscopy.* 2019;35(2):646-656.e3. doi: 10.1016/j.arthro.2018.09.005.
26. Hurley E.T., Hughes A.J., Jamal M.S., Mojica E.S., Bloom D.A., Youm T. et al. Repair versus debridement for acetabular labral. Tears – a systematic review. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021;3(5):e1569-e1576. doi: 10.1016/j.asmr.2021.06.008.
27. Wu Z.-X., Ren W.-X., Ren Y.-M., Tian M.-Q. Arthroscopic labral debridement versus labral repair for patients with femoroacetabular impingement. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(19):e20141. doi: 10.1097/MD.00000000000020141.
28. Daivajna S., Bajwa A., Villar R. Outcome of arthroscopy in patients with advanced osteoarthritis of the hip. *PLoS One.* 2015;10(1):e0113970. doi: 10.1371/journal.pone.0113970.

29. Holleyman R., McBryde C., Khanduja V., Malviya A. NAHR 7th annual report 2022. Available from: <https://www.nahr.co.uk/wp-content/uploads/2022/03/NAHR-2022-vfinal.pdf>.
30. Mygind-Klavsen B., Kraemer O., Hölmich P., Lund B. An updated description of more than 5,000 procedures from the danish hip arthroscopy registry. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(Suppl. 2):43-50. doi: 10.2106/JBJS.19.01496.
31. Murray R.O. The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *Br J Radiol.* 1965;38(455):810-824. doi: 10.1259/0007-1285-38-455-810.
32. 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.
33. Horner N.S., Ekhtiari S., Simunovic N., Safran M.R., Phillipon M.J., Ayeni O.R. Hip arthroscopy in patients age 40 or older: a systematic review. *Arthroscopy.* 2017;33(2):464-475.e3. doi: 10.1016/j.arthro.2016.06.044.

Сведения об авторах

✉ Морозова Екатерина Александровна
 Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, Верхне-Волжская набережная, д. 18/1
<https://orcid.org/0000-0001-7548-9398>
 e-mail: ekaterina.m.96@mail.ru

Герасимов Сергей Александрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-3179-9770>
 e-mail: gerasimoff@list.ru

Зыкин Андрей Анатольевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>
 e-mail: dr.zykin@mail.ru

Authors' information

✉ Ekaterina A. Morozova
 Address: 18/1, Verkhne-Volzhskaya emb., Nizhny Novgorod, 603155, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7548-9398>
 e-mail: ekaterina.m.96@mail.ru

Sergey A. Gerasimov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3179-9770>
 e-mail: gerasimoff@list.ru

Andrey A. Zykin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6321-3631>
 e-mail: dr.zykin@mail.ru



Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы

А.Р. Касимова^{1,2}, Е.М. Гордина¹, С.С. Торопов¹, С.А. Божкова¹

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

² ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Введение. *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*) представляет собой грамотрицательную неферментирующую палочку и является редким возбудителем ортопедической инфекции. Из-за относительно низкой вирулентности *S. maltophilia* перед многими клиницистами все еще стоит вопрос, является ли этот вид бактерий просто колонизатором или истинной причиной инфекции.

Цель исследования — повысить информированность практикующих врачей о *S. maltophilia* как редком возбудителе ортопедической инфекции.

Материал и методы. Выполнен ретроспективный анализ частоты выделения *S. maltophilia* от пациентов, находившихся на лечении в Центре по поводу перипротезной инфекции и/или остеомиелита с 1 января 2009 по 31 октября 2022 г. Поиск литературы по ключевым словам осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY и КиберЛенинка. В результате поиска было найдено 587 статей за период с 2012 по ноябрь 2022 г., опубликованных на русском или английском языках.

Результаты. За изученный период установлено 9 случаев ортопедической моноинфекции *S. maltophilia* у 9 пациентов в возрасте от 36 до 83 лет. На момент поступления у пациентов не был выявлен лейкоцитоз и только у 2 из 9 регистрировали повышенный уровень С-реактивного белка. *S. maltophilia* имеет природную устойчивость ко многим антибиотикам широкого спектра действия. Ко-тримоксазол считают препаратом выбора для лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*. Ограниченность выбора препаратов для таргетной терапии, наличие множества детерминант устойчивости к антибиотикам, существование в составе микробных ассоциаций и риски со стороны пациентов, включающие установку имплантатов, хронический характер инфекции, пожилой возраст, а также наличие выраженной сопутствующей соматической патологии, могут приводить к неэффективности проводимого лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*. Наш опыт свидетельствует, что в случае чувствительности штамма *S. maltophilia* к ко-тримоксазолу возможно назначение данного препарата длительным курсом в виде монотерапии при условии выполнения радикальной хирургической обработки очага.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, остеомиелит, *Stenotrophomonas maltophilia*, антибактериальная терапия, триметоприм, сульфаметоксазол.

Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А. Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):84-94. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2027>.

Касимова Алина Рашидовна; e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Рукопись получена: 15.11.2022. Рукопись одобрена: 13.02.2023. Статья опубликована онлайн: 28.02.2023.

© Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А., 2023



Stenotrophomonas Maltophilia Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review

Alina R. Kasimova^{1,2}, Ekaterina M. Gordina¹, Sergey S. Toropov¹,
Svetlana A. Bozhkova¹

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

² Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Background. *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*) is a gram-negative non-fermenting bacillus and is a rare pathogen of orthopedic infection. Due to the relatively low virulence of *S. maltophilia*, many clinicians are still faced with the question of whether this bacterial species is simply a colonizing agent or the true cause of infection.

Aim of the study — to raise the awareness of practitioners about *S. maltophilia* as a rare pathogen of orthopedic infection.

Methods. A retrospective analysis was performed concerning the frequency of *S. maltophilia* isolation from patients treated at the Vreden Center for periprosthetic infection and/or osteomyelitis from January 1, 2009 to October 31, 2022. The literature search by keywords was carried out in the PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY, and Cyberleninka databases. The search retrieved 587 articles published in Russian or English over the period from 2012 to November 2022.

Results. During the study period, 9 cases of orthopedic mono-infection with *S. maltophilia* were identified in 9 patients aged 36 to 83 years. At the time of admission, no leukocytosis was detected in patients, and only 2 of 9 patients had elevated C-reactive protein level. *S. maltophilia* is naturally resistant to many broad-spectrum antibiotics. Co-trimoxazole is considered the drug of choice for the treatment of *S. maltophilia* infection. The limited choice of drugs for targeted therapy, the presence of multiple determinants of antibiotic resistance, the existence of microbial associations and patient risks including implantation, chronic nature of infection, elderly age, as well as the presence of significant concomitant somatic pathology can lead to the ineffectiveness of the ongoing treatment of infections caused by *S. maltophilia*. Our experience shows that in the case of sensitivity of *S. maltophilia* strain to co-trimoxazole it is possible to prescribe this drug for a long course as monotherapy, provided that the radical surgical treatment of the focus is performed.

Keywords: periprosthetic infection, osteomyelitis, *Stenotrophomonas maltophilia*, antibacterial therapy, trimethoprim, sulfamethoxazole.

Cite as: Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A. [*Stenotrophomonas Maltophilia* Infection in Trauma and Orthopedic Patients: Clinical Experience and Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):84-94. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2027>.

✉ Alina R. Kasimova; e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Submitted: 15.11.2022. Accepted: 13.02.2023. Published Online: 28.02.2023.

© Kasimova A.R., Gordina E.M., Toropov S.S., Bozhkova S.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Имплантат-ассоциированная инфекция, в том числе перипротезная инфекция (ППИ) и остеомиелит, в настоящее время является одной из ведущих причин ранних повторных операций после первичного и ревизионного тотального эндопротезирования тазобедренного или коленного сустава [1]. При этом течение инфекционного процесса часто приобретает рецидивирующий характер. Несмотря на то, что ведущими возбудителями инфекции костей и суставов, в том числе ассоциированных с ортопедическими имплантатами, являются стафилококки, участие в этиологии грамотрицательных возбудителей остается значимым и служит прогностически неблагоприятным признаком [2]. Также этиологическими агентами остеомиелита и ППИ могут быть редкие возбудители, особенно у иммунокомпроментированных пациентов. К таким патогенам можно отнести грибы рода *Candida* spp. нетуберкулезные микобактерии, *Treponema* spp., *Anaerococcus* spp., *Clostridium* spp., *Eubacterium* spp., *Campylobacter* spp., *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella* spp. и другие [3, 4]. Ранее мы рассматривали особенности лечения грибковой ППИ на основе собственного клинического опыта и имеющихся научных публикаций [5].

Еще одним редким возбудителем ППИ может быть *Stenotrophomonas maltophilia* (*S. maltophilia*), которая представляет собой грамотрицательную неферментирующую палочку. Из-за относительно низкой вирулентности *S. maltophilia* перед многими клиницистами все еще стоит вопрос, является ли этот вид бактерий просто колонизатором или истинной причиной инфекции [6]. Инфекция, вызванная *S. maltophilia*, редко встречается у иммунокомпетентных лиц, однако этот вид все чаще признают условно-патогенным микроорганизмом у хронически больных пациентов с ослабленным иммунитетом [7].

Множественная лекарственная устойчивость возбудителя делает лечение инфекций, вызванных *S. maltophilia*, значимой проблемой [8]. Клиническое ведение таких пациентов осложняется молекулярной неоднородностью возбудителя, что отражается в неравномерном распределении детерминант устойчивости к антибиотикам и факторов вирулентности среди различных штаммов, в недостатках доступных тестов на чувствительность к противомикробным препаратам и отсутствии стандартизированных пограничных значений для некоторых антибиотиков с активностью *in vitro*.

В настоящее время данные о *S. maltophilia* как о возбудителе ортопедической инфекции весьма

ограничены. В базе данных PubMed Central встречаются единичные работы по ведению и лечению ортопедических пациентов с инфекцией, вызванной *S. maltophilia*.

Цель работы — повысить информированность практикующих врачей о *S. maltophilia* как редком возбудителе ортопедической инфекции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выполнен ретроспективный анализ частоты выделения *S. maltophilia* от пациентов, пролеченных в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена по поводу ППИ и/или остеомиелита с 1 января 2009 по 31 октября 2022 г. Эпидемиологический анализ результатов бактериологических исследований выполняли с применением программы «Система микробиологического мониторинга “Микроб-2”».

Данные лабораторного и инструментального обследования пациентов получены из медицинской документации.

Литературный поиск по ключевым словам осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, eLIBRARY и КиберЛенинка. Поискový запрос составлялся из названия микроорганизма и слов, описывающих течение ортопедических инфекций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С 2009 по 2022 г. установлено 9 случаев ортопедической монобактериальной инфекции, обусловленной *S. maltophilia*, у 9 пациентов (5 мужчин, 4 женщины) в возрасте от 36 до 83 лет (табл. 1). В 7 случаях выделенные штаммы *S. maltophilia* демонстрировали чувствительность к триметоприм/сульфаметоксазолу (ко-тримоксазолу) при стандартной или повышенной экспозиции препарата и в двух случаях — резистентность. У всех пациентов были хирургические вмешательства в анамнезе, в том числе по поводу инфекционного процесса в данном локусе, но другой этиологии. В одном случае возбудитель был выделен с удаленных компонентов при выполнении ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава (ТБС) по поводу асептической нестабильности. У остальных 8 пациентов на момент поступления был инфекционный процесс: у 6 — в области ТБС и у двух — коленного сустава. У 7 из 8 пациентов инфекция характеризовалась хроническим рецидивирующим течением, в одном случае пациент поступил с впервые выявленной хронической ППИ, вызванной *S. maltophilia*. Ниже будет подробно рассмотрен клинический случай лечения данного пациента.

Таблица 1

Основные характеристики пациентов

№ п/п	Пол	Возраст, лет	Локализация	Срок после 1-й операции, лет	Характер инфекции	За время госпитализации				Рецидив
						СОЭ, мм/ч/ СРБ, мг/л при поступлении	Операция	Источник <i>S. maltophilia</i>	Получение ко-тримоксазола	
1	ж	60	ТБС	6	Поверхностная ИОХВ в анамнезе после ЭП	7 / 1,1	реЭП	УК	да	да
2	м	74	ТБС	4	Хроническая ППИ	57 / 145	РХО, установка спейсера	д/о и и/о СЖ, ТБ, УК	да	нет
3	м	65	КС	15	Хронический рецидивирующий остеомиелит	12 / 0	РХО, установка спейсера	и/о СЖ, ТБ	да	нет
4	м	36	ТБС	4	Хроническая рецидивирующая ППИ	17 / 74,4	реЭП	ТБ	да	нет
5	ж	53	КС	9	Хроническая рецидивирующая ППИ	12 / 2,7	реЭП	п/о кровь	нет	нет
6	м	68	ТБС	16	Хроническая рецидивирующая ППИ	5 / 1,6	РХО, переустановка спейсера	д/о СЖ	нет	да
7	ж	63	ТБС	14	Хроническая рецидивирующая ППИ	8 / 0	реЭП	ТБ	да	да
8	м	80	ТБС	10	Хроническая рецидивирующая ППИ	13 / 1,2	Без операции	д/о аспираг	нет	Выписка из-за сопутствующей патологии
9	ж	83	ТБС	6	Хроническая рецидивирующая ППИ	23 / 33,4	реЭП	и/о СЖ	да	нет

УК — удаленная конструкция; СЖ — суставная жидкость; ТБ — тканевые биоптаты; реЭП — ревизионное эндопротезирование; РХО — радикальная хирургическая обработка; д/о — до операции; и/о — интраоперационно; п/о — после операции.

При поступлении у всех пациентов отсутствовал лейкоцитоз. У пациента с впервые выявленной хронической ППИ было значительное повышение СРБ и СОЭ. Только у 2 из 7 пациентов с хроническим рецидивирующим течением инфекции наблюдался повышенный уровень СРБ, СОЭ была в пределах нормы. Таким образом, рутинные лабораторные признаки хронического инфекционного процесса не были выраженными. Только в 3 случаях *S. maltophilia* была выделена до операции, у 3 пациентов микроорганизм изолировали с удаленной металлоконструкции, еще в 3 случаях — из тканевых биоптатов и в одном — из крови.

Средний срок от первичного оперативного вмешательства в данном локусе до развития инфекционного процесса, вызванного *S. maltophilia*, составил 9,2 года (от 3,7 до 16,1). В одном случае пациент был выписан без операции для компенсации выраженной сопутствующей патологии. Остальные 8 пациентов были прооперированы. При этом только в 2 случаях, когда возбудитель был выделен из суставной жидкости, с момента санитизирующей операции была назначена этиотропная антибактериальная терапия (АБТ), включающая ко-тримоксазол. В остальных случаях пациенты получали эмпирическую АБТ ($n = 5$) или антибактериальную профилактику ($n = 1$), и только после выделения *S. maltophilia* из интраоперационного материала пациентам назначали этиотропную АБТ. На стационарном этапе 6 из 9 пациентов получали ко-тримоксазол. В раннем послеоперационном периоде у 3 из 8 оперированных пациентов развился рецидив инфекционного процесса, который потребовал повторных хирургических вмешательств, при этом назначения ко-тримоксазола были продолжены. На момент выписки у всех пациентов инфекционный процесс был купирован.

Клиническое наблюдение

Пациент 74 лет (176 см, 85 кг) поступил с жалобами на боль, ограничение объема движений в правом ТБС, укорочение правой нижней конечности. В анамнезе: ишемическая болезнь сердца, атеросклеротический кардиосклероз, гипертоническая болезнь 2-й степени, риск сердечно-сосудистых осложнений 3. Полная блокада правой ножки пучка Гиса, хронический гастрит вне обострения.

В июле 2016 г. по поводу идиопатического правостороннего коксартроза по месту жительства выполнено тотальное гибридное эндопротезирование. Послеоперационный период протекал без особенностей. В сентябре 2017 г. пациент упал на правый бок и был госпитализирован в стационар

по месту жительства. Данных за костно-травматическую патологию не выявлено, выписан с диагнозом «ушиб мягких тканей правого бедра» на амбулаторное лечение. Болевой синдром сохранялся, а через некоторое время появились гиперемия, отек. В октябре 2019 г. амбулаторно проконсультирован хирургом гнойного отделения: выполнена диагностическая пункция, получен аспират, из которого выделили штамм *S. maltophilia*. Было рекомендовано хирургическое лечение по поводу выявленной хронической ППИ. Диагноз при поступлении: наличие ортопедических имплантатов суставов; тотальный эндопротез правого тазобедренного сустава (2016), хроническая глубокая инфекция области хирургического вмешательства (ГИОХВ), хронический остеомиелит правой бедренной кости и таза 3В (1). При поступлении рентгенологически установлена нестабильность бесцементного вертлужного компонента эндопротеза правого ТБС с вывихом головки, цементный бедренный компонент стабилен (рис. 1а). Лабораторно выявлены признаки обострения инфекционного процесса: WBC — $8,3 \times 10^9/\text{л}$, СОЭ — 57 мм/мин., СРБ — 143 мг/л, а также диагностировано снижение фильтрационной способности почек: креатинин крови — 118 мкмоль/л, расчетный клиренс креатинина (КК) — 71,6 мл/мин.

С учетом возраста пациента и выраженной сопутствующей патологии была предпринята попытка одноэтапной замены эндопротеза. Выполнены ревизия, удаление компонентов эндопротеза и костного цемента, радикальная хирургическая обработка. Интраоперационно были взяты для бактериологического исследования суставная жидкость, 5 тканевых биоптатов и удаленные компоненты эндопротеза. Дефект костной ткани по классификации W.G. Paprosky составил IС для вертлужной впадины и II — для бедренной кости. После тщательной обработки области хирургического вмешательства раствором антисептика (полигексанид) и промывания большим количеством физиологического раствора была произведена реимплантация эндопротеза (Zimmer Biomet, США) с цементной фиксацией компонентов (6,0 г меропенема на 40 г стандартной упаковки цемента DePuy CMW 3 (Johnson & Johnson, США) с пластикой вертлужной впадины аугментом, дренирование по Редону. Объем интраоперационной кровопотери составил 1100 мл. С учетом установленной этиологии инфекции со дня операции пациент получал парентерально этиотропную АБТ: ко-тримоксазол 0,96 г 2 раза в сутки и меропенем 1,0 г 3 раза в сутки в течение 10 дней.

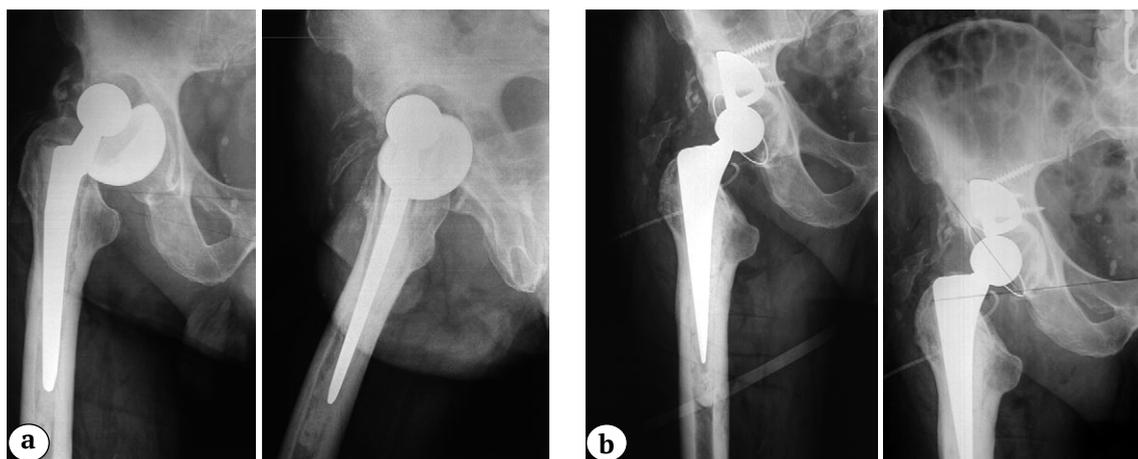


Рис. 1. Рентгенограммы правого тазобедренного сустава:
 а — при поступлении с признаками нестабильности вертлужного компонента и вывихом головки эндопротеза;
 б — после одноэтапного ревизионного эндопротезирования

Fig. 1. X-rays of the right hip:
 а — on admission with signs of acetabular component instability and prosthetic head dislocation;
 б — after one-stage revision arthroplasty

На контрольной рентгенограмме в первые сутки после операции правый ТБС замещен тотальным эндопротезом с цементной фиксацией компонентов в правильном стабильном положении. Послеоперационный период протекал без особенностей (рис. 1 б). Дренажи удалены на 5-е сут. Рана заживала первичным натяжением. Из всех интраоперационно забранных материалов был выделен штамм *S. maltophilia*, что не потребовало коррекции АБТ. Швы сняты на 14-е сут. Пациент выписан в удовлетворительном состоянии с рекомендациями принимать таблетки ко-тримоксазола 0,96 г 2 раза в сутки внутрь в течение 8 нед. и контролировать клинический анализ крови, креатинин, трансаминазы один раз в 2 нед. для выявления возможных нежелательных реакций.

В день выписки дома во сне произошел закрытый вывих эндопротеза. Пациент госпитализирован в дежурный стационар, где неудачная попытка закрытого вправления эндопротеза привела к нестабильности бедренного компонента. Через неделю пациент повторно госпитализирован в отделение гнойной остеологии для оперативного лечения. Со слов пациента, он принимал рекомендованную АБТ. Рентгенологически: правый ТБС замещен тотальным эндопротезом с цементной фиксацией компонентов в нестабильном положении с вывихом головки эндопротеза (рис. 2 а). Роста микроорганизмов из дооперационного пункциата не получено.

Со дня повторной госпитализации пациент переведен на парентеральную антибактериальную

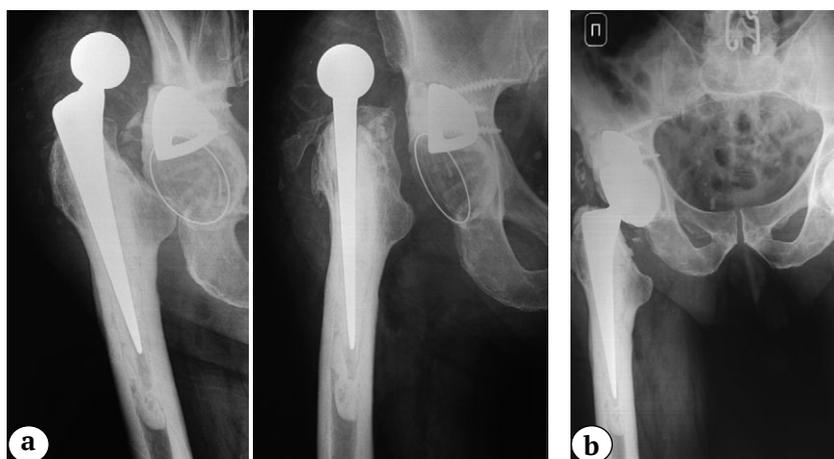


Рис. 2. Рентгенограммы правого тазобедренного сустава при повторной госпитализации:
 а — при поступлении с признаками нестабильности бедренного компонента и вывихом головки эндопротеза;
 б — после повторного реэндопротезирования

Fig. 2. X-rays of the right hip on re-admission:
 а — on admission with signs of femoral component instability and prosthetic head dislocation;
 б — after repeated revision arthroplasty

терапию: ко-тримоксазол и меропенем в прежнем объеме до выписки на амбулаторное лечение. Получал симптоматическое лечение с целью коррекции анемии, обезболивания и подготовки к повторному хирургическому вмешательству.

Через 5 дней с момента поступления (27-е сут. после одноэтапного реэндопротезирования) выполнена ревизионная операция с переустановкой вертлужного и бедренного компонентов эндопротеза. Имплантированы вертлужный компонент двойной мобильности и бедренный компонент (Zimmer Biomet, США) цементной фиксации (6,0 г меронема на 40 г стандартной упаковки цемента DePuy CMW 3 (Johnson & Johnson, США). С учетом стабильного положения аугментов переустановка их не выполнялась для предотвращения увеличения дефекта костной массы

Ранний послеоперационный период протекал без особенностей. На контрольной рентгенограмме в первые сутки после операции правый ТБС замещен тотальным эндопротезом с цементной фиксацией компонентов в правильном стабильном положении (рис. 2b). На 14-е сут. после операции выписан на амбулаторное лечение. На амбулаторном этапе пациенту было рекомендовано продолжить прием ко-тримоксазола 0,96 г 2 раза в сутки в течение 8 нед.

У пациента суммарная длительность курса АБТ составила 97 дней. Жалоб на нежелательные реакции, связанные с приемом антибиотиков, пациент не предъявлял. При поступлении через 2 года для планового тотального эндопротеза левого ТБС признаков инфекционно-воспалительного процесса в области правого ТБС выявлено не было. С учетом отсутствия рецидива инфекции ретроспективно можно говорить о полной эрадикации.

Таким образом, в подавляющем большинстве проанализированных клинических случаев *S. maltophilia* была выделена в качестве единственного этиологического агента у пациентов с длительной хронической рецидивирующей инфекцией, что свидетельствует о наличии у них вторичного иммунодефицита. При этом не наблюдалось характерных изменений лабораторных маркеров инфекционно-воспалительного процесса. В 3 случаях из 8 в раннем послеоперационном периоде были диагностированы рецидивы инфекции, что потребовало повторных вмешательств при сохранении ко-тримоксазола как единственного этиотропного антибиотика.

ОБСУЖДЕНИЕ

S. maltophilia способны колонизировать поверхность медицинских устройств и терапевтического оборудования, вызывая инфекции различных локализаций [9]. Бактерии данного вида

обладают различными факторами вирулентности и персистенции, включая эластазу, гиалуронидазу, протеазу, липазу, ДНКазу, РНКазу и муциназу, обеспечивающих инвазию в ткани макроорганизма и защиту от иммунной системы хозяина [10]. *S. maltophilia* характеризуется способностью формировать биопленки, состоящие из полимерной матрицы полисахаридов, белков, липидов, нуклеиновых кислот и минимально активных бактерий, которые могут диссеминировать, колонизируя новые поверхности менее чем за 24 ч. [10].

S. maltophilia имеет природную устойчивость ко многим антибиотикам широкого спектра действия [8]. Резистентность к большинству бета-лактамов реализуется через два продуцируемых фермента: L1 — цинк-зависимая пенициллиназа класса В и L2 — серин-цефалоспориноаза класса А, что делает *S. maltophilia* устойчивой к цефтриаксону, пиперациллин-тазобактаму и карбапенемам [8]. Клавулановая кислота показала активность только в отношении бета-лактамазы L2 [9]. Кроме того, синтез ацетилтрансферазы обеспечивает устойчивость к аминогликозидам. Невосприимчивость к ряду других противомикробных препаратов достигается за счет системы эффлюксных насосов (например, SmeDEF и SmeABC), действующих на фторхинолоны, аминогликозиды, макролиды и тетрациклины. Устойчивость к ко-тримоксазолу опосредована генами модификации мишени *sulI* и *dfrA* через интегроны класса 1 [10].

S. maltophilia часто является одним из возбудителей полимикробных инфекций; частота выделения представителей данного вида как компонента микробных ассоциаций колеблется от 33% до 70% [11, 12]. Существование *S. maltophilia* в составе полимикробных биопленок даже при низкой вирулентности их штаммов повышает риск горизонтальной передачи генов антибиотикорезистентности другим видам бактерий [13]. Показано, что перенос генетического материала между сессильными формами бактерий происходит с большей скоростью, чем между планктонными клетками. Этому способствует усиление межбактериального взаимодействия за счет ограничения подвижности бактерий в составе биопленок, что позволяет рассматривать биопленки как резервуары генетического разнообразия [14]. Кроме того, в ряде исследований показано, что при полимикробных вариантах инфекции межмикробное взаимодействие может влиять на прогноз исхода инфекционного заболевания [11].

В нашем исследовании установлена низкая частота встречаемости ортопедических инфекций, вызванных *S. maltophilia* (9 случаев за 14 лет наблюдения), что может быть обусловлено ограниченной вирулентностью штаммов этого вида,

существованием в составе микробных ассоциаций, где ведущими возбудителями расцениваются другие виды, а также сложностью бактериологической диагностики, связанной с биохимической идентификацией данного вида бактерий.

Крайне ограничено количество публикаций об инфекциях костей и суставов, включая имплантат-ассоциированные инфекции, вызванных *S. maltophilia*. М.Е. Hantes с соавторами успешно справились с ППИ, вызванной *S. maltophilia*, развившейся после тотального эндопротезирования плечевого сустава. Авторы отмечают, что маркеры инфекции были слабо выражены (лейкоциты — $12,7 \times 10^9/\text{л}$, СРБ — 9,1 мг/л, СОЭ — 55 мм/ч). По результатам бактериологического исследования интраоперационных тканевых биоптатов были назначены левофлоксацин и ко-тримоксазол. Кроме того, в рамках лечения пациенту выполнено полное иммунологическое исследование, так как *S. maltophilia* чаще регистрируют у пациентов с иммуносупрессией, однако возможных сопутствующих патологий, влияющих на иммунную систему, не выявлено. Данный клинический случай показал, что штаммы *S. maltophilia* способны вызывать ортопедическую инфекцию и не у иммунокомпрометированных лиц [15].

В нашем наблюдении установлено, что все пациенты, у которых этиологическим фактором ППИ являлась *S. maltophilia*, имели санирующие хирургические вмешательства в анамнезе, то есть инфекция имела рецидивирующее течение. Значительное количество хирургических операций, в свою очередь, может обуславливать низкий иммунный статус и повышать восприимчивость пациентов к данному возбудителю.

Е.Е. Chesnutis 3rd с соавторами описали случай вторичного остеомиелита *S. maltophilia*, развившегося после открытого перелома дистального отдела большеберцовой кости, и, несмотря на ежедневные инфузии тикарциллина/клавуланата и левофлоксацина, в дальнейшем потребовалась ампутация конечности на уровне верхней трети голени [16].

Ко-тримоксазол считают препаратом выбора для лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*, и широко используют уже в течение многих лет [17]. Известен целый ряд нежелательных реакций на терапию данным препаратом, в частности нарушение функции почек и печени, водно-электролитный дисбаланс, угнетение функции костного мозга и реакции гиперчувствительности [18]. В нашем клиническом примере пациент не предъявлял жалоб на развитие каких-либо нежелательных явлений на фоне длительного (97 сут.) приема ко-тримоксазола.

В последние годы все чаще сообщается об изолятах *S. maltophilia*, проявляющих устойчивость

к ко-тримоксазолу [17, 19, 20]. В рамках существующих нормативных документов, определяющих критерии чувствительности к антибактериальным препаратам, указаны эпидемиологические точки отсечения для ко-тримоксазола, однако в 2020 г. диапазон восприимчивости к нему штаммов *S. maltophilia* был изменен, и подавляющее большинство выделяемых культур будут оценены как чувствительные только при увеличенной экспозиции препарата или резистентны. Данные изменения могут существенно ограничить правомерность назначения ко-тримоксазола при инфекциях, вызванных *S. maltophilia*, несмотря на многолетний успешный опыт его применения.

Фторхинолоны используются в качестве альтернативы для лечения инфекций, вызванных резистентными к ко-тримоксазолу *S. maltophilia*, или у пациентов с его непереносимостью [8]. Однако левофлоксацин также имеет нежелательные эффекты, включая нарушения сердечной проводимости, тендопатию, желудочно-кишечные расстройства и высокий риск развития инфекции *Clostridioides difficile* [8, 20]. Крупное исследование показало, что левофлоксацин для лечения пациентов с инфекцией, вызванной *S. maltophilia*, является эффективной альтернативой ко-тримоксазолу [20]. Несмотря на это, в международных рекомендациях по определению антимикробной активности препаратов в отношении различных видов патогенов (EUCAST, CLSI) отсутствуют критерии оценки чувствительности *S. maltophilia* к фторхинолонам.

M.L. Landrum с соавторами сообщают об успешном лечении случая остеомиелита после повторной дискэктомии L5-S1, вызванного *S. maltophilia*. В процессе лечения была назначена этиотропная терапия, включающая левофлоксацин в течение 6 нед. Однако через 2 мес. пациент вернулся в больницу с усиливающейся болью в пояснице. По результатам МРТ диагностирован рецидив остеомиелита, а из аспирата диска вновь выделена *S. maltophilia*, чувствительная к ко-тримоксазолу и при этом устойчивая к левофлоксацину. Пациент получал ко-тримоксазол в течение 18 мес., инфекция была купирована [21].

Еще одними эффективными антибиотиками, демонстрирующими эффективность в отношении *S. maltophilia*, являются тетрациклины (тигеклицин, доксициклин, миноциклин) [22]. В пяти обзорных исследованиях уровень чувствительности *S. maltophilia* к миноциклину составил 99,5% [12]. В Российской Федерации миноциклин зарегистрирован с мая 2022 г. по показанию инфекционно-воспалительные заболевания, вызванные чувствительными к нему возбудителями (в том числе гнойные инфекции мягких тканей, остеомиелит). В дополнение к высокому уровню чувствительности *S. maltophilia* к миноциклину он характе-

ризуется минимальным межлекарственным взаимодействием и относительно хорошо переносится пациентами. Данный антибиотик можно назначать в сочетании с ко-тримоксазолом при неэффективности альтернативных схем лечения [8].

В EUCAST v. 12 (https://www.eucast.org/clinical_breakpoints) указаны критерии оценки чувствительности *S. maltophilia* к новому антибактериальному препарату цефидероколу, который был одобрен в США и ЕС в 2019 г., но до настоящего времени не зарегистрирован на территории Российской Федерации. В рамках исследования активности цефидерокола в отношении карбапенем-резистентных грамотрицательных бактерий (CREDIBLE-CR) были зарегистрированы пять случаев пневмонии, вызванной *S. maltophilia* с терапией данным антибиотиком. При этом, несмотря на высокую активность цефидерокола *in vitro*, ответ на лечение во всех пяти случаях был сочтен неопределенным, а смертность от всех причин составила 80% (4 из 5) в конце исследования [23], что, на наш взгляд, не позволяет рассматривать данный препарат как перспективный для лечения пациентов с ППИ.

В связи с широким набором механизмов устойчивости *S. maltophilia* к противомикробным препаратам и трудностью достижения целевых концентраций антибиотика в некоторых тканях организма (костная, центральная нервная система, легочная) изучены комбинации противомикробных лекарственных средств с целью преодоления резистентности *S. maltophilia* или достижения синергизма препаратов. В экспериментальных исследованиях показано, что при подтвержденной чувствительности *S. maltophilia* к ко-тримоксазолу, цефтазидиму, тикарциллин/клавуланату и аминогликозидам их двойные или тройные комбинации оказывают синергический эффект [8]. Также были изучены комбинации ко-тримоксазола или ингибиторзащищенных β -лактамов с такими антибиотиками, как тигециклин, фторхинолоны, телеванцин [24], рифампицин [25] или колистин в аэрозоле. Данные препараты продемонстрировали различные степени синергизма, и в том числе способность сохранять эффективность в микробной биопленке.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Касимова А.Р. — поиск литературы, анализ и интерпретация результатов, написание и редактирование текста статьи.

Гордина Е.М. — поиск литературы, анализ и интерпретация результатов, написание текста статьи, редактирование статьи.

Торопов С.С. — написание текста статьи.

В клинике было показано, что комбинация ко-тримоксазола, цефтазидима и левофлоксацина эффективна при лечении менингита, вызванного *S. maltophilia* [26], а внутривенная инфузия колистина плюс парентеральное введение фосфомицина с тигециклином эффективны при лечении осложненной инфекции желчевыводящих путей [27]. Данные группы лекарственных средств активно применяют для лечения ППИ различной этиологии и, вероятно, могут быть применены для ППИ, вызванной *S. maltophilia*.

При определении перспектив клинического применения различных комбинаций антибиотиков для лечения инфекции, вызванной *S. maltophilia*, важно понимать, что синергизм *in vitro* должен коррелировать с клиническими исходами, а сравнительные исследования клинических результатов отсутствуют в связи с редкой встречаемостью возбудителя. Кроме того, оценка чувствительности *S. maltophilia* ограничена отсутствием контрольных точек восприимчивости к подавляющему большинству препаратов, используемых в клинической практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ограниченность выбора препаратов для таргетной терапии, наличие множества детерминант устойчивости к антибиотикам, существование в составе микробных ассоциаций и риски со стороны пациентов, включающие установку имплантатов, хронический характер инфекции, пожилой возраст, а также наличие выраженной сопутствующей соматической патологии, могут приводить к неэффективности проводимого лечения инфекций, вызванных *S. maltophilia*. Несмотря на то, что представители данного вида бактерий не являются облигатными патогенами, описанный клинический случай свидетельствует о необходимости рассматривать *S. maltophilia* как возможный этиологический агент, способный вызывать тяжелые хронические инфекции, в том числе и ортопедические. При этом наше наблюдение свидетельствует, что в случае чувствительности штамма *S. maltophilia* к ко-тримоксазолу возможно назначение данного препарата длительным курсом в виде монотерапии при условии выполнения радикальной хирургической обработки очага.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kasimova A.R. — literature review, analysis and statistical processing of data, writing the draft, editing.

Gordina E.M. — literature review, analysis and statistical processing of data, writing the draft, editing.

Toropov S.S. — writing the draft.

Божкова С.А. — концепция исследования, 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. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

Bozhkova S.A. — concept of the study, 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 patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Kandel C.E., Jenkinson R., Daneman N., Backstein D., Hansen B.E., Muller M.P. et al. Predictors of Treatment Failure for Hip and Knee Prosthetic Joint Infections in the Setting of 1- and 2-Stage Exchange Arthroplasty: A Multicenter Retrospective Cohort. *Open Forum Infect Dis.* 2019;6(11):ofz452. doi: 10.1093/ofid/ofz452.
- Bozhkova S., Tikhilov R., Labutin D., Denisov A., Shubnyakov I., Razorenov V. et al. Failure of the first step of two-stage revision due to polymicrobial prosthetic joint infection of the hip. *J Orthop Traumatol.* 2016;17(4):369-376. doi: 10.1007/s10195-016-0417-8.
- Bi S., Hu F.S., Yu H.Y., Xu K.J., Zheng B.W., Ji Z.K., et al. Nontuberculous mycobacterial osteomyelitis. *Infect Dis (Lond).* 2015;47(10):673-685. doi: 10.3109/23744235.2015.1040445.
- Chen J., Xiong A., Ma Y., Qin C., Ho C.L. Impact of the Host-Microbiome on Osteomyelitis Pathogenesis. *Front Mol Biosci.* 2021;8:702484. doi: 10.3389/fmolb.2021.702484.
- Божкова С.А., Иванов П.П., Землянская Е.А., Корнилов Н.Н. Перипротезная инфекция коленного сустава грибковой этиологии (клинический случай). *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):134-140. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-134-140. Bozhkova S.A., Ivanov P.P., Zemlyanskaya E.A., Kornilov N.N. [Fungal Periprosthetic Infection after Total Knee Arthroplasty (Case Report and Review)]. *Traumatalogiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(4): 134-140. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-134-140. (In Russian).
- Kim E.J., Kim Y.C., Ahn J.Y., Jeong S.J., Ku N.S., Choi J.Y. et al. Risk factors for mortality in patients with *Stenotrophomonas maltophilia* bacteremia and clinical impact of quinolone-resistant strains. *BMC Infect Dis.* 2019;19(1):754. doi: 10.1186/s12879-019-4394-4.
- Geller M., Nunes C.P., Oliveira L., Nigri R. S. *maltophilia* pneumonia: A case report. *Respir Med Case Rep.* 2018;24:44-45. doi: 10.1016/j.rmcr.2018.04.004.
- Mojica M.F., Humphries R., Lipuma J.J., Mathers A.J., Rao G.G., Shelburne S.A. et al. Clinical challenges treating *Stenotrophomonas maltophilia* infections: an update. *JAC Antimicrob Resist.* 2022;4(3):dlac040. doi: 10.1093/jacamr/dlac040.
- Majumdar R., Karthikeyan H., Senthilnathan V., Sugumar S. Review on *Stenotrophomonas maltophilia*: An Emerging Multidrug-resistant Opportunistic Pathogen. *Recent Pat Biotechnol.* 2022;16(4):329-354. doi: 10.2174/1872208316666220512121205.
- Brooke J.S. Advances in the Microbiology of *Stenotrophomonas maltophilia*. *Clin Microbiol Rev.* 2021;34(3):e0003019. doi: 10.1128/CMR.00030-19.
- Yin C., Yang W., Meng J., Lv Y., Wang J., Huang B. Co-infection of *Pseudomonas aeruginosa* and *Stenotrophomonas maltophilia* in hospitalised pneumonia patients has a synergic and significant impact on clinical outcomes. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2017; 36(11):2231-2235. doi: 10.1007/s10096-017-3050-4.
- Gales A.C., Seifert H., Gur D., Castanheira M., Jones R.N., Sader H.S. Antimicrobial Susceptibility of *Acinetobacter calcoaceticus-Acinetobacter baumannii* Complex and *Stenotrophomonas maltophilia* Clinical Isolates: Results From the SENTRY Antimicrobial Surveillance Program (1997-2016). *Open Forum Infect Dis.* 2019;6(Suppl 1): S34-S46. doi: 10.1093/ofid/ofy293.
- Uruén C., Chopo-Escuin G., Tommassen J., Mainar-Jaime R.C., Arenas J. Biofilms as Promoters of Bacterial Antibiotic Resistance and Tolerance. *Antibiotics (Basel).* 2020;10(1):3. doi: 10.3390/antibiotics10010003.
- Hathroubi S., Mekni M.A., Domenico P., Nguyen D., Jacques M. Biofilms: Microbial shelters against antibiotics. *Microb Drug Resist.* 2017;23(2):147-156. doi: 10.1089/mdr.2016.0087.
- Hantes M.E., Papageorgiou F., Komnos G.A. *Stenotrophomonas maltophilia* periprosthetic joint infection after reverse total shoulder arthroplasty. *IDCases.* 2020;21:e00796. doi: 10.1016/j.idcr.2020.e00796.
- Chesnutis E.J. 3rd, Ng A., Kruse D., Stone P.A. *Stenotrophomonas maltophilia*: A Rare Case of Osteomyelitis After an Open Distal Tibial Fracture. *J Foot Ankle Surg.* 2018; 57(5):1037-1041. doi: 10.1053/j.jfas.2018.03.001.
- Andelković M.V., Janković S.M., Kostić M.J., Živković Zarić R.S., Opančina V.D., Živić M.Ž. et al. Antimicrobial treatment of *Stenotrophomonas maltophilia* invasive infections: systematic review. *J Chemother.* 2019;31:297-306. doi: 10.1080/1120009X.2019.1620405.

18. Giles A., Foushee J., Lantz E., Gumina G. Sulfonamide allergies. *Pharmacy (Basel)*. 2019;7(3):132. doi: 10.3390/pharmacy7030132.
19. Nys C., Cherabuddi K., Venugopalan V., Klinker K.P. Clinical and Microbiologic Outcomes in Patients with Monomicrobial *Stenotrophomonas maltophilia* Infections. *Antimicrob Agents Chemother*. 2019;63(11):e00788-19. doi: 10.1128/AAC.00788-19.
20. Sarzynski S.H., Warner S., Sun J., Matsouaka R., Dekker J.P., Babiker A. et al. Trimethoprim-Sulfamethoxazole Versus Levofloxacin for *Stenotrophomonas maltophilia* Infections: A Retrospective Comparative Effectiveness Study of Electronic Health Records from 154 US Hospitals. *Open Forum Infect Dis*. 2022;9(2):ofab644. doi: 10.1093/ofid/ofab644.
21. Landrum M.L., Conger N.G., Forgione M.A. Trimethoprim-sulfamethoxazole in the treatment of *Stenotrophomonas maltophilia* osteomyelitis. *Clin Infect Dis*. 2005;40(10):1551-1552. doi: 10.1086/429730.
22. Sader H.S., Castanheira M., Mendes R.E., Flamm R.K. Frequency and antimicrobial susceptibility of Gram-negative bacteria isolated from patients with pneumonia hospitalized in ICUs of US medical centres (2015-17). *J Antimicrob Chemother*. 2018;73(11):3053-3059. doi: 10.1093/jac/dky279.
23. Bassetti M., Echols R., Matsunaga Y., Ariyasu M., Doi Y., Ferrer R. et al. Efficacy and safety of cefiderocol or best available therapy for the treatment of serious infections caused by carbapenem-resistant Gram-negative bacteria (CREDIBLE-CR): a randomised, open-label, multicentre, pathogen-focused, descriptive, phase 3 trial. *Lancet Infect Dis*. 2021;21(2):226-240. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30796-9.
24. Hornsey M., Longshaw C., Phee L., Wareham D.W. In vitro activity of telavancin in combination with colistin versus Gram-negative bacterial pathogens. *Antimicrob Agents Chemother*. 2012;56(6):3080-3085. doi: 10.1128/AAC.05870-11.
25. Betts J.W., Phee L.M., Woodford N., Wareham D.W. Activity of colistin in combination with tigecycline or rifampicin against multidrug-resistant *Stenotrophomonas maltophilia*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2014;33(9):1565-1572. doi: 10.1007/s10096-014-2101-3.
26. Correia C.R., Ferreira S.T., Nunes P. *Stenotrophomonas maltophilia*: rare cause of meningitis. *Pediatr Int*. 2014;56(4):e21-22. doi: 10.1111/ped.12352.
27. Pérez P.N., Ramírez M.A., Fernández J.A., De Guevara L.L. A patient presenting with cholangitis due to *Stenotrophomonas maltophilia* and *Pseudomonas aeruginosa* successfully treated with intrabiliary colistin. *Infect Dis Rep*. 2014;6(2):5147. doi: 10.4081/idr.2014.5147.

Сведения об авторах

✉ Касимова Алина Рашидовна — канд. мед. наук

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0000-0001-6284-7133>

e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Гордина Екатерина Михайловна — канд. мед. наук

<http://orcid.org/0000-0003-2326-7413>

e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Торопов Сергей Сергеевич

<https://orcid.org/0000-0002-9451-1834>

e-mail: doctoropovss@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук

<http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

Authors' information

✉ Alina R. Kasimova — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0001-6284-7133>

e-mail: kasi-alina@yandex.ru

Ekaterina M. Gordina — Cand. Sci. (Med.)

<http://orcid.org/0000-0003-2326-7413>

e-mail: emgordina@win.rniito.ru

Sergey S. Toropov

<https://orcid.org/0000-0002-9451-1834>

e-mail: doctoropovss@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.)

<http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>

e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru



Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы

Д.Г. Наумов^{1,2}, С.Г. Ткач¹, А.А. Ладыгин³, М.М. Щелкунов¹, А.А. Карпушин¹

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральная сеть медицинских центров «МРТ Эксперт», г. Апатиты, Россия

Актуальность. Глубокая инфекция области хирургического вмешательства (ИОХВ) является одним из наиболее тяжелых осложнений в хирургии позвоночника. При этом срок развития и характер ИОХВ — определяющие критерии при выборе тактики лечения. Уникальность клинического наблюдения заключается в сочетании ранней глубокой ИОХВ, эпидурального абсцесса и угловой кифотической деформации, сформировавшейся после проведения курса консервативной антибактериальной терапии у пациента, оперированного по поводу дегенеративно-дистрофического заболевания шейного отдела позвоночника. Коррекция углового кифоза, удаление разрушенных позвонков, межтеловых имплантатов и трехколонная реконструкция шейного отдела выполнены в одну хирургическую сессию.

Описание случая. Пациент 57 лет госпитализирован в клинику после этапных хирургических вмешательств на шейном отделе позвоночника по поводу многоуровневого дегенеративного стеноза позвоночного канала. Первичные хирургические вмешательства осложнились глубокой ИОХВ в раннем периоде после второй операции с формированием углового кифоза шейного отдела позвоночника. Пациенту проведено ревизионное одномоментное реконструктивное вмешательство, направленное на коррекцию деформации, декомпрессию позвоночного канала и трехколонную реконструкцию сегментов С3–7. В отдаленном периоде отмечено стойкое снижение болевого синдрома, улучшение качества жизни и отсутствие рецидива ИОХВ.

Заключение. Представленный клинический случай иллюстрирует возможности одномоментной ревизионной трехколонной реконструкции шейного отдела позвоночника для коррекции сагиттального профиля, декомпрессии интраканальных невралгических структур и обеспечения стабильности оперируемых сегментов. Использование алгоритмов лечения ИОХВ, основанных на классификации V. Prinz и P. Vajkoczy способствует выбору оптимальной тактики ведения пациентов.

Ключевые слова: инфекция области хирургического вмешательства, шейный отдел позвоночника, кифоз, ревизионная операция.

Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А. Ревизионная реконструкция шейного отдела позвоночника у пациента с ранней глубокой инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной угловым кифозом: клинический случай и краткий обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):95-103. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2373>.

✉ Наумов Денис Георгиевич; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Рукопись получена: 25.01.2023. Рукопись одобрена: 09.02.2023. Статья опубликована онлайн: 17.02.2023.

© Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Ладыгин А.А., Щелкунов М.М., Карпушин А.А., 2023



Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Case Report and Review

Denis G. Naumov^{1,2}, Sergey G. Tkach¹, Anton A. Ladygin³, Mikhail M. Shchelkunov¹, Andrey A. Karpushin¹

¹ St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Federal Network of Medical Centers "MRI Expert", Apatity, Russia

Background. Deep surgical site infection (DSSI) is one of the most severe complications in spinal surgery. The timing and nature of DSSI are the determining criteria in the choice of treatment tactics. The uniqueness of the clinical observation is the combination of early DSSI, epidural abscess and angular kyphotic deformity formed after a course of conservative antibacterial therapy in a patient who underwent surgery for degenerative-dystrophic disease of the cervical spine. Correction of angular kyphosis, removal of fractured vertebrae, interbody implants and three-column cervical reconstruction were performed in one surgical session.

Case presentation. A 57-year-old patient was admitted to the clinic after staged surgical interventions on the cervical spine for multilevel degenerative stenosis of the spinal canal. The primary surgical interventions were complicated by DSSI in the early period after the second surgery with formation of angular kyphosis of the cervical spine. The patient underwent revision one-stage reconstructive intervention to correct the deformity, decompress the spinal canal, and three-column reconstruction of C3-7 segments. Long-term follow-up showed persistent reduction of pain syndrome, improved quality of life and absence of recurrence of DSSI.

Conclusion. The presented case illustrates the possibilities of one-stage revision three-column cervical spine reconstruction for correction of sagittal profile, decompression of intracanal neural structures and ensuring stability of operated segments. Use of DSSI treatment algorithms based on Prinz V. and Vajkoczy P. classification contributes to the selection of the optimal tactics of patient management.

Keywords: surgical site infection, cervical spine, kyphosis, revision surgery.

Cite as: Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A. [Revision Reconstruction of the Cervical Spine in a Patient With Early Deep Surgical Site Infection Complicated by Angular Kyphosis: Case Report and Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):95-103. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2373>.

✉ Denis G. Naumov; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Submitted: 25.01.2023. Accepted: 09.02.2023. Published Online: 17.02.2023.

© Naumov D.G., Tkach S.G., Ladygin A.A., Shchelkunov M.M., Karpushin A.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Угловая кифотическая деформация — одно из наиболее тяжелых проявлений патологии шейного отдела позвоночника, приводящее к развитию вертеброгенного болевого синдрома, миеоло- и радикулопатии, нарушению глобального сагиттального баланса и снижению качества жизни пациентов [1, 2, 3]. Этиология развития углового кифоза шейного отдела позвоночника мультипотентна [4, 5, 6]. В структуре ведущих факторов выделяют постламинэктомический синдром, ревматологические заболевания (анкилозирующий спондилоартрит, болезнь Бехтерева) и инфекционные процессы (спондилит, инфекция области хирургического вмешательства (ИОХВ)) [7, 8, 9].

Частота развития кифоза шейного отдела после многоуровневой ламинэктомии без задней инструментальной фиксации достигает 15–24% у взрослых и 37–100% у детей [10, 11, 12, 13]. Выполнение инструментальной фиксации, ламинопластики, малоинвазивных вентральных (операция Джо) и дорсальных (фораменотомия) декомпрессивных вмешательств снижает риски развития кифоза в послеоперационном периоде [14, 15, 16].

Анкилозирующий спондилоартрит, проявляющийся формированием грудного гиперкифоза и поясничного гиполордоза, приводит к формированию деформации типа «подбородок на груди» (chin-on-chest deformity), изменению угла зрения и требует выполнения внеапикальных вертебротомий 3-го типа по SRS-Schwab (2014) для коррекции сагиттального баланса [17, 18, 19, 20].

Несмотря на существующий массив данных, отражающих особенности клинической картины, диагностики и хирургического лечения кифотической деформации шейного отдела на фоне постламинэктомического синдрома и болезни Бехтерева, информация об угловых кифозах на фоне инфекционных процессов резко ограничена и представлена единичными публикациями [21, 22, 23].

Цель публикации — представить результаты симультанной ревизионной трехколонной реконструкции шейного отдела позвоночника у пациента с глубокой ранней инфекцией области хирургического вмешательства, осложненной формированием угловой кифотической деформации.

Клиническое наблюдение

Пациент 57 лет был госпитализирован в отделение хирургии позвоночника № 6 ФГБУ «СПб НИИ фтизиопульмонологии» Минздрава России в январе 2022 г. На момент поступления предъявлял жалобы на хронический вертеброгенный болевой синдром в шейном отделе позвоночника интенсивностью до 7 баллов по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) с иррадиацией по тыльной поверхности левой верхней конечности, онемение IV–V пальцев левой кисти и мышечную слабость в руках.

Из анамнеза известно, что вертеброгенный болевой синдром в шейном отделе с иррадиацией в область левого плечевого сустава пациент отмечал с сентября 2020 г. Проходил этапные курсы консервативной противоболевой (НПВП) и нейротропной терапии без стойкого терапевтического эффекта. Результаты ЭНМГ верхних конечностей (март 2021 г.) свидетельствовали о наличии преганглионарного поражения С6–С8 корешков спинного мозга. По данным МРТ шейного отдела позвоночника от марта 2021 г. выявлены полисегментарные дегенеративно-дистрофические изменения позвоночно-двигательных сегментов С3–С7, стеноз позвоночного канала с формированием диско-радикулярного конфликта (рис. 1).

Учитывая клиническую картину и данные лучевого обследования, в мае 2021 г. пациенту по месту жительства выполнена операция: передняя шейная дискэктомия, декомпрессия позвоночного канала и межтеловой спондилодез на уровнях С5–С6, С6–С7 (рис. 2). Послеоперационный период протекал без особенностей, достигнуто частичное купирование корешкового болевого синдрома (интенсивность до 5 баллов по ВАШ).

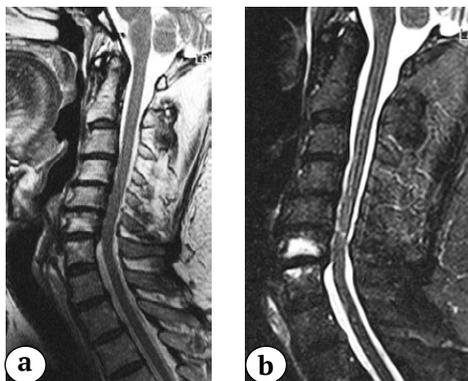


Рис. 1. МРТ шейного отдела позвоночника (а — T2 ВИ; б — STIR ВИ): полисегментарные дегенеративно-дистрофические изменения С3–С7, стеноз позвоночного канала, отек замыкательных пластинок сегмента С6–С7 типа I по Modic, МР-признаки полисегментарной миелопатии С4–С7

Fig. 1. MRI (a — T2 images; b — STIR images): C3–C7 polysegmental degenerative changes, spinal canal stenosis, C6–C7 end plates oedema type I Modic, polysegmental myelopathy C4–C7



Рис. 2. МРТ (а — T2 ВИ; б — STIR ВИ) и КТ (с) шейного отдела позвоночника после первой операции: определяются два межтеловых имплантата (PEEK-кейджи) на уровнях C5–C6, C6–C7, сегментарная оссификация задней продольной связки на уровне C4–C6 по классификации Committee on the Ossification of the Spinal Ligaments (Japanese)

Fig. 2. MRI (a — T2 images; b — STIR images) and CT (c) after the first operation: two interbody implants (PEEK cages) are identified at the C5–C6, C6–C7, C4–C6 ossification of the posterior longitudinal ligament (segmental type according to the Committee on the Ossification of the Spinal Ligaments)

Спустя 6 мес. после первичной операции пациент повторно обратился в связи с сохранением клинических жалоб. Проведено клинично-инструментальное обследование, принято решение о выполнении этапной операции в объеме передней шейной дискэктомии, декомпрессии позвоночного канала и спондилодеза сегмента C4–C5.

Ранний послеоперационный период осложнился развитием глубокой ИОХВ, в связи с которой проводилась эмпирическая антибактериальная терапия (парентеральное введение ванкомицина в дозировке 1 г 2 раза в сут. в течение 3 нед.). Ревизионные хирургические вмешательства (некрэктомия, абсцессотомия, удаление межтеловых кейджей) не выполнялись. Данные МРТ шейного отдела позвоночника на фоне глубокой ИОХВ (16-е сут. после передней шейной дискэктомии и

спондилодеза C4–C5) свидетельствуют о наличии эпидурального абсцесса и очаговой миелопатии на уровне C2–C3, превертебрального абсцесса на уровне C2–C6, спондилита на уровне C3–C5 (рис. 3).

В динамике на фоне антибактериальной терапии достигнута стабилизация общего состояния и лабораторных показателей. Однако интенсивность вертеброгенного и корешкового болевого синдрома увеличилась до 8 баллов.

На момент госпитализации в клинику СПб НИИФ пациент предъявлял жалобы на болевой синдром в шейном отделе позвоночника с иррадиацией в верхние конечности интенсивностью до 7 баллов по ВАШ. Снижение качества жизни, оцененное по опросникам Oswestry Disability Index (ODI) и Neck Disability Index (NDI), составило 47% и 62% соответственно (тяжелая степень). В неврологическом статусе — тип D по Frankel (поражение спинного мозга в сегментах C5–Th1 с чувствительными расстройствами).

По данным лучевого обследования выявлена угловая кифотическая деформация шейного отдела позвоночника величиной 48° по Cobb, cSVA 12 мм, T1S 30° (рис. 4).

Общесоматическое состояние пациента средней степени тяжести. Учитывая наличие хронического вертеброгенного болевого синдрома, неврологического дефицита и угловой кифотической деформации шейного отдела позвоночника, определены показания к хирургическому вмешательству.

Первым этапом с использованием правостороннего переднего шейного доступа по R.V. Cloward [24] обнажены костные структуры на уровне C3–C7. Визуально отмечены выраженные рубцово-спаечные изменения заглочного пространства, интимное прилегание задней стенки пищевода к рубцовым тканям на уровне C6–C7. С целью предотвращения перфорации пищевода на этапе мобилизации передней колонны позвоночника установлен назогастральный зонд. С помощью высокоскоростного костного бура, кусачек Керрисона и микрохирургических диссекторов выполнены корпэктомия тел C4–C6, декомпрессия позвоночного канала на соответствующем уровне.

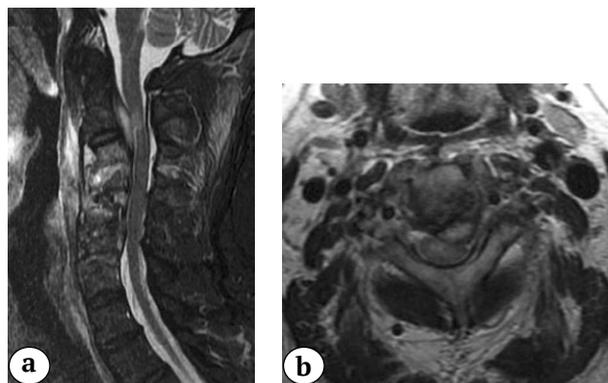


Рис. 3. МРТ (а — STIR ВИ; б — T2 ВИ) на уровне шейного отдела позвоночника после второй операции: превертебральный, эпидуральный абсцессы, спондилит на уровне C3–C5, очаговая миелопатия на уровне C2–C3

Fig. 3. MRI after the second operation: (a — STIR images; b — T2 images): prevertebral, epidural abscesses, C3–C5 spondylitis, focal myelopathy at C2–C3

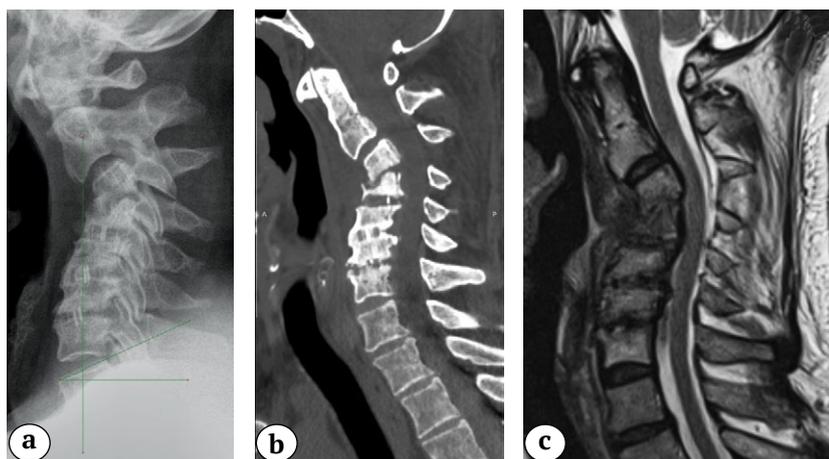


Рис. 4. Рентгенограмма (а), КТ (b) и МРТ (с) на момент поступления в клинику: угловой кифоз 48° по Cobb, деструкция тел С3–С5, миелопатия на уровне С2–С3, отсутствие признаков активного воспалительного процесса (абсцессы)

Fig. 4. X-ray (a), CT (b) and MRI (c) at the time of hospital admission: angular kyphosis 48° Cobb, destruction of C3–C5, myelopathy at C2–C3, no signs of active inflammatory process (abscesses)

Коррекция кифотической деформации после корпэктомии не выполнялась как из-за невозможности установки винтового дистрактора Caspar (протяженность пострезекционного диастаза С3–С7 6 см), так и по причине билатерального синостозирования фасеточных суставов С3–С4. Передний шейный доступ провизорно ушит.

Вторым этапом выполнены билатеральная фазетэктомия С3–С4 тип 1 по SRS-Schwab (2014), задняя транспедикулярная фиксация С2–С3, Th1–2 по методике free-hands и задний спондилодез на уровне С2–Th2 фрагментами аутооттрансплантата.

Третьим этапом выполнена инструментальная дистракция передней колонны позвоночника и установка титановой блок-решетки, заполненной аутокостью (забор проведен из передней подвздошной ости). Раны дренированы, ушиты. Длительность операции — 10 ч., объем операционной кровопотери — 850 мл (13,5% от ОЦК).

Рентгенограммы шейного отдела позвоночника на момент выписки из стационара и КТ спустя 10 мес. после операции представлены на рисунке 5.

Послеоперационный период протекал без особенностей, раны зажили первичным натяжением. Дренажи удалены на 2-е сут., вертикализация в шейном ортезе на 3-и сут. после операции. Интенсивность вертеброгенного болевого синдрома спустя 10 мес. — 2 балла по ВАШ, корешковый болевой синдром в верхних конечностях купирован, ODI — 15%, NDI — 14%. Величина коррекции кифотической деформации шейного отдела позвоночника составила 46° по Cobb.

По данным бактериологического исследования операционного материала роста микроорганизмов не выявлено. Результаты гистологического исследования свидетельствует о наличии дистрофических изменений костной ткани с неравномерно выраженной лимфоплазмочитарной инфильтрацией. Диагноз — умеренно выраженное хроническое неспецифическое воспаление. В послеоперационном периоде пациент прошел курс пероральной антибактериальной терапии: амоксициллин + клавулановая кислота длительностью 6 нед.

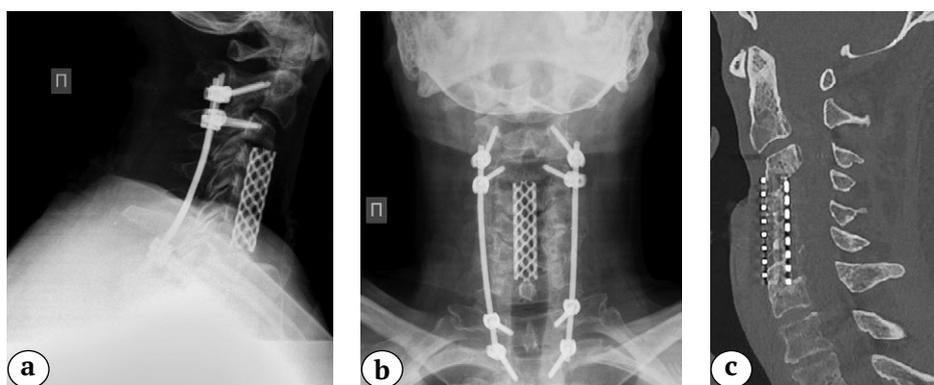


Рис. 5 (а, b, с). Рентгенограммы в сагиттальной (а) и фронтальной (b) проекциях, КТ в сагиттальной (с) проекции через 10 мес. после операции: визуализируется корректное положение опорных элементов задней металлоконструкции, сформированный передний костный блок С3–С7

Fig. 5 (a, b, c). Sagittal (a) and frontal (b) X-rays, sagittal CT (c) 10 months after surgery: posterior transpedicular screw fixation correct position, solid anterior fusion C3–C7 formation detected

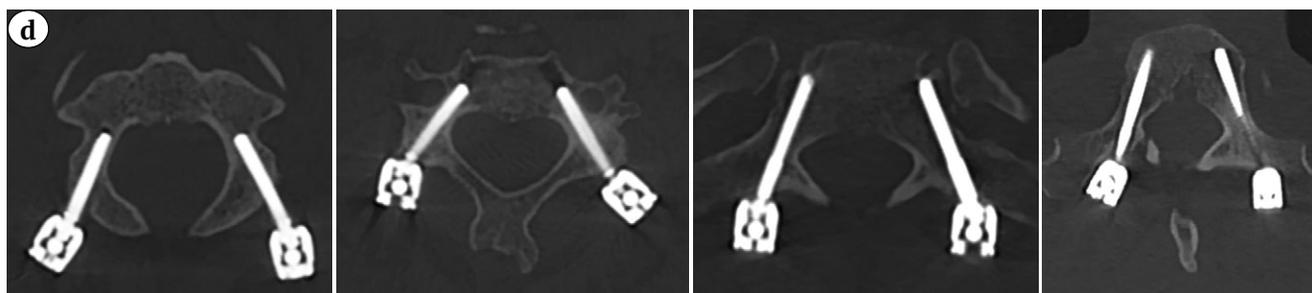


Рис. 5 (d). КТ в аксиальной (d) проекции: визуализируется корректное положение опорных элементов задней металлоконструкции, сформированный передний костный блок C3–C7

Fig. 5 (d). Axial (d) CT: posterior transpedicular screw fixation correct position, solid anterior fusion C3–C7 formation detected

ОБСУЖДЕНИЕ

Частота развития ИОХВ в вертебрологии колеблется от 2,1 до 16,3%, при этом в общей структуре ИОХВ развитие глубокой периимплантной инфекции как самостоятельной нозологической формы инфекционного осложнения регистрируется с частотой до 20% [8, 25]. Согласно временной периодизации V. Prinz и P. Vajkoszy, принято выделять раннюю (ограничена 6 нед. с момента операции), отсроченную (>6 нед.) и позднюю (>12 мес.) ИОХВ [26].

Именно срок развития ИОХВ является одним из ключевых критериев выбора тактики дальнейшего лечения. В условиях ранней ИОХВ возможно сохранение металлоконструкций, в то время как при отсроченной и поздней необходима либо одноэтапная замена фиксирующих элементов в сочетании с антибактериальной терапией сроком не менее 6 нед., либо ступенчатая тактика с первичным удалением имплантатов, антибактериальной терапией и последующей рестабилизацией [27].

Русскоязычная версия модифицированной классификации V. Prinz и P. Vajkoszy представлена в таблице 1.

Систематический обзор литературы, опубликованный мультицентровой командой авторов, свидетельствует о ряде значимых тенденций в рассматриваемой области: 1) смещение микробиологического спектра возбудителей ИОХВ в сторону устойчивых форм (частота культивирования MRSA — 35–71%, MRSE — 43%); 2) возможность сохранения металлоконструкций в случае развития поверхностной ИОХВ как в отсроченном, так и в позднем послеоперационном периодах; 3) необходимость удаления или одноэтапной замены металлоконструкций в подавляющем большинстве случаев глубокой ИОХВ вне зависимости от сроков развития [27].

Рассматривая представленный клинический случай, необходимо отметить, что развитие глубокой ИОХВ в раннем послеоперационном периоде

диктовало необходимость удаления межтеловых имплантатов с одномоментной задней инструментальной фиксацией для обеспечения стабильности шейного отдела позвоночника. В свою очередь, оптимальный объем бактериологического исследования для верификации возбудителя ИОХВ включает посев отделяемого раны на неспецифическую флору и соникацию поверхности имплантатов ультразвуковым деструктором с последующим культивированием материала на анаэробную низкопатогенную флору (среда — кровяной агар). Длительность этиотропной антибактериальной терапии — не менее 6 нед., 2 нед. из которых — с парентеральным введением.

Также необходимо рассмотреть тактику первичного хирургического вмешательства, при которой оперирующие хирурги отдали предпочтение методике ACDF (anterior cervical discectomy and fusion). Одним из инструментов алгоритмирования в выборе хирургического доступа при дегенеративной патологии шейного отдела позвоночника является параметр K-line, исходно предложенный T. Fujiyoshi с соавторами для пациентов с оссификацией задней продольной связки [28].

На наш взгляд, одним из обязательных компонентов предоперационного лучевого обследования пациентов с дегенеративной патологией шейного отдела позвоночника, наряду с МРТ, являются функциональная рентгенография в сагиттальной проекции и КТ. Так, результаты КТ после первичной операции свидетельствовали о наличии сегментарного типа оссификации продольной связки у пациента (см. рис. 2). При этом функциональные рентгенограммы в сагиттальной проекции на предоперационном этапе могли бы свидетельствовать о K-line (+) сагиттальном профиле пациента и сместить хирургическую тактику в сторону дорсального декомпрессивного вмешательства (ламинопластика или ламинэктомия с инструментальной фиксацией C4–C7).

Таблица 1

Русскоязычная версия классификации V. Prinz и P. Vajkoczy

Параметр	Ранняя ИОХВ ≤ 6 нед.	Отсроченная и поздняя ИОХВ: отсроченная > 6 нед. поздняя > 12 мес.
Клиническая картина	«Острые» локальные и системные проявления (формирование фистулы, локальная боль, лихорадка)	«Хронические» проявления (формирование периимплантной резорбции, нестабильность металлоконструкций)
Микробиологический спектр возбудителей	Высокопатогенные микроорганизмы (<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus</i> spp., грамотрицательные: <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	Низкопатогенные и устойчивые микроорганизмы (коагулазонегативные стафилококки: MRSE, MRSA, анаэробные бактерии: <i>Propionibacterium acnes</i>)
Биопленки	Незрелые	Зрелые
Хирургическая тактика	Некрэктомия (дебримент), сохранение металлоконструкций	Удаление / замена металлоконструкций (в случае отсутствия спондилодеза), соникация удаленных имплантатов с последующим бактериологическим исследованием, в т.ч. на низкопатогенную флору (среда культивирования — кровяной агар)
Антибактериальная терапия	Парентеральное введение — 2 нед., затем <i>per os</i> 4–10 нед.	парентеральное введение — 2 нед., затем <i>per os</i> 4–10 нед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический случай иллюстрирует возможности одномоментной ревизионной трехколонной реконструкции шейного отдела позвоночника для коррекции сагиттального профиля, декомпрессии интраканальных невралгических структур и обеспечения стабильности оперируемых сегментов. Развитие ранней глубокой ИОХВ как основной причины формирования угловой

кифотической деформации у данного пациента требовало проведения ревизионного вмешательства с удалением межтеловых имплантатов в максимально короткие сроки с момента развития. При этом использование тактических алгоритмов лечения ИОХВ способствует выбору оптимальной тактики ведения пациентов как на этапе ревизионного вмешательства, так и на этапе последующей антибактериальной терапии.

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.

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

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

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Buell T.J., Buchholz A.L., Quinn J.C., Shaffrey C.I., Smith J.S. Importance of Sagittal Alignment of the Cervical Spine in the Management of Degenerative Cervical Myelopathy. *Neurosurg Clin N Am*. 2018;29(1): 69-82. doi: 10.1016/j.nec.2017.09.004.
- Shamji M.F., Mohanty C., Massicotte E.M., Fehlings M.G. The Association of Cervical Spine Alignment with Neurologic Recovery in a Prospective Cohort of Patients with Surgical Myelopathy: Analysis of a Series of 124 Cases. *World Neurosurg*. 2016;86:112-119. doi: 10.1016/j.wneu.2015.09.044.
- Li X.Y., Wang Y., Zhu W.G., Kong C., Lu S.B. Impact of cervical and global spine sagittal alignment on cervical curvature changes after posterior cervical laminoplasty. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):521. doi: 10.1186/s13018-022-03421-w.
- Наумов Д.Г., Вишневыкий А.А., Ткач С.Г., Аветисян А.О. Эхиноккоккое поражение шейно-грудного отдела позвоночника у беременной: клинический случай и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):102-110. doi: 10.21823/2311-2905-1668.
Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O. [Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):102-110. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-1668.
- Han K., Lu C., Li J., Xiong G.Z., Wang B., Lv G.H. et al. Surgical treatment of cervical kyphosis. *Eur Spine J*. 2011;20(4):523-536. doi: 10.1007/s00586-010-1602-8.
- Наумов Д.Г., Ткач С.Г., Мушкин А.Ю., Макогонова М.Е. Хронические инфекционные поражения шейного отдела позвоночника у взрослых: анализ моноцентровой когорты и данных литературы. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(3):68-76. doi: 10.14531/ss2021.3.68-76.
Naumov D.G., Tkach S.G., Mushkin A.Yu., Makogonova M.E. [Chronic infectious lesions of the cervical spine in adults: monocentric cohort analysis and literature review]. *Хирургия позвоночника* [Spine Surgery]. 2021;18(3):68-76. (In Russian). doi: 10.14531/ss2021.3.68-76.
- Ogura Y., Dimar J.R., Djurasovic M., Carreon L.Y. Etiology and treatment of cervical kyphosis: state of the art review—a narrative review. *J Spine Surg*. 2021;7(3): 422-433. doi: 10.21037/jss-21-54.
- Barnes M., Liew S. The Incidence of Infection after Posterior Cervical Spine Surgery: A 10 Year Review. *Global Spine J*. 2012;2(1):3-6. doi: 10.1055/s-0032-13072.
- Мушкин А.Ю., Щелкунов М.М., Снисчук В.П., Евсеев В.А. Особенности структуры нетравматической хирургической патологии шейного отдела позвоночника у детей (анализ моноцентровой когорты и данных литературы). *Медицинский альянс*. 2018;(1):60-67.
Mushkin A.Y., Schelkunov M.M., Snischuk V.P., Evseev V.A. [The peculiarities of the structure on the pediatric cervical spine surgical pathology (analysis of the monocenter cohort and literature data)]. *Медицинский альянс* [Medical Alliance]. 2018;(1):60-67. (In Russian).
- Kaptain G.J., Simmons N.E., Replogle R.E., Pobereskin L. Incidence and outcome of kyphotic deformity following laminectomy for cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg*. 2000;93(2 Suppl):199-204. doi: 10.3171/spi.2000.93.2.0199.
- McGirt M.J., Chaichana K.L., Atiba A., Bydon A., Witham T.F., Yao K.C. et al. Incidence of spinal deformity after resection of intramedullary spinal cord tumors in children who underwent laminectomy compared with laminoplasty. *J Neurosurg Pediatr*. 2008;1(1):57-62. doi: 10.3171/PED-08/01/057.
- Bell D.F., Walker J.L., O'connor G., Tibshirani R. Spinal deformity after multiple-level cervical laminectomy in children. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19(4):406-411. doi: 10.1097/00007632-199402001-00005.
- McLaughlin M.R., Wahlig J.B., Pollack I.F. Incidence of postlaminectomy kyphosis after Chiari decompression. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(6):613-617.
- Ma L., Liu F.Y., Huo L.S., Zhao Z.Q., Sun X.Z., Li F. et al. Comparison of laminoplasty versus laminectomy and fusion in the treatment of multilevel cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2018;97(29):e11542. doi: 10.1097/00007632-199703150-00007.
- Fager C.A. Laminectomy and kyphotic deformity. *J Neurosurg*. 2001;95(1 Suppl):157-158. doi: 10.3171/spi.2001.95.1.0157.
- Suk K.S., Kim K.T., Lee J.H., Lee S.H., Lim Y.J., Kim J.S. Sagittal alignment of the cervical spine after the laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(23): E656-E660. doi: 10.1097/BRS.0b013e318158c573.
- Drain J.P., Virk S.S., Jain N., Yu E. Dropped Head Syndrome: A Systematic Review. *Clin Spine Surg*. 2019;32(10): 423-429. doi: 10.1097/BSD.0000000000000811.
- Khandelwal A., Sokhal S., Dube S., Goyal K., Singh A., Tandon V. et al. Perioperative Management of a Patient with Chin-On-Chest Deformity Presenting for Reconstructive Spine Surgery. *Neurol India*. 2021;69(6):1756-1758. doi: 10.4103/0028-3886.333489.
- Sharan A.D., Kaye D., Charles Malveaux W.M., Riew K.D. Dropped head syndrome: etiology and management. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20(12):766-774. doi: 10.5435/JAAOS-20-12-766.
- Schwab F., Ungar B., Blondel B., Buchowski J., Coe J., Deinlein D. et al. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(12):1077-1082. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2
- Miyazaki M., Abe T., Ishihara T., Kanazaki S., Notani N., Kataoka M. et al. Cervical alignment after single-level anterior cervical corpectomy and fusion using autologous bone graft without spinal instrumentation for cervical pyogenic spondylitis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2020;30(3):479-484. doi: 10.1007/s00590-019-02594-1.
- Mutoh M., Fukuoka T., Suzuki O., Hattori S. Three-Stage Surgical Strategy as a Combined Approach for Multilevel Cervical Pyogenic Spondylodiscitis. *Cureus*. 2021;13(9):e17747. doi: 10.7759/cureus.17747.
- Shousha M., Mosafer A., Boehm H. Infection rate after transoral approach for the upper cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(19):1578-1583. doi: 10.1097/BRS.0000000000000475.
- Cloward R.B. Treatment of hyperhidrosis palmaris (sweaty hands); a familial disease in Japanese. *Hawaii Med J*. 1957;16(4):381-387.
- Wang M., Xu L., Yang B., Du C., Zhu Z., Wang B. et al. Incidence, management and outcome of delayed deep surgical site infection following spinal deformity surgery: 20-year experience at a single institution. *Global Spine J*. 2022;12(6):1141-1150. doi: 10.1177/2192568220978225.
- Prinz V., Vajkoczy P. Surgical revision strategies for postoperative spinal implant infections (PSII). *J Spine Surg*. 2020;6(4):777-784. doi: 10.21037/jss-20-514.

27. Agarwal A., Kelkar A., Agarwal A.G., Jayaswal D., Schultz C., Jayaswal A. et al. Implant retention or removal for management of surgical site infection after spinal surgery. *Global Spine J.* 2020;10(5):640-646. doi: 10.1177/2192568219869330.
28. Fujiyoshi T., Yamazaki M., Kawabe J., Endo T., Furuya T., Koda M. et al. A new concept for making decisions regarding the surgical approach for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: the K-line. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(26):E990-E993. doi: 10.1097/BRS.0b013e318188b300.

Сведения об авторах

✉ *Наумов Денис Георгиевич* — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 191036, г. Санкт-Петербург,
Лиговский пр., д. 2–4
<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>
e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Ткач Сергей Геннадьевич
<https://orcid.org/0000-0001-7135-7312>
e-mail: tkach2324sergei@yandex.ru

Ладыгин Антон Александрович
<https://orcid.org/0000-0002-2003-9987>
e-mail: ladygin-antony1982@inbox.ru

Щелкунов Михаил Михайлович
<https://orcid.org/0000-0002-6305-6023>
e-mail: mm.shelkunov1881@yandex.ru

Карпушин Андрей Андреевич
<https://orcid.org/0000-0002-7178-3861>
e-mail: karpushin@lyag.ru

Authors' information

✉ *Denis G. Naumov* — Cand. Sci. (Med.)
Address: 2–4, Ligovsky av., St. Petersburg, 191036, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>
e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Sergey G. Tkach
<https://orcid.org/0000-0001-7135-7312>
e-mail: tkach2324sergei@yandex.ru

Anton A. Ladygin
<https://orcid.org/0000-0002-2003-9987>
e-mail: ladygin-antony1982@inbox.ru

Mikhail M. Shchelkunov
<https://orcid.org/0000-0002-6305-6023>
e-mail: mm.shelkunov1881@yandex.ru

Andrey A. Karpushin
<https://orcid.org/0000-0002-7178-3861>
e-mail: karpushin@lyag.ru



Реконструкция медиальной лодыжки свободным ауто трансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай

А.К. Мурсалов, Г.М. Косицын, А.М. Дзюба

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздрава России, г. Москва, Россия

Актуальность. В мировой литературе описано всего несколько случаев реконструкции медиальной лодыжки после возникновения ее травматического дефекта. В русскоязычной литературе нам не удалось найти описания подобных случаев.

Целью публикации является демонстрация редкого клинического наблюдения пациента с травматическим дефектом медиальной лодыжки и метода ее реконструкции.

Описание случая. Пациент 52 лет получил мотоциклетную травму, в результате которой произошел открытый перелом медиальной лодыжки с утратой костного фрагмента. Пациент доставлен в лечебное учреждение, где ему была выполнена первичная хирургическая обработка с ушиванием раны. Через 3 мес. была выполнена операция по реконструкции медиальной лодыжки свободным ауто трансплантатом из гребня подвздошной кости с фиксацией металлоконструкцией и пластикой дельтовидной связки. В послеоперационном периоде выполнялась иммобилизация голеностопного сустава в течение 4 нед., затем активная разработка движений и дозированная нагрузка на конечность через 8 нед. Через 12 мес. оценка по шкале AOFAS составила 93 балла. По данным компьютерной томографии достигнута полная интеграция ауто трансплантата, отсутствуют признаки нестабильности голеностопного сустава. Пациент удовлетворен проведенным хирургическим лечением.

Заключение. При травматическом дефекте медиальной лодыжки оптимальным методом лечения является реконструкция свободным ауто трансплантатом из гребня подвздошной кости. Это позволяет сформировать трансплантат необходимых размеров и формы, при этом минимизируется риск развития послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: травматический дефект, перелом медиальной лодыжки, костная пластика, свободный костный ауто трансплантат.

Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М. Реконструкция медиальной лодыжки свободным ауто трансплантатом из гребня подвздошной кости после травматического дефекта: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):104-110. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2030>.

Косицын Георгий Михайлович; e-mail: og-o@mail.ru

Рукопись получена: 29.11.2022. Рукопись одобрена: 20.02.2023. Статья опубликована онлайн: 09.03.2023.

© Мурсалов А.К., Косицын Г.М., Дзюба А.М., 2023



Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report

Anatolii K. Mursalov, Georgii M. Kositsyn, Aleksei M. Dzyuba

National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov,
Moscow, Russia

Background. In the world literature only a few cases of medial ankle reconstruction after its traumatic loss were described. The authors have not found similar cases in the Russian-language literature.

The aim of the study is to show a rare clinical case of a patient with a traumatic defect of the medial ankle and to describe the method of its reconstruction.

Case presentation. A 52-year-old patient suffered a motorcycle injury resulting in an open fracture of the medial ankle with bone fragment loss. The patient was taken to a medical facility where he underwent primary surgical treatment with wound suturing. Three months later, the reconstruction of the medial ankle with a free iliac crest autograft, medial ankle osteosynthesis and deltoid ligament plasty were carried out at N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. In the postoperative period, immobilization of the ankle joint was performed for 4 weeks followed by the active development of motions and partial weight bearing 8 weeks after the surgery. The AOFAS score 12 months after the reconstruction was 93 points. According to CT scans, complete autograft integration was achieved and no signs of instability of the ankle joint were observed. The patient was satisfied with the performed surgical treatment.

Conclusion. The most optimal method of treatment in case of traumatic defect of the medial ankle is its reconstruction with a free iliac crest autograft. This allows us to form a graft of required parameters and shape, minimizing the risk of postoperative complications.

Keywords: traumatic bone defect, medial ankle fracture, bone grafting, free bone autograft.

Cite as: Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M. [Reconstruction of Traumatic Medial Malleolus Loss With a Free Iliac Crest Autograft: Case Report]. *Traumatalogiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):104-110. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2030>.

✉ Georgii M. Kositsyn; e-mail: og-o@mail.ru

Submitted: 29.11.2022. Accepted: 20.02.2023. Published Online: 09.03.2023.

© Mursalov A.K., Kositsyn G.M., Dzyuba A.M., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Открытые переломы медиальной лодыжки, сопровождающиеся невозможностью ее остеосинтеза вследствие утери костного фрагмента либо его массивной фрагментации, довольно редки в клинической практике. Медиальная лодыжка необходима для обеспечения стабильности голеностопного сустава, и ее реконструкция важна для возможности восстановления функциональных результатов.

В мировой литературе описано несколько методик реконструкции, которые можно разделить на две группы:

1) реконструкция свободными костными ауто-трансплантатами (из гребня подвздошной кости и из малоберцовой кости) [1, 2, 3, 4];

2) реконструкция местными тканями (скользящая остеотомия большеберцовой кости) [5].

Учитывая редкость подобной травмы, до сих пор не определена оптимальная тактика коррекции. В нашем случае мы выбрали методику свободного костного ауто-трансплантата из гребня подвздошной кости из-за возможности обеспечения необходимой формы трансплантата и его размеров.

Клинический случай

Пациент 52 лет получил изолированную травму правого голеностопного сустава в результате мотоциклетной травмы — открытый отрывной перелом медиальной лодыжки. Доставлен в больницу, где была выполнена первичная хирургическая обработка (рис. 1). Рана была классифицирована как Gustilo-Anderson II, попытки реконструкции медиальной лодыжки не выполнялись. Проводилась антибиотикопрофилактика в периоперационном периоде. Пучки дельтовидной связки, фиксировавшиеся к медиальной лодыжке, повреждены; сосудисто-нервные структуры сохранены. Пациент был направлен на консультацию в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, где было принято решение



Рис. 1. Вид правой стопы после первичной хирургической обработки

Fig. 1. Right foot after primary surgical debridement

о выполнении отсроченной реконструкции, учитывая состояние мягких тканей. Пациенту была выполнена иммобилизация голеностопного сустава задней гипсовой лонгетой от пальцев стопы до средней трети голени для профилактики эквинусной деформации стопы и обеспечения покоя для мягких тканей. Назначена антикоагулянтная терапия на период иммобилизации — ривароксабан 10 мг 1 раз в день. Через 2 нед. после травмы с пациентом проводились занятия лечебной физкультурой, направленные на разработку движений в голеностопном суставе. Осевая нагрузка на травмированную конечность была запрещена, учитывая высокий риск развития медиального подвывиха стопы из-за отсутствия медиальной лодыжки.

Пациенту выполнено КТ-исследование голеностопных суставов с последующей 3D-реконструкцией для моделирования формы медиальной лодыжки (рис. 2, 3).



Рис. 2. Данные КТ-исследования обоих голеностопных суставов после проведения первичной хирургической обработки

Fig. 2. CT scans of both ankle joints after primary surgical debridement



Рис. 3. Результаты 3D-реконструкции обоих голеностопных суставов

Fig. 3. Results of 3D reconstruction of both ankle joints

Через 3 мес., после заживления раны вторичным натяжением и восстановления объема активных движений в голеностопном суставе, проведено оперативное лечение пациента под спинальной анестезией с пролонгацией анальгезирующего эффекта проводниковой анестезией (рис. 4).

В положении пациента лежа на спине под пневмоможгутом на бедре выполнен продольный доступ к медиальной лодыжке. Осуществлены доступ к ложу медиальной лодыжки на большеберцовой кости, выделение и мобилизация проксимального отдела дельтовидной связки. Интересным является тот факт, что сохранилась целостность канала сухожилия задней большеберцовой мышцы и отсутствовал его вывих. После подготовки ложа медиальной лодыжки был выполнен доступ к гребню подвздошной кости с забором трансплантата размером 2,5×2×1,8 см. Трансплантат был смоделирован под форму медиальной лодыжки с искусственным формированием переднего и заднего бугорков, а также борозды медиальной лодыжки. Фиксация

трансплантата, кортикальным слоем обращенного медиально, была выполнена при помощи компрессионного спонгиозного винта с частичной резьбой для обеспечения абсолютной стабильности и противоскользкой LCP пластиной 2,4 мм для профилактики воздействия срезающих сил и ротационной нагрузки на трансплантат (рис. 5). Далее выполнена трансоссальная фиксация обеих порций дельтовидной связки, спаянных рубцами в единый конгломерат, к дистальному отделу трансплантата в нейтральном положении стопы, причем из-за рубцовых изменений выделить отдельные компоненты связки не представлялось возможным. Время операции составило 55 мин.

Через 2 нед. после операции были сняты швы, раны зажили первичным натяжением. Имобилизация голеностопного сустава выполнялась на протяжении 4 нед. в постоянном режиме для обеспечения условий адекватной интеграции дельтовидной связки. Выполнены контрольные рентгенограммы, положение металлоконструкции корректно и стабильно (рис. 6).

На протяжении следующих 2 нед. выполнялась разработка движений в голеностопном суставе (сгибание и разгибание) в активном режиме, в период покоя продолжалась иммобилизация сустава. Через 6 нед. после операции были разрешены движения, направленные на разработку инверсии и эверсии стопы, а также отказ от иммобилизации сустава. Также на этом сроке была выполнена рентгенография голеностопного сустава в двух проекциях: отмечались признаки удовлетворительной консолидации трансплантата и отсутствие признаков его лизиса. Через 8 нед. пациенту разрешена дозированная нагрузка на конечность с постепенным увеличением веса. Через 10 нед.



Рис. 4. Внешний вид стопы после заживления ран

Fig. 4. Appearance of the foot after wound healing

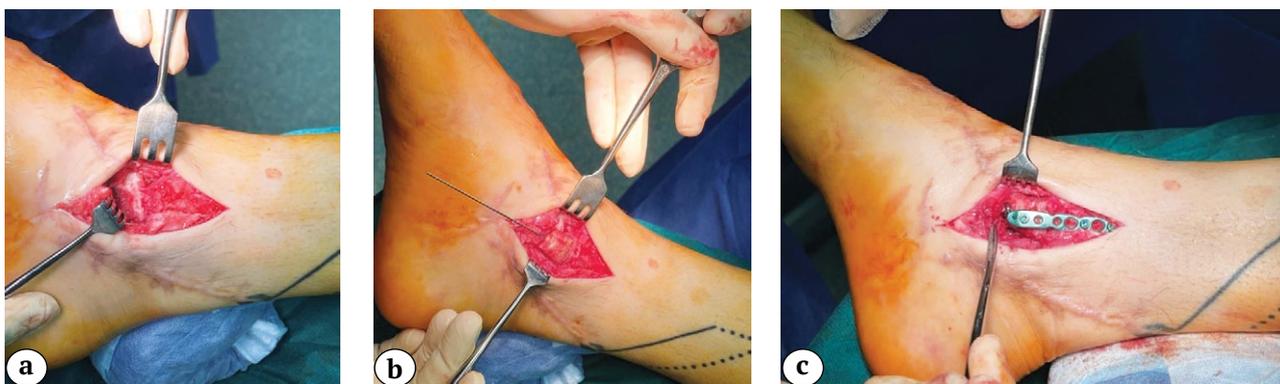


Рис. 5. Этапы операции:

а — медиальная поверхность таранной кости в ране; б — установка аутографта в ложе медиальной лодыжки; с — фиксация аутографта пластиной и винтами

Fig. 5. Surgery stages:

а — medial surface of the talar bone in the wound; б — autograft implantation in the medial ankle bed; с — autograft fixation with plate and screws

данной методики авторы считают отсутствие необходимости травмирования отдаленного донорского участка, что существенно снижает риски послеоперационных осложнений и развития хронического болевого синдрома. Оценка результата лечения была осуществлена через 2 года после операции: по шкале AOFAS — 86 баллов, объем движений в голеностопном суставе составил 0°–0°–30° [5]. На наш взгляд, при одномоментной пластике высока вероятность развития инфекционных осложнений, так как обнажается большой участок большеберцовой кости в контаминированной ране, также могут возникнуть сложности с моделированием медиальной лодыжки. Но мы солидарны с авторами в том, что уменьшается необходимость травматизации каких-либо донорских участков, это положительно влияет на послеоперационное восстановление пациентов.

Наиболее доступной методикой является реконструкция методом скользящей остеотомии, но при этом повышается риск инфекционных осложнений за счет дополнительной травматизации костной ткани в зоне контаминации, а также ограничены возможности моделирования медиальной лодыжки. Применение микрохирургической

техники значительно повышает возможности реконструкций любой сложности, но существенно увеличивает время хирургического вмешательства и требования к оперирующей бригаде. Данная методика показана при дефектах мягких тканей, требующих выполнения пластики.

Нераскрытым остается вопрос применения аддитивных технологий для реконструкции медиальной лодыжки. На текущий момент отсутствует опыт применения подобных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Редкость травмы обуславливает невозможность проведения больших исследований для определения оптимальной методики коррекции, но литература постепенно пополняется новыми данными, которые расширяют опыт лечения подобных травм. При травматическом дефекте медиальной лодыжки оптимальным методом лечения, по нашему мнению, является реконструкция свободным аутооттрансплантатом из гребня подвздошной кости. Это позволяет сформировать трансплантат необходимых размеров и формы, при этом минимизируя риск развития послеоперационных осложнений.

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.

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и изображений.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Anderson T.B., Bae A.S., Kelly J., Antekieier D.P. Treatment of Open Traumatic Medial Malleolus Bone Loss With Osteochondral Allograft: A Case Report. *Cureus*. 2022;14(11):e31755. doi: 10.7759/cureus.31755.
- Wu S.P. Clinical study of reconstructing the medial malleolus with free grafting of fibular head composite tendon bone flap. *Chin J Traumatol*. 2008;11(1):34–36.
- Nithyananth M., Cherian V.M., Jepeganatham T.S. Reconstruction of traumatic medial malleolus loss: A case report. *Foot Ankle Surg*. 2010;16(2):e37–39. doi: 10.1016/j.fas.2009.07.004.
- Liu X., Zhang C., Wang C., Liu G., Liu Y. [Repair and reconstruction of traumatic defect of medial malleolus in children]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2009;23(4):444–447. (In Chinese).
- Huang D., Wang J., Ye Z., Liu H., Huang J. Reconstruction of traumatic medial malleolus loss using the bone sliding technique: A case report. *Int J Surg Case Rep*. 2022;90:106677. doi: 10.1016/j.ijscr.2021.106677.
- Bonnin J.G. Injury to the ligaments of the ankle. *J Bone Joint Surg Br*. 1965;47(4):609–611.

7. Boyer M.I., Bowen V., Weiler P. Reconstruction of a severe grinding injury to the medial malleolus and the deltoid ligament of the ankle using a free plantaris tendon graft and vascularized gracilis free muscle transfer: case report. *J Trauma*. 1994;36(3):454-457. doi: 10.1097/00005373-199403000-00042.
8. Wu S.P., Zhang F.H., Yu F.B., Zhou R. Medial malleolus and deltoid ligament reconstruction in open ankle fractures with combination of vascularized fibular head osteo-tendinous flap and free flap transfers. *Microsurgery*. 2009;29(8):630-635. doi: 10.1002/micr.20689.

Сведения об авторах

✉ Косицын Георгий Михайлович
 Адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10
<https://orcid.org/0000-0002-3772-7946>
 e-mail: og-o@mail.ru

Мурсалов Анатолий Камалович
<https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>
 e-mail: tamerlanmursalov@gmail.com

Дзюба Алексей Михайлович
<https://orcid.org/0000-0001-7718-1872>
 e-mail: minzdrav2008@mail.ru

Authors' information

✉ Georgii M. Kositsyn
 Address: 10, Priorova st., Moscow, 127299, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-3772-7946>
 e-mail: og-o@mail.ru

Anatolii K. Mursalov
<https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>
 e-mail: tamerlanmursalov@gmail.com

Aleksei M. Dzyuba
<https://orcid.org/0000-0001-7718-1872>
 e-mail: minzdrav2008@mail.ru



Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения

Д.А. Шулепов, Е.П. Сорокин, Н.С. Коновальчук, Е.А. Пашкова, К.А. Демьянова

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

Введение. Диагностика и лечение пациентов с хронической задней и заднелатеральной нестабильностью коленного сустава является одной из малоизученных проблем современной ортопедии. Связано это с достаточно низкой частотой встречаемости данной патологии, а также со сложностью анатомического строения связочно-сухожильных структур заднелатерального отдела коленного сустава. Неизменно возрастающее число зарубежных публикаций, посвященное данной теме, говорит о том, что на данный момент нет единого подхода к тактике хирургического лечения пациентов данной категории.

Цель обзора — на основе анализа научной литературы оценить основные тренды хирургического лечения заднелатеральной ротационной нестабильности в зависимости от степени вовлеченности в патологический процесс различных анатомических структур.

Результаты. Несмотря на большое количество методик хирургического лечения повреждений заднелатерального угла при анализе современных публикаций можно выделить несколько основных тенденций развития хирургических методов лечения заднелатеральной нестабильности коленного сустава. При заднелатеральной нестабильности 1-го типа оптимальной является изолированная артроскопическая пластика задней крестообразной связки. При нестабильности 3-го и 4-го типов на сегодняшний день анатомические методики типа Larson и LaPrade полностью вытеснили методики неанатомической реконструкции заднелатерального угла. Кроме того, в последние годы появилось большое количество публикаций, посвященных артроскопическим методикам выполнения подобных операций. Наибольшую проблему вызывает вопрос об объеме оптимальным выполнении таким пациентам пластики задней крестообразной связки, дополненной пластикой сухожилия подколенной мышцы, выполненными артроскопическим способом.

Заключение. Анализ литературы показал, что наименее освященным является вопрос об объеме и способе хирургического вмешательства при заднелатеральной нестабильности 2-го типа. Наиболее подходящим мы считаем выполнение таким пациентам пластики задней крестообразной связки, дополненной пластикой сухожилия подколенной мышцы, выполненной артроскопическим способом.

Ключевые слова: артроскопия коленного сустава, заднелатеральная ротационная нестабильность, заднелатеральный угол, сухожилие подколенной мышцы.

Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А. Заднелатеральная ротационная нестабильность коленного сустава: эволюция и современные тренды хирургического лечения. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):111-122. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2007>.

Шулепов Дмитрий Александрович; e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Рукопись получена: 19.12.2022. Рукопись одобрена: 16.01.2023. Статья опубликована онлайн: 03.02.2023.

© Шулепов Д.А., Сорокин Е.П., Коновальчук Н.С., Пашкова Е.А., Демьянова К.А., 2023



Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment

Dmitrii A. Shulepov, Evgenii P. Sorokin, Nikita S. Konovalchuk, Ekaterina A. Pashkova, Ksenia A. Demyanova

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

Background. Diagnostics and treatment of patients with chronic posterior and posterolateral instability of the knee is one of the most understudied problems of modern orthopedics. This is due to rather low frequency of this pathology, as well as to complex anatomy of tendoligamentous structures of the posterolateral part of the knee joint. Steadily increasing number of foreign publications dedicated to this topic say that there is no common approach to the tactics of surgical treatment of patients of this category at the moment.

Aim of review — to evaluate the main trends of surgical treatment of this pathology according to the stage of involvement of various anatomical structures responsible for posterolateral rotational instability in the pathologic process.

Results. Despite a large number of methods of surgical treatment of posterolateral corner injuries, when analyzing modern publications, several main trends concerning posterolateral instability of the knee joint can be identified. In case of type 1 posterolateral instability, an isolated arthroscopic posterior cruciate ligament plasty is the most optimal. As for types 3 and 4, today such anatomical techniques as Larson and LaPrade have completely replaced the methods of non-anatomical reconstruction of the posterolateral corner. In addition, a large number of publications have recently appeared concerning arthroscopic techniques of these surgeries. The most important problem concerns the extent and the methods of surgical intervention in case of type 2 instability. Authors of the article consider that an arthroscopic posterior cruciate ligament plasty combined with popliteal tendon plasty is the most optimal for such category of patients.

Conclusion. The actual problem is the question of the method of surgical treatment in case of type 2 instability. The optimal technique for such patients is arthroscopic posterior cruciate ligament plasty combined with popliteal tendon plasty.

Keywords: knee arthroscopy, posterolateral knee instability, posterolateral corner, popliteal tendon.

Cite as: Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A. [Posterolateral Rotational Knee Instability: Evolution and Current Trends in Surgical Treatment]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):111-122. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2007>.

✉ Dmitrii A. Shulepov; e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Submitted: 19.12.2022. Accepted: 16.01.2023. Published Online: 03.02.2023.

© Shulepov D.A., Sorokin E.P., Konovalchuk N.S., Pashkova E.A., Demyanova K.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Одной из малоизученных проблем современной хирургии коленного сустава является диагностика и лечение пациентов с хронической задней и заднелатеральной нестабильностью коленного сустава. Связано это, с одной стороны, с достаточно низкой частотой встречаемости данной патологии, а с другой стороны, — со сложностью анатомического строения связочно-сухожильных структур заднелатерального отдела коленного сустава.

Большинство авторов сходятся во мнении, что возникновение заднелатеральной ротационной нестабильности связано с повреждением не только задней крестообразной связки (ЗКС), но и структур заднелатерального угла (ЗЛУ) [1, 2]. До настоящего времени понимание анатомии заднелатерального угла и входящих в него анатомических структур является дискуссионным, а понятие «заднелатеральный угол» называется «темным пятном» в функциональной анатомии коленного сустава [1, 3, 4].

Цель обзора — на основе анализа научной литературы оценить основные тренды хирургического лечения заднелатеральной ротационной нестабильности в зависимости от степени вовлеченности в патологический процесс различных анатомических структур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск литературы был выполнен в базах данных PubMed/MEDLINE и eLIBRARY по результатам запросов от сентября 2022 г. Для поиска в PubMed использовались следующие ключевые слова: posterolateral reconstruction, arthroscopic posterolateral reconstruction, PLC reconstruction, posterolateral corner reconstruction, popliteus reconstruction, arthroscopic popliteus reconstruction. Для поиска в eLIBRARY: заднелатеральный угол, реконструкция заднелатерального угла, пластика заднелатерального угла, заднелатеральная нестабильность коленного сустава. Мы сознательно не включили в спектр рассматриваемой патологии варианты сочетанного повреждения передней крестообразной связки и структур заднелатерального угла, поскольку возникающая в этом случае нестабильность коленного сустава носит другой биомеханический характер и не относится к заднелатеральной ротационной нестабильности. Публикации, посвященные этому варианту мультилигаментарной травмы, были исключены из результатов поиска.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анатомия заднелатерального угла и входящих в него структур

Термин «заднелатеральный угол» стал использоваться в 1970–1980 гг. Это понятие включает в себя комплекс анатомических структур, препятствующих варусной девиации и избыточной наружной ротации голени. К анатомическим структурам ЗЛУ принято относить:

- сухожилие подколенной мышцы — *m. popliteum* (СПКМ);
- подколенно-малоберцовую связку — *lig. popliteofibulare* (ПкМС);
- малоберцовую коллатеральную связку — *lig. collaterale fibulare* (МКС);
- по мнению J. Chahla с соавторами и С.Е. Franciozi с соавторами, также дугообразную связку (утолщение заднего отдела капсулы коленного сустава), переднюю менискофemorальную связку, латеральную головку *m. gastrocnemius* и *lig. popliteum* [1, 5].

Первые три анатомические структуры играют основную роль в формировании заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава (рис. 1). Поэтому следует подробнее остановиться на их анатомии и биомеханической функции [1, 6, 7, 8].

Малоберцовая коллатеральная связка представляет собой плотный фиброзно-сухожильный тяж, проходящий по латеральной поверхности коленного сустава. Длина ее составляет около 60 мм [9]. Проксимально зона крепления МКС имеет овальную форму, расположена на латеральном надмыщелке бедренной кости, несколько проксимальнее и кзади от зоны крепления сухожилия подколен-

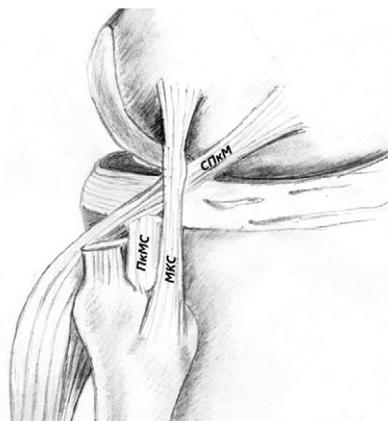


Рис. 1. Основные структуры заднелатерального угла
Fig. 1. Main structures of posterolateral corner

ной мышцы, центр ее крепления практически совпадает с верхушкой латерального надмыщелка. Дистально МКС крепится к малоберцовой кости, овальная зона ее крепления распространяется кпереди и дистально от шиловидного отростка [9, 10, 11]. Основной функцией этой связки является препятствие варусному смещению голени.

Сухожилие подколенной мышцы имеет округлую зону крепления на латеральном надмыщелке бедренной кости кпереди и несколько дистальнее от МКС, далее проходит дистально и, огибая латеральный мыщелок, проходит интраартикулярно позади заднего рога латерального мениска и ниже щели коленного сустава переходит в мышечную часть подколенной мышцы [11]. В биомеханических исследованиях показано, что СПкМ является основной структурой, ограничивающей избыточную наружную ротацию при повреждениях ЗЛУ [8, 11, 12].

Подколенно-малоберцовая связка является одной из наиболее спорных и неоднозначных (как в анатомическом, так и в функциональном плане) структур ЗЛУ. По данным литературы, эта структура встречается более чем в 95% коленных суставов [9, 13]. Представляет собой короткий сухожильный тяж, соединяющий дистальный отдел СПкМ и сухожильно-мышечный переход с областью позади шиловидного отростка малоберцовой кости. Фактически это сухожилие создает дополнительную точку фиксации и стабилизирует протяженное СПкМ при ротационной нагрузке на коленный сустав. По мнению некоторых авторов, ПкМС самостоятельно выполняет важную роль в ограничении избыточной наружной ротации [13, 14, 15]. Однако в экспериментальных анатомических исследованиях встречаются также данные, что изолированное ее рассечение значимо не влияет на ротационную стабильность коленного сустава [12, 16].

Хирургическое лечение заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава

Лечение острых травм с повреждением структур заднелатерального угла

На сегодняшний день нет единого подхода к лечению травм ЗКС и ЗЛУ в остром периоде (до 3 нед. с момента травмы). Опубликованный в 2018 г. консенсус по повреждениям ЗЛУ приводит следующую статистику: 25% опрошенных экспертов поддержали преимущественно консервативную тактику лечения пациентов с острыми мультилигаментарными повреждениями, в то время как 71% высказались за раннее оперативное вмешательство. Более 90% экспертов согласились, что при планировании сроков оперативного лечения следует учитывать такие факторы, как сопутствующие повреждения менисков, нервов и

сосудов, общесоматическое состояние пациента и травма мягких тканей [3]. При этом нет единого мнения об объеме и методах хирургического лечения. Несмотря на явное преимущество операций, проведенных в острый период (возможность восстановления собственных поврежденных структур без использования пластического материала и раннее начало реабилитационного периода), такой подход может приводить к недостаточной оценке объема повреждения связочного аппарата и, как следствие, к послеоперационной остаточной нестабильности сустава. Из современных публикаций, посвященных этой проблеме, наибольшее внимание заслуживает работа J.P. Stannard с соавторами, показавших высокую частоту (37%) неудачных исходов вмешательств, направленных на восстановление поврежденных структур ЗЛУ [17]. В то же время первичная реконструкция и пластика ЗЛУ имела 9% неудовлетворительных результатов. Учитывая столь высокий процент неудач, представляется более рациональным выполнять реконструкцию поврежденных структур при мультилигаментарных повреждениях в отсроченном периоде [18].

Лечение хронической заднелатеральной ротационной нестабильности

Наличие у пациента хронической заднелатеральной нестабильности коленного сустава является показанием к оперативному лечению, что подтверждается мнением абсолютного большинства экспертов [3]. В то же время общего мнения об оптимальном виде оперативного вмешательства на сегодняшний день не существует. Не вызывает сомнений концепция необходимого и достаточного объема оперативного вмешательства — стремление большинства авторов восстанавливать только те структуры, повреждение которых доказано клинически и инструментально.

Нарушение биологической оси конечности может вносить свой вклад в развитие посттравматической нестабильности коленного сустава. Комплексная оценка пациента, включающая при необходимости выполнение телерентгенограмм, позволяет правильно спланировать этапы хирургического лечения. При выявлении на телерентгенограммах варусной деформации нижней конечности первым этапом рекомендуется выполнять тот или иной вариант корригирующей остеотомии для восстановления нормальной оси нижней конечности [19, 20]. В настоящей статье мы не будем останавливаться на этой теме, а обсудим возможные варианты реконструкции капсульно-связочного аппарата коленного сустава.

Проведенные биомеханические исследования показывают, что к возникновению задней нестабильности приводит преимущественно повреждение ЗКС. При дальнейшем усилении

травмирующего агента возникает повреждение структур подколенного комплекса (СПкМ и ПкМС), что приводит к усилению задней нестабильности с одновременным возникновением ротационного компонента — избыточной наружной ротации голени. Наличие варусной нестабильности коленного сустава говорит о повреждении МКС [8]. S. Weiss с соавторами приводят следующую классификацию заднелатеральной ротационной нестабильности коленного сустава, основанную на вышеприведенных данных [2]:

- тип 1 — задняя нестабильность из-за изолированного повреждения ЗКС;
- тип 2 — заднелатеральная ротационная нестабильность без варусной нестабильности (ЗКС и СПкМ/ПкМС повреждены, МКС не повреждена);
- тип 3 — заднелатеральная ротационная нестабильность с варусной нестабильностью (ЗКС, СПкМ/ПкМС и МКС повреждены);
- тип 4 — заднелатеральная ротационная нестабильность с выраженной варусной нестабильностью (ЗКС, СПкМ/ПкМС и МКС повреждены, кроме того, повреждены вторичные стабилизаторы — илиотибиальный тракт, сухожилие двуглавой мышцы и др.).

При оценке нестабильности коленного сустава структурам ЗЛУ уделяется недостаточное внимание, несмотря на то, что их повреждение сопровождается до 16% всех травм колена, а при повреждении ЗКС достигает 70% [21].

На сегодняшний день опубликовано много различных методов хирургического лечения пациентов с заднелатеральной нестабильностью. Безусловно, все предложенные методы подразумевают комбинацию с восстановлением ЗКС. Обзор современных методов пластики ЗКС был опубликован нами ранее [22]. Кроме того, основные тренды пластики ЗКС были подробно описаны S.V.S. Kambhampati с соавторами в 2020 г. [23].

Нами была проведена работа, направленная на создание максимально безопасной методики артроскопической реконструкции ЗКС [24].

Все предложенные типы операций при повреждении ЗЛУ можно разделить на два основных направления: 1) использование местных тканей и создание различных вариантов тенодеза; 2) операции по пластике структур ЗЛУ с использованием алло- и ауто трансплантатов.

Неанатомические методы реконструкции заднелатерального угла. Многие авторы описывали реконструкцию ЗЛУ с использованием лоскута латеральной фасции бедра. Подробно описанные J.C. Hughston, K.E. Jacobson и A. Trillat методы подразумевают использование латеральной головки бицепса, его сухожилия и порции широкой фасции бедра для создания натяжения поврежденных структур ЗЛУ [25, 26].

J.L. Lerat с соавторами предложили создавать натяжение заднелатеральных структур путем транспозиции головки малоберцовой кости и натяжения задней капсулы [27].

G. Bousquet с соавторами предложили два типа реконструкции: малая подколенная реконструкция подразумевала натяжение структур ЗЛУ с использованием «петли» из лоскута сухожилия бицепса, большая подколенная реконструкция — использование Y-образного трансплантата из связки надколенника и сухожилия полусухожильной и нежной мышц [28] (рис. 2).

Свою модификацию большой реконструкции предложили в 1994 г. J.H. Jaeger с соавторами [29] (рис. 3).

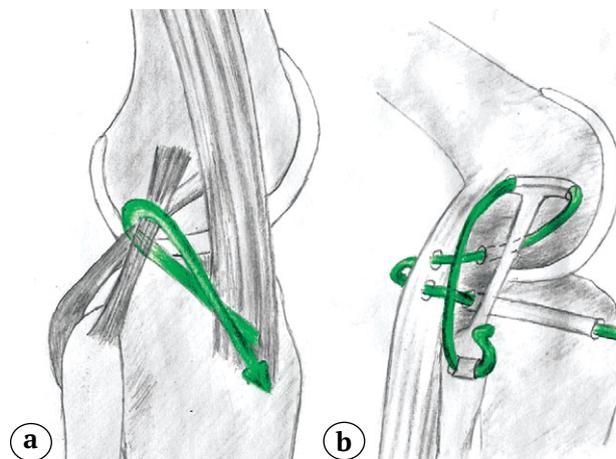


Рис. 2. Схема реконструкции заднелатерального угла по G. Bousquet с соавторами: а — малая реконструкция; б — большая реконструкция

Fig. 2. Scheme of PLC reconstruction according to G. Bousquet et al.: а — small-size reconstruction; б — large-size reconstruction

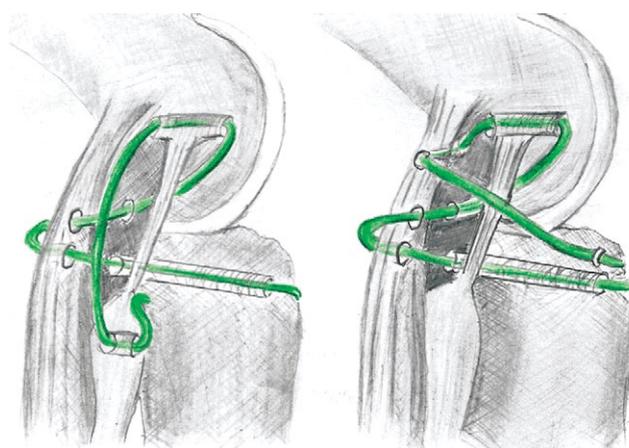


Рис. 3. Схема реконструкции заднелатерального угла по J.H. Jaeger с соавторами

Fig. 3. Scheme of PLC reconstruction according to J.H. Jaeger et al.

Описанные методики имели несколько принципиальных недостатков. Во-первых, изометрия восстановленных структур оперированного сустава значительно отличается от изометрии исходных анатомических структур. Поэтому ротационная стабильность достигается только в положении разгибания, при этом уже в начале и на протяжении всего сгибания происходит уменьшение натяжения структур ЗЛУ, и они не могут контролировать избыточную ротацию голени [30]. Кроме того, такие операции очень травматичны и требуют широких доступов, а значит, возрастает и риск повреждения сосудов и нервов, возникновения послеоперационных контрактур и септических осложнений. Учитывая вышесказанное, вполне объяснимо отсутствие современных публикаций, посвященных выполнению данного вида оперативных вмешательств.

Анатомические методы реконструкции заднелатерального угла. К анатомическим реконструкциям ЗЛУ принято относить операции, направленные на восстановление МКС, СПкМ и ПкМС с использованием алло- или ауто трансплантатов с учетом анатомических зон их крепления, описанных нами выше. Такие реконструкции наиболее устойчивы к заднему и ротационному смещению голени.

Восстановление малоберцовой коллатеральной связки. К переходной от неанатомических к анатомическим операциям можно считать методику, предложенную W.G. Clancy [31]. При этой технике используется сухожилие бицепса, для которого создают дополнительную точку фиксации в зоне анатомического крепления МКС на латеральной мыщелке бедренной кости (рис. 4). Аналогичная техника, но с использованием части сухожилия бицепса, предложена A. Trillat [26].

Сейчас эти методики используются редко, а при изолированной пластике МКС используются трансплантаты из связки надколенника, сухожилий полусухожильной мышцы или аллотрансплантаты [32, 33]. При этом создаются две точки

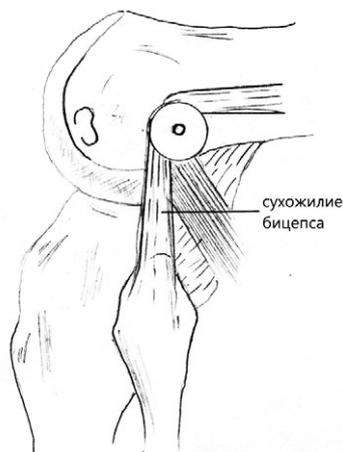


Рис. 4. Техника пластики ЗЛУ по W.G. Clancy
Fig. 4. Technique of PLC plasty according to W.G. Clancy

фиксации трансплантата — на латеральном мыщелке бедренной кости и на головке малоберцовой кости в положении максимального сгибания с дополнительной внутренней ротацией голени. Такой вариант пластики позволяет устранить боковую нестабильность, однако не препятствует избыточной наружной ротации голени.

В связи с этим стали развиваться методики оперативного вмешательства, обеспечивающие ротационную стабильность. Они основываются на пластике ПкМС и/или СПкМ с использованием ауто- или аллотрансплантатов.

Пластика подколенно-малоберцовой связки. В 2001 г. R.V. Larson описал оригинальную технику, пользующуюся популярностью и сегодня [34]. Свободное сухожилие полусухожильной мышцы фиксируется в своей центральной части в сформированном горизонтальном сквозном тоннеле в головке малоберцовой кости, а свободные его концы проходят по обе стороны от головки малоберцовой кости и фиксируются винтом в латеральном мыщелке бедренной кости. Таким образом, формируются как МКС, так и ПкМС. При отсутствии латеральной нестабильности методика предполагает пластику только ПкМС (рис. 5).

В модифицированной C.G. Rios с соавторами технике было предложено фиксировать в бедренной кости ауто трансплантат не в одном, а в двух слепых костных тоннелях: один для реконструкции ПкМС, а другой — для реконструкции МКС [35]. E.P. Но с соавторами в эксперименте сравнили обе

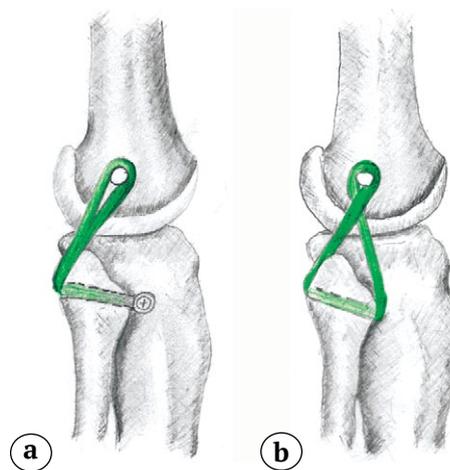


Рис. 5. Методика Larson:
а — изолированная пластика подколенно-малоберцовой связки;
б — пластика подколенно-малоберцовой связки и малоберцовой коллатеральной связки
Fig. 5. Larson's method:
а — isolated popliteofibular ligament plasty;
б — plasty of popliteofibular and lateral collateral ligaments

эти методики [36]. Варусная стабильность обеспечивалась эффективно обеими методиками, но ротационная стабильность была выше при технике с двумя бедренными туннелями. R.A. Arciero в 2005 г. предложил схожую с C.G. Rios с соавторами методику [37], которая в эксперименте на анатомическом материале показала свою эффективность и хорошую стабильность [38]. H. Zhang с соавторами предложили выполнять реконструкцию только ПкМС у пациентов, у которых клинически выявлена только избыточная наружная ротация более чем на 15° без признаков варусной нестабильности. Реконструкция основана на методике Larson с незначительными изменениями. В эксперименте на кадаверах была показана эффективность пластики только СПкМ для ограничения избыточной наружной ротации [39].

Методика Larson имеет ряд преимуществ: универсальность для коррекции как варусной, так и ротационной нестабильности, относительно простая методика выполнения, относительно невысокая стоимость имплантатов для фиксации трансплантата. Это объясняет, почему и по сей день эта техника охотно используется во всем мире и публикуются хорошие отдаленные результаты ее использования [40, 41, 42].

В 2015 г. G. Song с соавторами описали полностью артроскопическую технику пластики ПкМС [43]. Фактически она являлась модификацией Larson, выполненной через 6 артроскопических доступов, в том числе и с выполнением транссептального доступа, описанного J.H. Ahn, C.W. Na в 2000 г. [44]. Методика была описана у одного пациента с хорошим клиническим результатом и возвратом к спорту через 2 года после вмешательства. Полностью артроскопическая пластика по типу Arciero была предложена в 2019 г., однако отдаленных результатов на сегодняшний день не опубликовано [45]. P. Liu с соавторами в 2020 г. показали на кадаверах, что артроскопическую пластику по этой методике возможно выполнить и без применения дополнительного транссептального доступа [46].

Пластика сухожилия подколенной мышцы. Пластика СПкМ возможна как в изолированном виде, так и в комбинации с пластикой МКС. Реконструкция подколенного сухожилия требует формирования сквозного костного туннеля в латеральном мыщелке большеберцовой кости, а проведенное через него сухожилие, огибая мыщелок бедренной кости, крепится в слепом костном туннеле интерферентным винтом в зоне анатомического крепления СПкМ (рис. 6).

Трансплантат фиксируется с максимальным натяжением после пластики ЗКС в положении неполного разгибания ($10\text{--}15^\circ$) в коленном суставе с нейтральной ротацией большеберцовой кости. Это позволяет избежать избыточного ограничения наружной ротации. В 2009 г. H. Feng с соавторами описали полностью артроскопическую процедуру пластики СПкМ [47]. В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами предложили свой вариант артроскопической пластики СПкМ, основываясь на четкой визуализации анатомических ориентиров для установки трансплантата в положении, максимально близком к анатомическому [21]. Предлагалось выполнять эту операцию с формированием шести доступов, в том числе с использованием дополнительного «транссептального» заднего артроскопического доступа. Позиционирование большеберцового и бедренного тоннелей проводилось под артроскопическим контролем. Положение сформированных по такой методике зон фиксации трансплантата достаточно точно повторяло зоны анатомической фиксации нативного СПкМ с ошибкой не более чем на 3 мм [48].

В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами представили клинические результаты предложенной в 2014 г. пластики СПкМ и ЗКС у 19 пациентов (в группу вошли пациенты со 2-м типом повреждений ЗЛУ). Осложнений, связанных с техникой, не выявлено. Заднее смещение большеберцовой кости уменьшилось с $13,3\pm 1,9$ мм (до операции) до $2,9\pm 2,2$ мм. Через год после вмешательства средний балл по опроснику Lysholm составил $88,4\pm 8,7$ баллов [49].

В исследовании биомеханики, опубликованном H. Zhang с соавторами, сравнивалась ротационная стабильность при выполнении техники Larson с реконструкцией подколенного сухожилия. Обе техники показали хорошие результаты, однако, по данным авторов, техника реконструкции СПкМ избыточно ограничивала наружную ротацию голени [39]. В исследовании биомеханики на 18 коленных суставах T.C. Drenck с соавторами пока-

тава с нейтральной ротацией большеберцовой кости. Это позволяет избежать избыточного ограничения наружной ротации. В 2009 г. H. Feng с соавторами описали полностью артроскопическую процедуру пластики СПкМ [47]. В 2016 г. K.H. Frosch с соавторами предложили свой вариант артроскопической пластики СПкМ, основываясь на четкой визуализации анатомических ориентиров для установки трансплантата в положении, максимально близком к анатомическому [21]. Предлагалось выполнять эту операцию с формированием шести доступов, в том числе с использованием дополнительного «транссептального» заднего артроскопического доступа. Позиционирование большеберцового и бедренного тоннелей проводилось под артроскопическим контролем. Положение сформированных по такой методике зон фиксации трансплантата достаточно точно повторяло зоны анатомической фиксации нативного СПкМ с ошибкой не более чем на 3 мм [48].

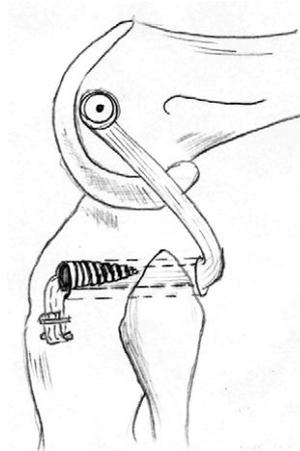


Рис. 6. Схема пластики сухожилия подколенной мышцы

Fig. 6. Scheme of popliteal tendon plasty

зали клиническую и биомеханическую эффективность пластики СПкМ, не уступающую методике Larson [12].

Комбинированные анатомические реконструкции заднелатерального угла. В 2004 г. R.F. LaPrade с соавторами опубликовали методику, позволяющую одновременно реконструировать все три основные структуры ЗЛУ [50]. На сегодняшний день методики, основывающиеся на технике LaPrade, чаще всего носят название «анатомическая реконструкция ЗЛУ». Согласно ей, формируются следующие туннели:

- два туннеля в латеральном мыщелке бедренной кости для фиксации трансплантатов МКС и СПкМ;
- костный тоннель в латеральном мыщелке большеберцовой кости для трансплантата СПкМ;
- горизонтальный туннель в головке малоберцовой кости.

Таким образом, методика, по сути, является комбинацией техники Larson с пластикой СПкМ.

В.В. Хоминец с соавторами в 2020 г. предложили использовать для фиксации трансплантата на костную систему типа TightRope, что позволяло скорректировать натяжение трансплантата и степень ограничения наружной ротации [51].

Техника LaPrade и ее модификации на сегодняшний день получили большое распространение. Ее эффективность доказана в отдаленных результатах многими авторами [5, 40, 41, 52, 53, 54].

В биомеханическом исследовании S. Apsingi с соавторами техники Larson и LaPrade показали сходные результаты варусной и ротационной стабильности [55]. Не получено значимых различий в среднесрочных результатах пластики ЗЛУ между методиками Larson и LaPrade и другими авторами [39, 40]. При этом стоит отметить, что техника LaPrade является более сложной, более травматичной и дорогостоящей (с точки зрения необходимых имплантатов).

В 2019 г. два независимых автора опубликовали разработанные ими модифицированные техники LaPrade: малоинвазивную артроскопически ассистированную, не требующую большого доступа к структурам ЗЛУ [56] и полностью артроскопическую [57]. В 2020 г. В. Freychet с соавторами подробно описали технику артроскопической визуализации основных структур ЗЛУ [58]. В 2022 г. М.М. Sajjadi с соавторами опубликовали свой вариант малоинвазивной пластики по методике LaPrade, предполагающей выполнение двух мини-доступов к зонам анатомического крепления структур ЗЛУ [59]. Несмотря на значительно меньшую травматичность и возможность визуализации зон крепления трансплантатов, представленные методики требуют высоких навыков и отличаются технической сложностью, а отдален-

ных результатов таких вариантов хирургического лечения нет. На сегодняшний день артроскопические и малоинвазивные модификации пластики по LaPrade еще не нашли широкого применения, однако являются перспективным направлением развития малоинвазивной хирургии коленного сустава.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на большое количество методик хирургического лечения повреждений ЗЛУ, на данный момент можно выделить несколько основных тенденций развития хирургии заднелатеральной нестабильности коленного сустава.

Во-первых, на сегодняшний день анатомические методики типа Larson и LaPrade полностью вытеснили методики неанатомической реконструкции ЗЛУ. Во-вторых, в последние годы появилось большое количество публикаций, посвященных артроскопическим методикам выполнения подобных операций. Однако все эти методики либо носят экспериментальный характер, либо не имеют опубликованных отдаленных результатов применения в клинической медицине.

В настоящее время нет единого мнения о том, какая методика оперативного лечения пациентов с данной патологией является наиболее рациональной и достаточной для получения хорошей стабильности коленного сустава. Существует достаточно четкое понимание объема оперативного вмешательства у пациентов с повреждениями 1-го типа (пластика ЗКС без пластики ЗЛУ) [22] и 3–4-го типов (различные модификации пластики типа Larson или LaPrade) [39, 40, 41, 51, 52, 53, 54]. При этом тактика и объем вмешательства при повреждениях 2-го типа неоднозначны и вызывают большое количество дискуссий. Часть авторов предлагают ограничиться только пластикой СПкМ, другая часть — только пластикой ПкМС [34, 46, 47, 48, 49].

Стоит отметить, что философия необходимости и достаточности восстановления только поврежденных структур ЗЛУ позволяет минимизировать травматичность операции, обеспечивая достаточный стабилизирующий эффект оперативного вмешательства.

Авторы статьи разделяют эту точку зрения и придерживаются мнения, что при повреждении ЗЛУ 2-го типа достаточным будет выполнение пластики ЗКС и СПкМ. Мы считаем, что избыточная наружная ротация при отсутствии варусной нестабильности коленного сустава связана в большей степени с повреждением СПкМ. Анатомическая функция ПкМС, по нашему мнению, сводится прежде всего к созданию точки фиксации мобильного СПкМ и жесткой сухожильной конструкции ЗЛУ. При этом изолиро-

ванная пластика СПкМ сама по себе подразумевает фиксацию трансплантата в костном тоннеле на латеральном мышечке большеберцовой кости, что обеспечивает отсутствие избыточной его мобильности. Мы разработали собственную оригинальную методику полностью артроскопической пластики СПкМ и апробировали ее в клинике. Полученные среднесрочные результаты были опубликованы нами в 2020 г. [60] и не уступают таковым у зарубежных авторов [45, 47, 49].

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.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данная методика может рекомендоваться нами как оптимальная для лечения пациентов с повреждением ЗЛУ 2-го типа. Однако она будет являться недостаточной для повреждений 3-го и 4-го типов, которые требуют реконструкций ЗЛУ методами LaPrade или Larson. Данные методики являются сопоставимыми по клиническому эффекту, а выбор одной из них зависит исключительно от предпочтений хирурга.

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. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Chahla J., Moatshe G., Dean C.S., LaPrade R.F. Posterolateral corner of the knee: current concepts. *Arch Bone Jt Surg.* 2016;4(2):97-103.
- Weiss S., Krause M., Frosch K.H. Posterolateral corner of the knee: a systematic literature review of current concepts of arthroscopic reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(12):2003-2012. doi: 10.1007/s00402-020-03607-z.
- Chahla J., Murray I.R., Robinson J., Lagae K., Margheritini F., Fritsch B. et al. Posterolateral corner of the knee: an expert consensus statement on diagnosis, classification, treatment, and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(8):2520-2529. doi: 10.1007/s00167-018-5260-4.
- Geeslin A.G., Moulton S.G., LaPrade R.F. A systematic review of the outcomes of posterolateral corner knee injuries, part 1: surgical treatment of acute injuries. *Am J Sports Med.* 2016;44(5):1336-1342.
- Franciozi C.E., Albertoni L.J.B., Gracitelli G.C., Rezende F.C., Ambra L.F., Ferreira F.P. et al. Anatomic posterolateral corner reconstruction with autografts. *Arthrosc Tech.* 2018;7(2):e89-e95. doi: 10.1016/j.eats.2017.08.053.
- LaPrade R.F., Tso A., Wentorf F.A. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads. *Am J Sports Med.* 2004;32(7):1695-1701. doi: 10.1177/0363546503262694.
- Rosas H.G. Unraveling the Posterolateral Corner of the Knee. *Radiographics.* 2016;36(6):1776-1791. doi: 10.1148/rg.2016160027.
- Domnick C., Frosch K.-H., Raschke M.J., Vogel N., Schulze M., von Glahn M. et al. Kinematics of Different Components of the Posterolateral Corner of the Knee in the Lateral Collateral Ligament-intact State: A Human Cadaveric Study. *Arthroscopy.* 2017;33(10):1821-1830.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.035.
- Тюрюпов М.С., Гайворонский И.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С. Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической задне-латеральной нестабильностью коленного сустава. *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2021; 40(1):71-78. doi: 10.17816/rmmar64488. Tyuryupov M.S., Gaivoronsky I.V., Kudyashev A.L., Bazarov I.S. [Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint]. *Vestnik Rossijskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Russian Military Medical Academy Reports]. 2021; 40(1):71-78. doi: 10.17816/rmmar64488.
- Nannaparaju M., Mortada S., Wiik A., Khan W., Alam M. Posterolateral corner injuries: Epidemiology, anatomy, biomechanics and diagnosis. *Injury.* 2018;49(6):1024-1031. doi: 10.1016/j.injury.2017.10.008.
- Sobrado M.F., Helito C.P., Melo L.D.P., Asperti A.M., Gobbi R.G., Angelini F.J. et al. Anatomical study of the posterolateral ligament complex of the knee: lcl and popliteus tendon. *Acta Ortop Bras.* 2021;29(5):249-252. doi: 10.1590/1413-785220212905241252.

12. Drenck T.C., Preiss A., Domnick C., Herbort M., Frings J., Akoto R. The Popliteus Bypass provides superior biomechanical properties compared to the Larson technique in the reconstruction of combined posterolateral corner and posterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(3):732-741. doi: 10.1007/s00167-020-05987-6.
13. Pękala P.A., Mann M.R., Pękala J.R., Tomaszewski K.A., LaPrade R.F. Evidence-Based Clinical Anatomy of the Popliteofibular Ligament and Its Importance in Orthopaedic Surgery: Cadaveric Versus Magnetic Resonance Imaging Meta-analysis and Radiological Study. *Am J Sports Med.* 2020;49(6):1659-1668. doi: 10.1177/0363546520950415.
14. Plaweski S., Belvisi B., Moreau-Gaudry A. Reconstruction of the Posterolateral Corner After Sequential Sectioning Restores Knee Kinematics. *Orthop J Sports Med.* 2015.12;3(2):232596711557056. doi: 10.1177/2325967115570560.
15. van der Wal W.A., Heesterbeek P.J., van Tienen T.G., Busch V.J., van Ochten J.H., Wymenga A.B. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(1):221-228. doi: 10.1007/s00167-014-3369-7.
16. Pasque C., Noyes F.R., Gibbons M., Levy M., Grood E. The role of the popliteofibular ligament and the tendon of popliteus in providing stability in the human knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(2):292-298. doi: 10.1302/0301-620x.85b2.12857.
17. Stannard J.P., Stannard J.T., Cook J.L. Repair or reconstruction in acute posterolateral instability of the knee: decision making and surgical technique introduction. *J Knee Surg.* 2015;28(6):450-454. doi: 10.1055/s-0035-1563403.
18. Kennedy M.I., Bernhardson A., Moatshe G., Buckley P.S., Engebretsen L., LaPrade R.F. Fibular collateral ligament/posterolateral corner injury: when to repair, reconstruct, or both. *Clin Sports Med.* 2019;38(2):261-274. doi: 10.1016/j.csm.2018.11.002.
19. Cantin O., Magnussen R.A., Corbi F., Servien E., Neyret P., Lustig S. The role of high tibial osteotomy in the treatment of knee laxity: a comprehensive review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015.23(10):3026-3037. doi: 10.1007/s00167-015-3752-z.
20. LaPrade R.F., Wentorf F.A., Fritts H., Gundry C., Hightower C.D. A prospective magnetic resonance imaging study of the incidence of posterolateral and multiple ligament injuries in acute knee injuries presenting with a hemarthrosis. *Arthroscopy.* 2007;23(12):1341-1347. doi: 10.1016/j.arthro.2007.07.024.
21. Frosch K.H., Akoto R., Heitmann M., Enderle E., Giannakos A., Preiss A. Arthroscopic reconstruction of the popliteus complex: Accuracy and reproducibility of a new surgical technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23:3114-3120. doi: 10.1007/s00167-014-3000-y.
22. Кузнецов И.А., Фомин Н.Ф., Шулепов Д.А., Салихов М.Р. Современные подходы к хирургическому лечению хронической задней нестабильности коленного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2015;1(75):95-105. Kuznetsov I.A., Fomin N.F., Shulepov D.A., Salikhov M.R. [The modern approaches to the treatment of chronic posterior instability of the knee (Review)]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia] 2015;1(75):95-105. (In Russian).
23. Kambhampati S.B.S., Vaishya R. Publication trends of PCL in the last 40 years on PubMed. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(Suppl. 3):S354-S361. doi: 10.1016/j.jcot.2019.10.007.
24. Шулепов Д.А., Салихов М.Р., Злобин О.В. Результаты одномоментной артроскопической реконструкции обеих крестообразных связок коленного сустава с использованием модифицированной методики формирования костных тоннелей. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2019;4:12-21. Shulepov D.A., Salikhov M.R., Zlobin O.V. [Mid-term results of multi-ligament posterior and anterior cruciate ligament reconstruction using a modified method of bone tunnels drilling]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2019;4:12-21. (In Russian).
25. Hughston J.C., Jacobson K.E. Chronic posterolateral rotatory instability of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(3):351-359.
26. Trillat A. Posterolateral instability. In: Schultz K.P., Strahl H., Stein W.H., editors. *Late reconstruction of injured ligaments of the knee.* New York: Springer Verlag; 1978. p. 99-105.
27. Lerat J.L., Dejour H., Trillat A. [Treatment problems in old and recent rupture of the lateral knee ligament]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64(3):231-241. (In French).
28. Bousquet G., Charmion L., Passot J.P., Girardin P., Relave M., Gazielly D. [Stabilization of the external condyle of the knee in chronic anterior laxity. Importance of the popliteal muscle]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1986;72(6):427-434. (In French).
29. Jaeger J.H., Balliet J.M., Schlatterer B., Hamdan M. [Surgical treatment of chronic postero-lateral instability of the knee. Techniques, indications, results]. *Acta Orthop Belg.* 1994;60(Suppl. 1):71-80. (In French).
30. Djian P. Posterolateral knee reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015;101(1):S159-S170. doi: 10.1016/j.otsr.2014.07.032.
31. Clancy W.G. LCL Reconstruction. In: Chapman M.W. (ed.). *Operative orthopaedics.* Philadelphia: Lippincott; 1988. p. 1651-1665.
32. Latimer H.A., Tibone J.E., Attrache N.S., McMahon P.J. Reconstruction of the lateral collateral ligament of the knee with patellar tendon allograft. Report of a new technique in combined ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1998;26(5):656-662. doi: 10.1177/03635465980260051001
33. Noyes F.R., Barber-Westin S.D. Posterolateral knee reconstruction with an anatomical bone-patellar tendon-bone reconstruction of the fibular collateral ligament. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):259-273. doi: 10.1177/0363546506293704.
34. Larson R.V. Isometry of the lateral collateral and popliteofibular ligaments and techniques for reconstruction using a free tendon graft. *Oper Tech Sports Med.* 2001;9(2):84-90.
35. Rios C.G., Leger R.R., Cote M.P., Yang C., Arciero R.A. Posterolateral corner reconstruction of the knee: evaluation of a technique with clinical outcomes and stress radiography. *Am J Sports Med.* 2010;38(8):1564-1574. doi: 10.1177/0363546510363462.
36. Ho E.P., Lam M.H., Chung M.M., Fong D.T., Law B.K., Yung P.S. et al. Comparison of 2 surgical techniques for reconstructing posterolateral corner of the knee: a cadaveric study evaluated by navigation system. *Arthroscopy.* 2011;27(1):89-96. doi: 10.1016/j.arthro.2010.06.006

37. Arciero R.A. Anatomic posterolateral corner knee reconstruction. *Arthroscopy*. 2005;21(9):1147. doi: 10.1016/j.arthro.2005.06.008.
38. Treme G.P., Salas C., Ortiz G., Gill G.K., Johnson P.J., Menzer H. et al. A Biomechanical comparison of the Arciero and LaPrade reconstruction for posterolateral corner knee injuries. *Orthop J Sports Med*. 2019;7(4): 2325967119838251. doi: 10.1177/2325967119838251.
39. Zhang H., Zhang J., Liu X., Shen J.W., Hong L., Wang X.S. et al. In vitro comparison of popliteus tendon and popliteofibular ligament reconstruction in an external rotation injury model of the knee: a cadaveric study evaluated by a navigation system. *Am J Sports Med*. 2013;41(9):2136-2142. doi: 10.1177/0363546513495640.
40. van Gennip S., van der Wal W.A., Heesterbeek P.J.C., Wymenga A.B., Busch V.J.J.F. Posterolateral corner reconstruction in combined injuries of the knee: Improved stability with Larson's fibular sling reconstruction and comparison with LaPrade anatomical reconstruction. *Knee*. 2020;27(1):124-131. doi: 10.1016/j.knee.2019.09.008.
41. Sharma A., Saha P., Bandyopadhyay U. Reconstruction of the Posterolateral Corner of the Knee Using LaPrade and Modified Larson Technique: A Prospective Study. *Indian J Orthop*. 2021;56(1):125-132. doi: 10.1007/s43465-021-00435-0.
42. Ng J.W., Ahmad A.R., Solayar G.N. Functional Outcomes Following Posterior Cruciate Ligament and Posterolateral Corner Reconstructions. A Three-year Experience in Seremban, Malaysia. *Malays Orthop J*. 2020;14(2):90-93. doi: 10.5704/MOJ.2007.017.
43. Song G., Zhang H., Zhang J., Li Y., Feng H. Anatomical popliteofibular ligament reconstruction of the knee joints: an all-arthroscopic technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(10):2925-2929. doi: 10.1007/s00167-015-3531-x.
44. Ahn J.H., Ha C.W. Posterior trans-septal portal for arthroscopic surgery of the knee joint. *Arthroscopy*. 2000;16(7):774-779. doi: 10.1053/jars.2000.7681.
45. Frings J., Kolb J.P., Drenck T.C., Krause M., Alm L., Akoto R., Frosch K.H. Anatomic reconstruction of the posterolateral corner: an all-arthroscopic technique. *Arthrosc Tech*. 2019;8(2):e153-e161. doi: 10.1016/j.eats.2018.10.010.
46. Liu P., Gong X., Zhang J., Ao Y. Anatomic, all-arthroscopic reconstruction of posterolateral corner of the knee: a cadaveric biomechanical study. *Arthroscopy*. 2020; 36(4):1121-1131. doi: 10.1016/j.arthro.2019.10.035.
47. Feng H., Hong L., Geng X.S., Zhang H., Wang X.S., Zhang J. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique. *Arthroscopy*. 2009;25(7):800-805. doi: 10.1016/j.arthro.2008.12.019.
48. Krause M., Akoto R., Drenck T.C., Frosch K.H., Preiss A. Posterolateral rotatory knee instability-MRI evaluation of anatomic landmarks for tibial drill tunnel placement in open and arthroscopic popliteus tendon reconstruction. *J Knee Surg*. 2019;32(7):667-672. doi: 10.1055/s-0038-1666832.
49. Frosch K.H., Akoto R., Drenck T., Heitmann M., Pahl C., Preiss A. Arthroscopic popliteus bypass graft for posterolateral instabilities of the knee: a new surgical technique. *Oper Orthop Traumatol*. 2016;28(3):193-203. doi: 10.1007/s00064-015-0432-6.
50. LaPrade R.F., Johansen S., Wentorf F.A., Engebretsen L., Esterberg J.L., Tso A. Analysis of an anatomical posterolateral knee reconstruction: an in vitro biomechanical study and development of a surgical technique. *Am J Sports Med*. 2004;32(6):1405-1414. doi: 10.1177/0363546503262687.
51. Хоминец В.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С., Гранкин А.С., Рикун О.В., Резванцев М.В. и др. Особенности хирургического лечения пациентов с повреждениями крестообразных связок и стабилизаторов задне-наружного угла коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):32-44. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-32-44.
52. Khominets V.V., Kudyashev A.L., Bazarov I.S., Grankin A.S., Rikun O.V., Rezvantsev M.V. et al. [Alternative Techniques of Ligament Reconstruction in Patients with Combined Cruciate and Posterolateral Corner Injuries of the Knee]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(4):32-44. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-32-44.
53. Fang K., Dai Z., Lin X. Effect of modified Laprade technique on posterolateral ligament injury of knee. *Eur J Med Res*. 2022;27(1):171. doi: 10.1186/s40001-022-00764-2.
54. Pache S., Sienna M., Larroque D., Talamás R., Aman Z.S., Vilensky E. et al. Anatomic Posterolateral Corner Reconstruction Using Semitendinosus and Gracilis Autografts: Surgical Technique. *Arthrosc Tech*. 2021;10(2):e487-e497. doi: 10.1016/j.eats.2020.10.033.
55. Головаха М.Л., Диденко И.В., Красноперов С.Н., Орлянский В. Результаты лечения комбинированных повреждений задней крестообразной связки и структур заднелатерального угла коленного сустава. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2018; 4(613):92-101. doi: 10.15674/0030-59872018492-101.
56. Golovakha M.L., Didenko I.V., Krasnoperov S.N., Orljanski W. [The results of treatment of combined injuries of the posterior cruciate ligament and structures of the posterior lateral corner of the knee joint]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 2018;4(613):92-101. doi: 10.15674/0030-59872018492-101. (In Russian).
57. Apisingi S., Nguyen T., Bull A.M., Unwin A., Deehan D.J., Amis A.A. A comparison of modified Larson and 'anatomic' posterolateral corner reconstructions in knees with combined PCL and posterolateral corner deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(3):305-312. doi: 10.1007/s00167-008-0696-6.
58. Hermanowicz K., Malinowski K., Góralczyk A., Guszczyn T., LaPrade R.F. Minimally Invasive, Arthroscopic-Assisted, Anatomic Posterolateral Corner Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2019;8(3):e251-e257. doi: 10.1016/j.eats.2018.10.021.
59. Kolb J. P., Frings J., Krause M., Hartel M., Frosch K.H. An All-Arthroscopic Technique for Complex Posterolateral Corner Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2019; 8(9):e999-e1006. doi: 10.1016/j.eats.2019.05.010.
60. Freychet B., Sonnery-Cottet B., Vieira T.D., Sanders T.L., Kennedy N.I., Krych A.J. et al. Arthroscopic Identification of the Knee Posterolateral Corner Structures and Anatomic Arthroscopic Posterolateral Corner Reconstruction: Technical Note - Part 1. *Arthrosc Tech*. 2020;9(12):e1977-e1983. doi: 10.1016/j.eats.2020.08.026.
61. Sajjadi M.M., Behroozi A., Matini S.A. A Modified LaPrade Technique in Posterolateral Corner Reconstruction of the Knee. *Arthrosc Tech*. 2022;11(3):e413-e417. doi: 10.1016/j.eats.2021.11.010.

60. Шулепов Д.А., Салихов М.Р., Злобин О.В. Метод артроскопического оперативного лечения пациентов с заднелатеральной ротационной нестабильностью коленного сустава. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(5). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30220>.

Shulepov D.A., Salihov M.R., Zlobin O.V. [Arthroscopic surgical treatment of patients with posterolateral knee instability]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovania* [Modern Problems of Science and Education. Surgery]. 2020;(5). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30220>.

Сведения об авторах

✉ Шулепов Дмитрий Александрович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-6297-0710>
e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Сорокин Евгений Петрович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>
e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Коновальчук Никита Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>
e-mail: konovalchuk91@gmail.com

Пашкова Екатерина Анатольевна
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Демьянова Ксения Андреевна
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ksunyablack@yandex.ru

Authors' information

✉ Dmitrii A. Shulepov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427,
Russia
<https://orcid.org/0000-0002-6297-0710>
e-mail: dr.shulepov@gmail.com

Evgenii P. Sorokin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9948-9015>
e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Nikita S. Konovalchuk — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>
e-mail: konovalchuk91@gmail.com

Ekaterina A. Pashkova
<https://orcid.org/0000-0003-3198-9985>
e-mail: caterinapashkova@yandex.ru

Ksenia A. Demyanova
<https://orcid.org/0000-0002-2239-2792>
e-mail: ksunyablack@yandex.ru



Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы

М.В. Михайловский, А.Ю. Сергунин

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

Актуальность. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана на настоящий момент изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза в норме и при ювенильных кифозах как в до- и в послеоперационном периодах, а также связи этих изменений с позвоночно-тазовыми параметрами. Практически нет информации о корреляции состояния шейного лордоза с развитием проксимальных переходных кифозов.

Цель публикации — на основании анализа литературы определить особенности состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в до- и послеоперационном периодах.

Результаты. Данные литературы не позволяют четко очертить границы нормы при количественной оценке шейного лордоза. Единственное, в чем сходятся все исследователи, — шейный лордоз следует рассматривать дискретно, а именно — на уровнях C1–C2 и C2–C7. Наиболее часто используемыми параметрами шейно-грудного перехода являются наклон Th1 позвонка, наклон входа в грудную клетку (TIA) и положение сагиттальной вертикальной оси (SVA). Величина шейного лордоза при болезни Шойермана варьирует от 4° до 35°, т.е. увеличение грудного кифоза далеко не всегда сопровождается развитием компенсаторного шейного гиперлордоза. При грудных деформациях (вершина на уровне T10 и краниальнее) величина шейного лордоза значительно превышает таковую при грудно-поясничных деформациях (вершина на уровне T11 и каудальнее). В первом случае шейный лордоз (C2–C7) составляет 19,4–26,2°, во втором — 4,7–8,5°. Весьма немногочисленные литературные данные демонстрируют, что в аспекте динамики шейного лордоза пациенты с болезнью Шойермана — это не гомогенная группа, и единственная закономерность заключается в том, что в отдаленном послеоперационном периоде шейный лордоз незначительно увеличивается. Позвоночно-тазовые параметры у пациентов с болезнью Шойермана мало отличаются от нормальных показателей и практически не меняются после корригирующих вмешательств. Не удалось найти работ, в которых предпринята попытка увязать риск развития проксимального переходного кифоза с параметрами шейно-грудного перехода (Th1, TIA, SVA).

Заключение. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с тяжелыми формами болезни Шойермана, подлежащими оперативной коррекции, изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза, его динамики в послеоперационном периоде, связи с позвоночно-тазовыми параметрами, а также взаимозависимости параметров переходного шейно-грудного отдела с развитием проксимальных переходных кифозов. Необходимы новые исследования в этом направлении.

Ключевые слова: болезнь Шойермана, шейный отдел позвоночника, шейный лордоз, ювенильный кифоз, хирургическое лечение.

Михайловский М.В., Сергунин А.Ю. Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):123-134. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2040>.

Михайловский Михаил Витальевич; e-mail: MMihailovsky@niito.ru

Рукопись получена: 26.12.2022. Рукопись одобрена: 26.01.2023. Статья опубликована онлайн: 09.03.2023.

© Михайловский М.В., Сергунин А.Ю., 2023



Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review

Mikhail V. Mikhaylovskiy, Alexander Yu. Sergunin

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

Background. The state of the cervical spine in patients with Scheuermann's disease has still not been studied enough. This concerns the magnitude of cervical lordosis in the norm and in juvenile kyphosis in both pre- and postoperative periods, as well as the relationship of these changes with the spinopelvic parameters. There is almost no information on the correlation between the state of cervical lordosis and the development of proximal transitional kyphosis.

Aim of the study. To determine the features of the cervical spine in patients with Scheuermann's disease in the pre- and postoperative periods by analyzing the literature data.

Results. The literature data do not allow us to clearly define the limits of normal in the quantitative assessment of cervical lordosis. The only thing all researchers agree on is that the cervical lordosis should be considered discretely, namely at the C1-C2 and C2-C7 levels. The most commonly used parameters of the cervical-thoracic junction are T1 slope, thoracic inlet angle (TIA) and position of the sagittal vertical axis (SVA).

The magnitude of cervical lordosis in Scheuermann's disease varies from 4° to 35°, i.e., thoracic kyphosis increase is not always accompanied by the development of compensatory cervical hyperlordosis. In thoracic deformities (the apex is at the level of T10 and cranial), the magnitude of cervical lordosis is significantly greater than that in thoracolumbar deformities (the apex is at the level of T11 and caudal). In the first case, the cervical lordosis (C2-C7) is 19.4-26.2°, while in the second one — 4.7-8.5°.

Very few literature data demonstrate that in terms of cervical lordosis dynamics, patients with Scheuermann's disease do not represent a homogeneous group. The only pattern is that the cervical lordosis increases slightly in the long-term postoperative period. The spinopelvic parameters in patients with Scheuermann's disease differ little from the normal ones and almost do not change after corrective interventions. We could not find any publications attempting to relate the risk of PJK to cervical-thoracic junction parameters (T1, TIA, SVA).

Conclusion. The state of the cervical spine in patients with severe forms of Scheuermann's disease, subject to surgical correction, has not been studied enough. This concerns the magnitude of cervical lordosis, its dynamics in the postoperative period, its relationship with spinopelvic parameters, as well as the correlation between parameters of transitional cervical-thoracic spine and development of proximal transitional kyphoses. Further studies of this problem are needed.

Keywords: Scheuermann's disease, cervical spine, cervical lordosis, juvenile kyphosis, surgical treatment.

Cite as: Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu. [Cervical Spine in Scheuermann's Disease: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):123-134. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2040>.

✉ Mikhail V. Mikhaylovskiy; e-mail: MMihailovsky@niito.ru

Submitted: 26.12.2022. Accepted: 26.01.2023. Published Online: 09.03.2023.

© Mikhaylovskiy M.V., Sergunin A.Yu., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Деформацию позвоночника Н. Scheuermann в своей классической работе назвал «кифозом подмастерьев» (apprentice kyphosis) [1]. Ее клинические проявления и рентгеновское отображение были описаны в свое время самым детальным образом [2, 3]. Правда, все это относилось к грудному и поясничному отделам позвоночника, поскольку именно здесь формировались и прогрессировали кифотическая дуга со сколиотическим компонентом или без такового и компенсаторное сагиттальное противоискривление. Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана исследователей как будто не интересовало. В первых обзорах по проблеме ювенильных кифозов шейный отдел позвоночника даже не упоминается [4, 5]. S. Voutsinas и G. MacEwen, изучавшие сагиттальный профиль позвоночного столба у молодых здоровых субъектов, рассматривали только грудной и поясничный отделы позвоночника и наклон крестца (sacral inclination) [6]. Интерес к состоянию шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана возник позднее, но пока в научной литературе больше вопросов, нежели ответов. Так, проблему величины шейного лордоза в норме нельзя считать окончательно решенной в силу достаточно противоречивых данных литературы [7, 8, 9]. Крайне ограничена информация, касающаяся изменений шейного лордоза у пациентов с болезнью Шойермана как в до-, так и в послеоперационном периодах [10, 11, 12], а также связи этих изменений с позвоночно-тазовыми параметрами [13, 14], грудным кифозом и поясничным лордозом [15]. Практически нет информации о связи состояния шейного лордоза с развитием проксимальных переходных кифозов у больных с болезнью Шойермана.

Цель публикации — на основании анализа литературы определить особенности состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в до- и послеоперационном периодах.

Рентгенографические параметры шейного отдела позвоночника

Зона шейно-грудного перехода, в которой стыкуются мобильный шейный и ригидный грудной отделы позвоночника аналогична пояснично-крестцовому отделу — стыку монолитного крестца и мобильного поясничного отдела позвоночника. Вполне логично, что любые отклонения от нормы в этой зоне сказываются на состоянии (форма, положение) вышележащих отделов позвоночного столба. Определен и широко используется целый набор рентгенограмметрических параметров. Польские исследователи P. Janusz с соавторами свели все известные показатели воедино и разбили их на четыре подгруппы [11]:

- Шейные параметры: шейная сагиттальная вертикальная ось (sagittal vertical axis — SVA), шейный лордоз (C2–C7); полный шейный лордоз (C1–C7); угол C1–C2, угол абсолютной ротации C2–C7 — между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам C2 и C7 позвонков; угол относительной ротации C2–C7 между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам двух соседних позвонков на пяти уровнях от C2–C3 до C6–C7.

- Параметры входа в грудную клетку: угол входа в грудную клетку (TIA — thoracic inlet angle); наклон Th1 позвонка (Th1 slope); наклон шеи — угол, формируемый линией, идущей от краниального конца грудины, и линией, соединяющей центр верхней замыкательной пластинки Th1 позвонка и верхний конец грудины.

- Краниальные параметры: угол C0–C2 (угол между линией McRae и нижней замыкательной пластинкой C2), угол C0 (угол между плоскостью Frankfort и линией McRae, смещение черепа — расстояние между линией отвеса, опущенной от C7 позвонка, и теоретическим центром гравитации головы на 8 мм фронтальнее ушного канала; краниальный наклон — угол между линией, проведенной из центра верхней замыкательной пластинки Th1 позвонка к зубу C2, и вертикалью из центра верхней замыкательной пластинки тела Th1 позвонка.

- Грудо-поясничные параметры: грудной кифоз (угол Кобба Th4–Th12), грудо-поясничный кифоз (угол Кобба Th11–L1), поясничный лордоз (угол Кобба L1–S1).

В этот список не внесены пояснично-тазовые параметры — индекс таза (PI), угол наклона таза (PT) и пояснично-крестцовый угол (SS). Но рядом исследователей они также использовались при оценке состояния шейного отдела позвоночника, в том числе при болезни Шойермана [13, 14, 16].

Шейный отдел позвоночника в норме

A. Borden с соавторами в 1960 г. сделали первую попытку дать количественную оценку шейного лордоза по рентгенограммам 180 человек, не предъявлявших жалоб на состояние шейного отдела позвоночника [17]. Судя по всему, метод Cobb (точнее, Lippmann), описанный в 1948 г. [18], авторам был неизвестен, и они использовали собственный. Первая прямая линия проводится от задневерхнего края зубовидного отростка C2 позвонка до задневерхнего угла тела C7 позвонка. Вторая линия проводится по задним замыкательным пластинкам тел C2–C6 позвонков и имеет, соответственно, вид полуовала. Третья линия — перпендикуляр к первой в месте ее наибольшего отстояния от второй, и ее длина в миллиметрах показывает глубину шейного лордоза. Средняя длина

этой линии в 98% случаев составила 11,8 мм, причем в 13 случаях лордоз был сглажен. В оставшихся трех случаях выявлен шейный кифоз. Через год та же группа авторов опубликовала похожие данные — глубина шейного лордоза составила 12,5 мм [19].

D. Gore с соавторами исследовали шейный лордоз у 200 человек, не предъявлявших каких-либо жалоб. Измерялся угол между линиями, проведенными по дорсальным замыкательным пластинкам C2 и C7 позвонков. В возрастной группе 20–25 лет его величина составила в среднем 15° у женщин и 16° у мужчин, в группе 30–35 лет — 16° и 21° соответственно [20].

J. Hardacker с соавторами обследовали 100 человек, разделенных на две равные группы. В группе 1 (средний возраст — 38,4 года) обследуемые не предъявляли жалоб, в группе 2 (38,6 года) они отмечали боли в поясничном отделе позвоночника. Общая величина шейного лордоза, измеренного по Cobb от C0 до C7, составила для общей группы в 100 человек 40°. Статистически значимой разницы между группами не выявлено. Большая часть лордоза отмечена на уровне C1–C2 (31,9°), и только 6° (15% от общего объема) — на уровне C4–C7 позвонков [8].

D. Harrison с соавторами сравнили информативность двух методов количественной оценки шейного лордоза — метода Cobb и дорсального тангенциального метода Harrison. Стандартный метод Cobb (C1–C7 и C2–C7) они сопоставили с измерением суммы углов, образуемых линиями, проведенными через дорсальные замыкательные пластинки C2–C7 позвонков. Оказалось, что при использовании метода Cobb угол C1–C7 составляет 54°, а угол C2–C7 — всего 17°. Метод Harrison позволил определить величину шейного лордоза — 26°. Поскольку угол между каудальной и дорсальной замыкательными пластинками тел шейных позвонков не равен 90°, величина лордоза на уровнях C2–C3, C4–C5 и C6–C7 оказывается заниженной. Оба метода авторы расценивают как достоверные, но тангенциальный метод, по их мнению, дает меньшую стандартную ошибку. Метод Cobb оценивает лордоз в целом и не дает представления о том, что происходит «внутри» него. Тангенциальный метод учитывает наклон каждого позвонка, что позволяет анализировать состояние шейного отдела позвоночника посегментно. Поэтому D.E. Harrison с соавторами расценивают свой метод как инженеринговый анализ (первая производная), имеющий преимущество по сравнению с методом Cobb [9].

K. Nojiri с соавторами обследовали группу из 313 здоровых людей (155 мужчин, 158 женщин) и выяснили, что угол C0–C2 составляет в среднем 14,5° (кифоз) у мужчин и 16° у женщин, угол

C1–C2 — 26,5° и 28,9°, а угол C2–C7 — 16,2° и 10,5° соответственно. Эти различия статистически достоверны и должны учитываться при планировании операции в области краниовертебрального перехода [7].

C. Kuntz с соавторами представили обзор данных литературы (результаты измерения шейного лордоза по трем публикациям) и сообщили усредненные значения трех параметров: C0–C2 — 14°, C1–C2 — 29°, C2–C7 — 17° [21].

S. Erkan с соавторами исследовали влияние сагиттального профиля шейного отдела позвоночника на грудной кифоз. Для этого они сформировали две группы пациентов: группа 1 — 68 человек, лечившихся по поводу патологии нижних конечностей, шейный лордоз сглажен; группа 2 — 160 человек с физиологическим шейным лордозом. В группе 1 величина лордоза (C2–C7) составила в среднем 2,4°, в группе 2 — 18,2° (использовался тангенциальный метод Harrison). Авторы подчеркивают отсутствие единого определения нормального шейного лордоза, поэтому они избрали величину $\pm 4^\circ$ как возможную ошибку измерения с 95% доверительным интервалом и определили, что физиологический шейный лордоз меньше -4° , а шейный кифоз больше $+4^\circ$. «Серая зона» между -4° и $+4^\circ$ определена как «потеря шейного лордоза» [22].

S.H. Lee с соавторами обследовали 77 здоровых волонтеров в возрасте 21–50 лет методом Cobb и выяснили, что угол C0–C2 составил 22,4°, а C2–C7 — 9,9° (соотношение 77:23) [16].

V. Blondel с соавторами, обследовав 55 здоровых волонтеров, выявили связь шейного лордоза (C2–C7) с возрастом. Для возрастных групп 20–39, 40–69 и 60 лет и старше величина лордоза составляла 9,4°; 6,6° и 22,0° соответственно [23].

L. Jiang с соавторами сравнили позвоночно-тазовые параметры у пациентов с болезнью Шоейрмана у здоровых подростков. В группе здоровых средняя величина шейного лордоза составила всего 2° [15].

Шейно-грудной переход в норме

Изучение этого вопроса, насколько мы можем судить, началось в первом десятилетии XXI в.

R. Loder не обнаружил корреляции между величинами шейного и грудного отделов позвоночника, но выявил ее между величиной шейного и поясничного лордоза и между шейным лордозом и разницей грудного и поясничного лордоза (угол Кобба грудного кифоза минус угол Кобба поясничного лордоза). R. Loder подчеркивал, что гибкие шейный и поясничный отделы позвоночника крепятся к ригидному грудному отделу. Если разница грудного и поясничного лордоза становится более кифотической, шейный лордоз усиливается для сохранения горизонтального взора [24].

P. Knott с соавторами были, вероятно, первыми, кто обратил внимание на информативность такого показателя, как наклон Th1 позвонка. Они подчеркнули важность этого параметра при оценке сагиттального баланса, т.к. он, по их данным, наиболее строго коррелирует с сагиттальной вертикальной осью (sagittal vertical axis — SVA). Авторы отметили, что нормальный наклон Th1 позвонка не определен (и ситуация до сих пор не изменилась), но обнаружили, что если наклон Th1 превышает 25°, то всех случаях SVA смещается вперед больше чем на 10 см, а при негативном сагиттальном балансе наклон Th1 обычно меньше 13°. При этом, если величина наклона Th1 находится в промежутке между 13° и 25°, это не является гарантией нормального сагиттального баланса [25].

J. Smith с соавторами, исследовавшие эффект транспедикулярной субтракционной остеотомии (pedicle subtraction osteotomy — PSO), выявили нормализацию сагиттального баланса (SVA, наклон C7–Th12) и корреляцию наклона Th1 позвонка с изменениями шейного отдела позвоночника. В том же году S.H. Lee с соавторами выявили наличие сильной корреляции между наклоном Th1 позвонка, величиной лордоза C2–C7, C0–C2 и углом входа в грудную клетку (thoracic inlet angle — TIA). Последний показатель строго связан с краниоцервикальным сагиттальным балансом. Чтобы сохранить наклон шеи под углом 44°, TIA увеличивает наклон Th1 и шейный лордоз и наоборот [26]. По мнению J.S. Smith с соавторами, TIA и наклон Th1 позвонка могут быть использованы как параметры предсказания физиологического контура шейного отдела позвоночника [27].

По данным P. Janusz с соавторами, при грудных ювенильных кифозах наклон Th1 позвонка больше, чем при грудно-поясничных. Это же относится к шейному лордозу и TIA. Основные изменения сагиттального контура шейного отдела позвоночника отмечены на уровнях C4–C5 и C5–C6 сегментов. На уровнях C0–C2 и C1–C2 изменения минимальны. Компенсация шейного отдела позвоночника происходит за счет субаксиальных отделов [11].

S.H. Lee с соавторами подчеркивают, что наклон Th1 позвонка строго коррелирует с TIA и величиной грудного кифоза, которая, в свою очередь, является ключевым фактором шейного баланса. Тазовые параметры и TIA определяют баланс шейного отдела позвоночника через наклон Th1 позвонка. Большой наклон Th1 позвонка требует увеличения шейного лордоза для поддержания баланса последнего [16].

L. Nasto с соавторами констатировали корреляцию между углом C2–C7 и наклоном Th1 позвон-

ка. До операции наклон Th1 коррелирует также с типом деформации, грудным кифозом и поясничным лордозом, после операции сохраняется корреляция наклона Th1 позвонка с величиной C2–C7 и с послеоперационными изменениями грудного кифоза. Наклон Th1 позвонка — самый важный параметр при определении послеоперационного сагиттального выстраивания шейного отдела позвоночника и коррелирует с грудным кифозом и поясничным лордозом. Послеоперационные изменения в шейном отделе позвоночника коррелируют с изменениями наклона Th1 позвонка [28].

Изменения шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана

В ранних классических работах H.W. Scheuermann и K.H. Sorensen состояние шейного отдела позвоночника у больных с ювенильными кифозами, как отмечено выше, вообще не обсуждалось [1, 2, 3]. Насколько мы можем судить, первое описание состояния шейного лордоза при болезни Шойермана принадлежит T. Lowe, который ограничился замечанием о том, что шейный лордоз усилен, а голова выдвинута вперед [4]. В таблице 1 отражены данные литературы о состоянии шейного лордоза, а также грудного кифоза и поясничного лордоза у пациентов с болезнью Шойермана.

Первую работу, посвященную состоянию шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана, опубликовал R. Loder в 2001 г. [24]. Он не нашел корреляции между шейным лордозом и грудным кифозом, корреляция обнаружена между шейным и поясничным лордозом, а также между шейным лордозом и т.н. остаточной сагиттальной разницей (угол Кобба грудного кифоза минус угол Кобба поясничного лордоза). При болезни Шойермана ригидный грудной отдел позвоночника находится между мобильными шейным и поясничным отделами. Если остаточная сагиттальная разница становится более кифотической, шейный лордоз усиливается для сохранения сагиттального взора.

По мнению R. Loder, отсутствие связи между величинами грудного кифоза и шейного лордоза при болезни Шойермана может объясняться двумя причинами:

- ригидность грудного отдела позвоночника меняет «поведение» шейного отдела;
- лордозированный грудной отдел позвоночника рассматривается как причина идиопатического сколиоза, а кифозированный грудной отдел позвоночника — как результат развития болезни Шойермана вне зависимости от этиологии.

Причина кифоза Шойермана отличается от причины идиопатического сколиоза подростков, хотя истинная причина обеих болезней неизвестна.

Параметры сагиттального контура позвоночного столба у пациентов с болезнью Шойермана

Авторы, год	Количество пациентов	Средний возраст, лет	М:Ж	Шейный лордоз			Грудной кифоз, град.	Поясничный лордоз, град.
				C2–C7, град.	C2–C7 при грудном кифозе, град.	C2–C7 при грудно-поясничном кифозе, град.		
Bezalel T. с соавторами, 2019 [10]	150	15,5 М 16,7 Ж	95:55	-23,9 М -21,5 Ж	–	–	60,7 М 57,6 Ж	63,5 М 11,2 Ж
Janusz P. с соавторами, 2019 [11]	86	16,3	52:34	–	-19,4	-8,5	58,4 Т 54 TL	53,1 Т 45,7 TL
Xu L. с соавторами, 2019 [12]	59	14,6	–	–	-21,4	-7,2	–	–
Ashraf A. с соавторами, 2014 [13]	18	16,7	13:5	35	–	–	76,0	77,0
Jiang L. с соавторами, 2014 [15]	55	14,2	42:13	13,3	26,2	4,7	45,6	56,3
Loder R.T., 2001 [24]	34	15,5	18:16	4±15 Cobb 9±14 PVBA	–	–	65,0	71,0
Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	35	25,0	26:9	33	–	–	83,0	60,0
Janusz P. с соавторами, 2015 [30]	71	16,3	41:30	–	19,8	8,9	62,5 Т 56,7 TL	68,1 Т 62,1 TL
Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	23	32,7	10:13	-15,6 А +11,6 В	–	–	74,6 А 59,4 В	72,8 А 65,8 В
Nasto L. с соавторами, 2016 [32]	64	18,9 Т 17,8 TL	53:11	–	-21,1	-6,1	81,6 Т 82,3 TL	69,9 Т 76,4 TL

PVBA — posterior vertebral body angle; (–) — отсутствие информации; Т — thoracic; TL — thoracolumbar; А — лордоз; В — кифоз.

L. Jiang с соавторами первыми исследовали сагиттальный контур позвоночника при болезни Шойермана в зависимости от локализации вершины кифоза. Оказалось, что величина всех сагиттальных изгибов позвоночника более выражена при грудных кифозах, нежели при грудно-поясничных. В первой группе выявлена достоверная связь грудного кифоза с шейным и поясничным лордозами. При грудно-поясничной локализации кифоза грудной кифоз и поясничный лордоз сглажены, между ними есть четкая взаимосвязь. Таким образом, разные типы деформаций вырабатывают разные компенсаторные механизмы [15].

F. Paternostre с соавторами, оперировавшие 23 пациентов с кифотическими деформациями (17 из них — с болезнью Шойермана), выявили нали-

чие двух типов формы шейного отдела позвоночника — лордотическую и кифотическую. Причину формирования диаметрально противоположных типов деформации авторы склонны увязывать с параметрами грудного и поясничного отделов позвоночника и наклоном таза, а также со степенью наклона переходного шейногрудного отдела [31].

Динамика состояния шейного отдела позвоночника после корригирующего вмешательства

Информация о состоянии шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана в послеоперационном периоде весьма скудная. Нам известны только пять публикаций, посвященных этой проблеме (табл. 2).

Таблица 2

Динамика шейного лордоза после хирургической коррекции кифоза у пациентов с болезнью Шойермана

Авторы, год	Количество больных	Средний возраст, лет	М:Ж	Шейный лордоз				
				C2–C7, град.	C2–C7 при грудном кифозе, град.	C2–C7 при грудно-поясничном кифозе, град.	C2–C7 после операции, град.	C2–C7 (срок наблюдения), град.
Xu L. с соавторами, 2019 [12]	59	14,6	–	–	21,4	7,2	13,1 T 11,7 TL	14,9 T 13,8 TL (4 года)
Ashraf A. с соавторами, 2014 [13]	18	16,7	13:5	35	–	–	–	37 (2,8 года)
Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	35	25	26:9	33	–	–	19	25 (8 лет)
Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	23	32,7	10:13	-9,7	–	–	12,1	12,9 (5 лет)
Nasto L. с соавторами, 2016 [32]	64	18,9 T 17,8 TL	53:11	–	-21,1	-6,1	-12,5 T -10,1 TL	-15,7 T -12,1 TL (3,9–4,2 года)

(–) – отсутствие информации; T – thoracic; TL – thoracolumbar.

Наиболее ранним является сообщение H. Mehdian с соавторами, которые отметили, что большинство пациентов жаловались на боли в шейном и поясничном отделах позвоночника в течение двух лет после операции, в дальнейшем эти симптомы исчезли. Сопоставление клинических и рентгенографических данных (до операции, сразу после нее и в конце периода наблюдения) показало, что изначально достигнутая коррекция в отдаленном послеоперационном периоде частично утрачивается. Это касается грудного кифоза (83,3–41,6–44,0°), шейного (33–19–25°) и поясничного (60–40–52°) лордозов. Авторы ограничились констатацией этого факта и не стали делать далеко идущих выводов [29].

A. Ashraf с соавторами не выявили сколько-нибудь заметных изменений шейного лордоза, хотя динамика грудного кифоза (76–56°) и поясничного лордоза (77–57°) расценена как существенная [13].

F. Paternostre с соавторами оперировали 23 пациентов с гиперкифозами, из них 17 – на почве болезни Шойермана. Группа была разбита на две части в соответствии с формой шейного отдела позвоночника – шейный лордоз (-15,6°) и шейный кифоз (+11,6°). Авторы выявили отчетливую корреляцию между шейным лордозом (C2–C7) с одной стороны и такими параметрами, как наклон Th-1 позвонка, кифоз Th1–Th4, Th4–Th12, лордоз L1–S1. Шейный лордоз в послеоперационном периоде изменился очень незначительно, если обе

подгруппы рассматривать совместно – увеличение на 2,4°, и далее почти без динамики. При этом величины грудного кифоза и поясничного лордоза претерпели значимые изменения – соответственно 71–37° и 71–55° [31].

В двух исследованиях результаты коррекции кифоза при болезни Шойермана рассматривались отдельно – применительно к грудной либо грудно-поясничной локализации вершины кифотической деформации. L. Nasto с соавторами выявили, что в группе грудных кифозов шейный лордоз существенно уменьшился (с 21,1 до 12,5°), а в дальнейшем несколько увеличился – до 15,7°. У больных с грудно-поясничной деформацией исходный шейный лордоз был сглажен до 6,1°, после операции увеличился до 10,1°, а в конце периода наблюдения – до 12,1° [32]. Практически аналогичные результаты констатировали L. Xu с соавторами: динамика шейного лордоза при грудной локализации кифоза 21,4–13,1–14,9°, при грудно-поясничной – 7,2–11,7–13,8° [12].

Влияние позвоночно-тазовых параметров на состояние шейного отдела позвоночника при болезни Шойермана

Этой проблеме посвящено весьма ограниченное количество исследований последнего десятилетия.

M. Tonbul с соавторами не выявили корреляции между величиной PI до операции и послеоперационной потерей коррекции [33].

L. Jiang с соавторами отметили, что у пациентов с болезнью Шойермана показатели PI и PT меньше, чем у здоровых людей. При грудных кифозах показатели шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника больше, чем при грудно-поясничных [15]. При грудно-поясничных кифозах грудной и поясничные отделы позвоночника сглажены, есть корреляция между величиной поясничного лордоза и наклоном крестца.

A. Aschraf с соавторами констатировали, что все три позвоночно-тазовых показателя после операции не изменились [13].

M. Turowski с соавторами выявили, что у взрослых пациентов с болезнью Шойермана величина PI ниже, чем у здоровых, а корреляции между величинами PI и поясничного лордоза нет [14]. Годом позже тот же коллектив авторов сообщил, что пациенты с болезнью Шойермана до и после созревания скелета имеют одинаковые тазовые параметры, причем PI в обеих группах ниже нормы [34].

P. Cahill с соавторами сообщили, что у пациентов с болезнью Шойермана показатели тазовых параметров не отличаются от таковых у здоровых индивидов. Более того, величина грудного кифоза не коррелирует с величиной поясничного лордоза и положением таза [35].

L. Nasto с соавторами обследовали 37 пациентов с болезнью Шойермана до и после операции и выявили в 7 случаях проксимальный переходный кифоз (proximal junctional kyphosis — PJK). Дооперационный кифоз был одинаковым в группах больных с PJK и без него, PI до операции был выше у больных с PJK (52–43°), коррекция грудного кифоза и послеоперационная величина поясничного лордоза одинаковы в обеих группах. Больные с PJK имели больший дооперационный PI, после операции отмечен значительный дефицит поясничного лордоза. Поэтому авторы полагают, что коррекцию грудного кифоза надо планировать в соответствии с дооперационным показателем PI, чтобы избежать излишнего сглаживания поясничного лордоза [32].

F. Paternostre с соавторами отметили, что величина PI выше при шейном лордозе, а лордоз C0–C2 больше при шейном кифозе. Они выявили ряд зависимостей: кифоз Th1–Th12 и лордоз C2–C7, лордоз L1–S1 и PI, C2–C7 и наклон Th-1 позвонка, C2–C7 и кифоз Th1–Th4 [31].

Результаты исследования позвоночно-тазовых параметров у пациентов с болезнью Шойермана до и после оперативной коррекции кифоза демонстрируют минимальную их динамику в ближайшем и отдаленном послеоперационном периодах (табл. 3).

Таблица 3

Динамика позвоночно-тазовых параметров, наклона Th1 позвонка и сагиттальной вертикальной оси у пациентов с болезнью Шойермана до и после оперативного лечения

Параметр	Aschraf A. с соавторами, 2014 [13]	Mehdian H. с соавторами, 2013 [29]	Paternostre F. с соавторами, 2017 [31]	Nasto L. с соавторами, 2016 [32]
Наклон Th1 позвонка — 1	–	–	34,9	39,1–27,4
Наклон Th1 позвонка — 2	–	–	27,9	32,4–25,9
Наклон Th1 позвонка — 3	–	–	32,2	34,3–23,4
SVA — 1	35	+ 8	16,5	15,9–25,6
SVA — 2	26	-3,9	15,6	4,5–21,1
SVA — 3	–	+2,8	21,3	21,5–22,1
SS — 1	37	36	38,5	33,4–29,0
SS — 2	37	33	37,4	–
SS — 3	–	39	35,8	–
PT — 1	12	13	10,1	5,9–7,2
PT — 2	15	16	11,6	–
PT — 3	–	9	12,3	–
PI — 1	46	49	48,6	39,6–34,0
PI — 2	47	48	48,9	–
PI — 3	–	40	48,1	–
Средний срок наблюдения, лет	2,8	8,0	5,0	3,9–4,2

1 — до операции; 2 — сразу после операции; 3 — в конце периода наблюдения; (–) — отсутствие информации.

Шейный отдел позвоночника и развитие проксимальных переходных кифозов при болезни Шойермана

Переходные кифозы (junctional kyphosis) — одно из наиболее часто встречающихся осложнений в хирургии деформаций позвоночника. Они бывают как проксимальными, так и дистальными, причем последние встречаются реже. К болезни Шойермана это положение относится в полной мере. Поиски причин развития проксимальных переходных кифозов продолжаются много лет, определено немалое количество факторов риска, среди которых — расположение верхнего инструментированного позвонка, невключение в блок краниального позвонка в дуге, степень коррекции кифотической деформации, отказ от использования крюков в краниальной части зоны инструментального спондилодеза и ряд других. Несмотря на это, единого мнения нет до сих пор, а количество констатируемых авторами публикаций осложнений не уменьшается, варьируя от 2 до 50% и более [36].

Юношеский кифоз — сложная, хотя практически одноплоскостная, деформация позвоночника, отражающаяся в той или иной степени на форме и функции всех его отделов — от таза до головы. Есть множество работ, посвященных влиянию базовых отделов позвоночника на развитие проксимальных переходных кифозов. Детальный обзор многочисленных взаимозависимостей между позвоночно-тазовыми параметрами, динамикой грудного кифоза, поясничного лордоза, величиной SVA и их влияния на развитие PJK был нами представлен в монографии «Болезнь Шойерманна» [36]. В этой книге Жан Дюбуссе дает свое определение PJK — «внезапное патологическое изменение сагиттального контура между двумя соседними позвонками, часто отмечаемое на верхней границе зоны инструментального спондилодеза».

Весьма немногочисленны исследования, авторы которых, изучая результаты хирургической коррекции кифозов на почве болезни Шойермана, оценивали состояние шейного отдела позвоночника до и после вмешательства и представили информацию о количестве развития PJK. По данным этих авторов, частота развития осложнений составляет 27,8; 45,5; 27,1% соответственно. Однако в этих работах, как и в других, посвященных динамике параметров шейногрудного перехода при болезни Шойермана, полностью отсутствует информация о попытках увязать данные рентгенограмметрии и иные показатели с частотой развития PJK.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы большое количество публикаций было посвящено параметрам грудно-поясничного и пояснично-крестцового отделов позво-

ночника. Были определены как глобальные, так и региональные параметры, а также принципы восстановления сагиттального контура. Однако лишь немногие работы были посвящены нормативам шейного отдела позвоночника и еще менее — влиянию сегментарного, регионального и глобального баланса на состояние шейного лордоза. Шейный отдел позвоночника весьма сложен, он не только поддерживает массу головы (которую Ж. Дюбуссе определяет как «краниальный позвонок» [36]), но и обеспечивает высокий уровень мобильности. Сложность любой системы повышает ее уязвимость и может стать причиной развития многочисленных патологических состояний. Кроме того, шейный отдел позвоночника влияет на выстраивание нижележащих отделов позвоночного столба, необходимое для поддержания возможности горизонтального взора [37].

Проведенный нами анализ данных литературы показал, что не на все вопросы, возникающие при исследовании состояния шейного отдела позвоночника у пациентов с болезнью Шойермана, можно получить однозначные и обоснованные ответы.

Так, приведенные данные не дают возможности четко очертить границы нормы при количественной оценке шейного лордоза. Представленные исследователями цифры весьма вариабельны. Отчасти это можно объяснить тем, что авторы использовали разные методики исследования спондилограмм. Единственное, в чем сходятся все исследователи, — шейный лордоз следует рассматривать дискретно, а именно на уровнях C1–C2 и C2–C7. Большая часть шейного лордоза приходится именно на верхний его отрезок (C1–C2) и составляет от 22° до 37°. На протяжении C2–C7 (или C4–C7 — здесь тоже нет единства) лордотическая деформация составляет от 2° до 26°. В этом сходство шейного лордоза с поясничным, где основная часть сагиттальной деформации приходится на сегменты L4–S1. Можно, вероятно, сделать вывод о том, что наиболее важными, а потому и наиболее часто используемыми параметрами, характеризующими состояние шейно-грудного перехода, являются наклон Th1 позвонка, наклон входа в грудную клетку и положение сагиттальной вертикальной оси.

Шейный отдел позвоночника при болезни Шойермана демонстрирует ту же картину отсутствия единообразия, что и у здоровых людей. Величина шейного лордоза варьирует от 4° до 35°, показывая, тем самым, что увеличение грудного кифоза при болезни Шойермана далеко не всегда сопровождается развитием компенсаторного шейного гиперлордоза. Скорее, можно говорить о реципрокном усилении поясничного лордоза (см. табл. 1). Как и при рассмотрении нормальных

параметров шейного отдела позвоночника, данные литературы позволяют выявить весьма уверенно одну важную закономерность. В тех случаях, когда условия позволяли разделить исследуемую группу пациентов в зависимости от локализации вершины кифоза, было отмечено, что при грудных деформациях (вершина на уровне T10 и краниальнее) величина шейного лордоза значительно превышает таковую при грудо-поясничных деформациях (вершина на уровне T11 и каудальнее). В первом случае шейный лордоз (C2–C7) составляет 19,4–26,2°, во втором — 4,7–8,5°.

Весьма немногочисленные данные литературы демонстрируют, что в аспекте динамики шейного лордоза пациенты с болезнью Шойермана — это не гомогенная группа, и единственная закономерность (если о таковой вообще можно говорить) заключается в том, что в отдаленном послеоперационном периоде шейный лордоз незначительно увеличивается. При этом данные некоторых авторов свидетельствуют о том, что позвоноч-

нотазовые параметры у пациентов с болезнью Шойермана мало отличаются от нормальных показателей и практически не меняются после корригирующих вмешательств [13, 14, 15, 31, 32, 33, 34, 35]. Нам не удалось найти работы, авторы которых предприняли попытку увязать риск развития РЖ с параметрами шейно-грудного перехода (наклон Th1, TIA, SVA), что вызывает удивление, учитывая актуальность проблемы переходных кифозов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние шейного отдела позвоночника у пациентов с тяжелыми формами болезни Шойермана, подлежащими оперативной коррекции, изучено недостаточно. Это касается величины шейного лордоза, его динамики в послеоперационном периоде, связи с позвоночно-тазовыми параметрами, а также взаимозависимости параметров переходного шейногрудного отдела с развитием проксимальных переходных кифозов. Необходимы новые исследования в этом направлении.

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.

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.

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. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Scheuermann H.W. Kyphosis dorsalis juveniles. *Ugeskrift for Laeger*. 1920;82:385-393.
2. Scheuermann H. Rentgenologic studies of the origin and development of juvenile kyphosis, together with some investigations concerning the vertebral epiphyses in man and in animals. *Acta Orthop Scand*. 1934;5:161-220.
3. Sorensen K.H. Scheuermann's juvenile kyphosis: clinical appearances, radiology, etiology and prognosis. Enjar Copenhagen: Munkesgaard Forlag; 1964. p. 214-222
4. Lowe T. Scheuermann disease. *J Bone Joint Surg*. 1990;72-A:940-945
5. Wenger D.R., Frick S.L. Scheuermann kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(24):2630-2639. doi: 10.1097/00007632-199912150-00010.
6. Voutsinas S., MacEwen G. Sagittal profiles of the spine. *Clin Orthop Rel Res*. 1986;(210):235-242.
7. Nojiri K., Matsumoto M., Chiba K., Maruiwa H., Nakamura M., Nishizawa T. et al. Relationship between alignment of upper and lower cervical spine in asymptomatic individuals. *J Neurosurg*. 2003;99 (1 Suppl):80-83. doi: 10.3171/spi.2003.99.1.0080.
8. Hardacker J.W., Shuford R.F., Capicotto P.N., Pryor P.W. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(13):1472-1480; discussion 1480. doi: 10.1097/00007632-199707010-00009.

9. Harrison D.E., Harrison D.D., Cailliet R., Troyanovich S.J., Janik T.J., Holland B. Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(16):2072-2078. doi: 10.1097/00007632-200008150-00011.
10. Bezalel T., Carmeli E., Kalichman L. Scheuermann's Disease: Radiographic Pathomorphology and Association with Clinical Features. *Asian Spine J*. 2019;13(1):86-95. doi: 10.31616/asj.2018.0025.
11. Janusz P., Tyrakowski M., Kotwicki T. Morphology of the Cervical Spine Alignment in Scheuermann's Disease. *Ortho Res Online J*. 2019;5(2):465-469. doi: 10.31031/OPROJ.2019.05.000607.
12. Xu L., Shi B., Qiu Y., Chen Z., Chen X., Li S. et al. How does the cervical spine respond to hyperkyphosis correction in Scheuermann's disease? *J Neurosurg Spine*. 2019;1-8. doi: 10.3171/2019.3.SPINE1916.
13. Ashraf A., Noelle Larson A., Polly D.W., Ferski G., Guidera K.J., Mielke C.H. Change in Sagittal Plane Alignment Following Surgery for Scheuermann's Kyphosis. *Spine Deform*. 2014;2(5):404-409. doi: 10.1016/j.jspd.2014.04.013.
14. Tyrakowski M., Mardjetko S., Siemionow K. Radiographic spinopelvic parameters in skeletally mature patients with Scheuermann disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(18):E1080-10855. doi: 10.1097/BRS.0000000000000460.
15. Jiang L., Qiu Y., Xu L., Liu Z., Wang Z., Sha S. et al. Sagittal spinopelvic alignment in adolescents associated with Scheuermann's kyphosis: a comparison with normal population. *Eur Spine J*. 2014;23(7):1420-1426. doi: 10.1007/s00586-014-3266-2.
16. Lee S.H., Son E.S., Seo E.M., Suk K.S., Kim K.T. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J*. 2015;15(4):705-712. doi: 10.1016/j.spinee.2013.06.059.
17. Borden A., Rechtman A., Gershon-Cohen J. The normal cervical lordosis. *Radiology*. 1960;74:806-809. doi: 10.1148/74.5.806.
18. Cobb J.R. Outline for the study of scoliosis. American Academy of Orthopaedic Surgeons. Instructional Course Lecture; 1948: 5: 621-675. Available from: [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=573326](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=573326).
19. Rechtman A., Borden A., Rechtman A., Gershon-Cohen J. The lordotic curve of the cervical spine. *Clin Orthop*. 1961;20:208-216.
20. Gore D.R., Sepic S.B., Gardner G.M. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11(6):521-524. doi: 10.1097/00007632-198607000-00003.
21. Kuntz C. 4th, Levin L.S., Ondra S.L., Shaffrey C.I., Morgan C.J. Neutral upright sagittal spinal alignment from the occiput to the pelvis in asymptomatic adults: a review and resynthesis of the literature. *J Neurosurg Spine*. 2007;6(2):104-112. doi: 10.3171/spi.2007.6.2.104.
22. Erkan S., Yercan H.S., Okcu G., Ozalp R.T. The influence of sagittal cervical profile, gender and age on the thoracic kyphosis. *Acta Orthop Belg*. 2010;76(5):675-680.
23. Blondel B., Schwab F., Ames C. et al. The crucial role of cervical alignment in regulating sagittal spino-pelvic alignment in human standing posture. Presented at the 19th International Meeting on Advanced Spinal Technologies, Istanbul, Turkey, July 18-21, 2012. Available from: <https://www.srs.org/UserFiles/file/meetings/imast2012/IM12-FINALPROGRAM.pdf>.
24. Loder R.T. The sagittal profile of the cervical and lumbosacral spine in Scheuermann thoracic kyphosis. *J Spinal Disord*. 2001;14(3):226-231. doi: 10.1097/00002517-200106000-00007.
25. Knott P.T., Mardjetko S.M., Tychy F. The use of the T1 sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine. *Spine J*. 2010;10(11):994-998. doi: 10.1016/j.spinee.2010.08.031.
26. Lee S.H., Kim K.T., Seo E.M., Suk K.S., Kwack Y.H., Son E.S. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(2):E41-47. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182396301.
27. Smith J.S., Shaffrey C.I., Lafage V., Blondel B., Schwab F., Hostin R. et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy. *J Neurosurg Spine*. 2012;17(4):300-307. doi: 10.3171/2012.6.SPINE1250.
28. Nasto L.A., Shalabi S.T., Perez-Romera A.B., Muquit S., Ghasemi A.R., Mehdiian H. Analysis of cervical sagittal alignment change following correction of thoracic and thoracolumbar Scheuermann's kyphosis. *Eur Spine J*. 2017;26(8):2187-2197. doi: 10.1007/s00586-017-5069-8.
29. Mehdiian H., Arealis G., Elsayed S. The clinical implications of radiological changes in sagittal parameters of the cervical and lumbar spine following correction of Scheuermann's kyphosis. Scoliosis Research Society. 48th Annual Meeting and Course; Lion, Franc. 2013. Final Program. p. 262. Available from: <https://www.srs.org/UserFiles/file/meetings/am13/am13-HalfDay-v11.pdf>
30. Janusz P., Tyrakowski M., Kotwicki T., Siemionow K. Cervical Sagittal Alignment in Scheuermann Disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(23):E1226-1232. doi: 10.1097/BRS.0000000000001129.
31. Paternostre F., Charles Y.P., Sauleau E.A., Steib J.P. Cervical sagittal alignment in adult hyperkyphosis treated by posterior instrumentation and in situ bending. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(1):53-59. doi: 10.1016/j.otsr.2016.10.003.
32. Nasto L.A., Perez-Romera A.B., Shalabi S.T., Quraishi N.A., Mehdiian H. Correlation between preoperative spinopelvic alignment and risk of proximal junctional kyphosis after posterior-only surgical correction of Scheuermann kyphosis. *Spine J*. 2016;16(4 Suppl):S26-33. doi: 10.1016/j.spinee.2015.12.100.
33. Tonbul M., Orhan O., Yılmaz M.R., Adaş M., Yurdođlu H.C., Altan E. Is there any correlation between the preoperative parameters and correction loss in patients operated for hyperkyphosis? *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2010;44(4):300-305. doi: 10.3944/AOTT.2010.2391.
34. Tyrakowski M., Janusz P., Mardjetko S., Kotwicki T., Siemionow K. Comparison of radiographic sagittal spinopelvic alignment between skeletally immature and skeletally mature individuals with Scheuermann's disease. *Eur Spine J*. 2015;24(6):1237-1243. doi: 10.1007/s00586-014-3595-1.

35. Cahill P.J., Steiner C.D., Dakwar E., Trobisch P.D.; Harms Study Group; Lonner B.S. et al. Sagittal Spinopelvic Parameters in Scheuermann's Kyphosis: A Preliminary Study. *Spine Deform.* 2015;3(3):267-271. doi: 10.1016/j.jspd.2014.11.001.
36. Михайловский М.В., Дюбуссе Ж.Ф. Болезнь Шойерманна. Новосибирск: Академиздат; 2022. 266 с.
- Mikhailovsky M.V., Dubusse J.F. [Scheuermann's disease]. Novosibirsk: Academizdat; 2022. 266 p. (In Russian).
37. Scheer J.K., Tang J.A., Smith J.S., Acosta F.L. Jr., Protosaltis T.S., Blondel B. et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine.* 2013;19(2):141-159. doi: 10.3171/2013.4.SPINE12838.

Сведения об авторах

✉ Михайловский Михаил Витальевич – д-р мед. наук, профессор

Адрес: Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17

<http://orcid.org/0000-0002-4847-100X>

e-mail: MMikhailovsky@niito.ru

Сергунин Александр Юрьевич

<http://orcid.org/0000-0001-6555-2007>

e-mail: Saport2010@ngs.ru

Authors' information

✉ Mikhail V. Mikhaylovskiy — Dr. Sci. (Med.), Professor

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

<http://orcid.org/0000-0002-4847-100X>

e-mail: MMikhailovsky@niito.ru

Alexander Yu. Sergunin

<http://orcid.org/0000-0001-6555-2007>

e-mail: Saport2010@ngs.ru



Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы

А.М. Шершнев, С.Ю. Доколин, В.И. Кузьмина, М.О. Кутузов, Е.В. Ярец

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

Актуальность. Невосстановимые передневерхние разрывы вращательной манжеты могут значительно ухудшить функцию плечевого сустава из-за нарушения нормальной биомеханики сустава в связи с утратой компрессирующего действия вращательной манжеты на головку плечевой кости. Мышечно-сухожильные трансферы являются альтернативой стандартным вариантам хирургического лечения: дебридменту поврежденных сухожилий, артроскопическому якорному шву и реверсивному эндопротезированию плечевого сустава. В зарубежной литературе описано несколько вариантов мышечно-сухожильных трансферов для лечения этой патологии и ведется активное обсуждение результатов уже предложенных техник, а также их усовершенствование, в то время как в отечественной литературе данные методики практически не освещены.

Цель обзора — на основе анализа публикаций оценить современные хирургические техники мышечно-сухожильных трансферов при лечении пациентов с передневерхними разрывами вращательной манжеты плечевого сустава.

Материал и методы. Поиск публикаций осуществлялся в базах данных PubMed/MEDLINE и Google Scholar с 1988 по 2022 г.

Результаты. В настоящее время наибольшее распространение получили мышечно-сухожильные трансферы грудинно-реберной порции сухожилия большой грудной мышцы и сухожилия широчайшей мышцы спины, которые являются альтернативой стандартным методам лечения с предсказуемым результатом.

Заключение. В настоящее время нет единого мнения о четких показаниях к тем или иным вариантам мышечно-сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава, недостаточно данных об отдаленных результатах. Это определяет необходимость изучения отдаленных клинических результатов применения данных методов и разработки алгоритма выбора тактики хирургического лечения профильных пациентов.

Ключевые слова: разрыв вращательной манжеты, мышечно-сухожильные трансферы, артроскопия плечевого сустава.

Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В. Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):135-142. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2017>.

Шершнев Андрей Максимович; e-mail: andreyshersh@gmail.com

Рукопись получена: 28.10.2022. Рукопись одобрена: 30.11.2022. Статья опубликована онлайн: 02.02.2023.

© Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И., Кутузов М.О., Ярец Е.В., 2023



Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review

Andrei M. Shershnev, Sergei Yu. Dokolin, Vladislava I. Kuzmina, Matvei O. Kutuzov, Elizaveta V. Yarets

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

Background. Irreparable anterior-superior rotator cuff tears can cause significant shoulder dysfunction due to the failure of normal biomechanics of the joint, because of the loss of compressive effect of the rotator cuff on the humeral head. Muscle-tendon transfers are an alternative to standard surgical treatment options: debridement of injured tendons, arthroscopic anchor suture, and reverse shoulder arthroplasty. Currently, several options of muscle-tendon transfers are described in the foreign literature, and there is an active discussion over the results of the already proposed techniques, and their improvements, while these techniques are practically not covered in the domestic literature.

The aim – to describe modern surgical technique options of the muscle-tendon transfers for the treatment of patients with anterior-superior rotator cuff tears based on a review of foreign literature sources.

Methods. The search for publications from 1988 to 2022 was carried out in the PubMed/MEDLINE and Google Scholar databases.

Results. Nowadays, the most common muscle-tendon transfers options for patients with anterior-superior rotator cuff tears are the sternocostal portion of the of pectoralis major tendon transfer and the latissimus dorsi tendon transfer. A review of foreign literature showed that muscle-tendon transfers are a well-described alternative to standard methods of treating profile patients with a predictable result.

Conclusion. Currently, there is no consensus on clear indications for certain types of muscle-tendon transfers in case of anterior-superior rotator cuff tears, there is a lack of data on long-term results. This determines the need of study of the long-term clinical results of use of these methods and develop an algorithm for choosing the tactics of surgical treatment of relevant patients.

Keywords: rotator cuff tear, muscle-tendon transfers, shoulder arthroscopy.

Cite as: Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V. [Options in Tendon Transfers for Anterior-Superior Rotator Cuff Tears: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):135-142. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2017>.

✉ *Andrei M. Shershnev*; e-mail: andreysersh@gmail.com

Submitted: 28.10.2022. Accepted: 30.11.2022. Published Online: 02.02.2023.

© Shershnev A.M., Dokolin S.Yu., Kuzmina V.I., Kutuzov M.O., Yarets E.V., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Разрывы вращательной манжеты плечевого сустава (ВМПС) могут иметь множество конфигураций, которые классифицируются в зависимости от размера поражения, вовлеченных сухожилий и возможности их восстановления [1, 2]. Повреждения сухожилия подлопаточной мышцы могут оставаться без клинических проявлений, провоцируя задержку лечения, что приводит к развитию ретракции и жировой дегенерации мышечного брюшка, как следствие, разрыв становится невосстановимым [1].

Повреждение сухожилия подлопаточной мышцы зачастую ассоциируется с повреждением сухожилия надостной мышцы — такие повреждения называют передневерхними. При этих повреждениях нарушается компрессирующее действие ВМПС на головку плечевой кости (ГПК), что приводит к передневерхней трансляции ГПК, вызывая боль и дисфункцию плечевого сустава [3].

Хирургическое лечение пациентов с массивными разрывами ВМПС является сложной задачей, так как высокая частота повторных разрывов, которая может варьироваться от 18 до 94%, отсутствие приживления после восстановления и возможный невосстановимый характер разрыва ведут к низким клиническим результатам хирургического лечения [4]. Методы хирургического лечения, используемые при массивных невосстановимых разрывах ВМПС, включают дебридмент поврежденных сухожилий, частичное восстановление, мышечно-сухожильные трансферы (МСТ), реконструкцию верхней капсулы плечевого сустава, установку субакромиального баллонного спейсера и реверсивное эндопротезирование плечевого сустава [2, 5]. МСТ являются альтернативой для молодых, активных пациентов с невосстановимыми разрывами ВМПС. Для передневерхних разрывов ВМПС используют трансфер сухожилия большой грудной мышцы, трансфер сухожилия малой грудной мышцы и трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины [2, 6, 7, 8].

Цель исследования — на основании анализа зарубежной литературы оценить современные варианты мышечно-сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск публикаций с 1988 по 2022 г. осуществляли в базах данных PubMed/MEDLINE и Google Scholar. Использовались ключевые слова и словосочетания: arthroscopy, rotator cuff, rotator cuff tear, anterosuperior rotator cuff tear, massive rotator cuff tear, irreparable rotator cuff tear, subscapularis tendon, transfer, tendon transfer, latissimus dorsi transfer, pectoralis major transfer, pectoralis minor

transfer. Для анализа было отобрано 48 наиболее релевантных источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Варианты хирургического лечения передневерхних разрывов вращательной манжеты плечевого сустава

Хирургическое лечение массивных разрывов ВМПС может иметь разные цели в зависимости от потребностей пациента, поэтому существуют различные техники лечения.

Субакромиальная декомпрессия, дебридмент поврежденных сухожилий и тенотомия или тенорез длинной головки двуглавой мышцы плеча показаны пациентам с малыми функциональными запросами, у которых боль является основной жалобой, а функция плеча достаточна для их повседневной активности [9]. Методы интерпозиции, такие как установка субакромиального баллона [10] и реконструкция верхней капсулы [11], направлены на облегчение боли и улучшение функции за счет нормализации биомеханики плечевого сустава путем установки головки плечевой кости по центру суставной впадины лопатки.

Полное или частичное восстановление ВМПС путем артроскопического якорного шва может улучшить функцию плечевого сустава и контролировать боль [12]. Эффективность биологических факторов при лечении пациентов с массивными невосстановимыми разрывами ВМПС до сих пор не доказана [13, 14], в то время как использование стволовых клеток и аутогенная транспозиция сухожилий направлены на повышение резистентности восстановленных сухожилий к повреждению и способности к заживлению [15, 16].

Транспозиция сухожилия длинной головки двуглавой мышцы плеча была представлена недавно и является перспективной альтернативой реконструкции верхней капсулы плечевого сустава по данным клинических и биомеханических исследований, однако ограничением данной техники является тот факт, что у пациентов, уже перенесших спонтанную тенотомию, сухожилие недоступно [17, 18].

Использование мышечно-сухожильных трансферов позволяет воссоздать близкую к нормальной биомеханику плечевого сустава, снизить болевой синдром и замедлить прогрессирование артропатии, что и обуславливает интерес к данным методам лечения, особенно у молодых пациентов с высокими функциональными запросами. Но сложность проведения данных вмешательств требует высокого профессионализма хирурга, что объясняет весьма высокие показатели осложнений в послеоперационном периоде, в том числе разрывы сухожильной ткани в месте рефиксации (до 38%), неврологические и сосудистые осложнения [7, 19, 20].

В литературе приводится пять основных правил успешного выполнения мышечно-сухожильных трансферов. Транспонируемая мышца должна:

- иметь ту же линию натяжения (вектор силы), что и мышца, которую она заменяет;
- иметь то же натяжение, что и мышца, которую она заменяет;
- иметь ту же экскурсию, что и мышца, которую она заменяет;
- заменять только одну функцию;
- иметь нормальную мышечную силу [21].

Показаниями к выполнению мышечно-сухожильных трансферов являются невосстановимые передневерхние и передние разрывы ВМПС у молодых активных пациентов без остеоартрита плечевого сустава. Противопоказаниями являются остеоартрит плечевого сустава III ст., выраженная контрактура плечевого сустава, повреждение подмышечного нерва и плечевого сплетения, дисфункция дельтовидной мышцы, инфекция области оперативного вмешательства, невозможность соблюдать послеоперационный протокол, задневерхние разрывы ВМПС с одновременным повреждением подлопаточной мышцы [20, 21, 22, 23, 24].

Трансфер сухожилия большой грудной мышцы

Большая грудная мышца приводит, сгибает и вращает верхнюю конечность внутрь. Она состоит из двух головок: ключичной и грудинно-реберной. Ключичная головка берет начало от медиальной части ключицы, а грудинно-реберная — от верхней части грудины и от второго до четвертого ребер. Две головки сходятся вблизи места прикрепления, при этом грудинно-реберная головка грудины проходит кзади и крепится проксимально, а ключичная головка проходит более поверхностно и крепится по латеральному краю биципитальной борозды [22]. Основным источником кровоснабжения является грудная ветвь грудноакромиальной артерии, а иннервации — медиальный и латеральный грудные нервы. Латеральный и медиальный грудные нервы входят в мышцу в среднем на расстоянии 12,5 и 11,9 см от места прикрепления сухожилия соответственно [22]. Большую грудную мышцу можно считать хорошим кандидатом для выполнения мышечно-сухожильного трансфера при передневерхнем повреждении ВМПС, так как она обладает адекватным потенциалом мобильности и выполняет схожую функцию, что и подлопаточное сухожилие. Однако с биомеханической точки зрения большая грудная мышца имеет иной вектор, чем подлопаточная мышца, так как она расположена спереди от грудной стенки, а подлопаточная — кзади [23].

В литературе трансфер сухожилия большой грудной мышцы считается наиболее распростра-

ненным вмешательством из группы мышечно-сухожильных трансферов для лечения пациентов изучаемого профиля [21, 24, 25, 26, 27]. Эту технику впервые предложил С. Gerber в 1996 г., после чего было описано множество вариантов ее выполнения: в одних используют сухожилие грудинно-реберной порции большой грудной мышцы, в других — ключичной порции, в третьих — все сухожилие целиком. Обсуждаются варианты позиционирования транспонируемого сухожилия кпереди и кзади от объединенного сухожилия клювовидно-плечевой мышцы и сухожилия короткой головки двуглавой мышцы плеча [28, 29, 30, 31, 32].

С точки зрения биомеханики проведение транспонируемого сухожилия большой грудной мышцы кзади от объединенного сухожилия более выгодно, поскольку такое положение приближает вектор тяги к вектору подлопаточной мышцы, однако это положение более опасно с точки зрения анатомии — имеется риск повреждения мышечно-кожного нерва [1, 25, 33]. Стоит отметить, что, по данным систематического обзора, лишь в двух случаях из 195 проведенных вмешательств отмечались неврологические осложнения [33].

В работе В. Elhassan с соавторами, опубликованной в 2008 г., была описана техника транспозиции сухожилия грудинно-реберной порции большой грудной мышцы, проведенной под ее ключичной порцией, что обеспечивает приближение вектора тяги к вектору подлопаточной мышцы без риска повреждения мышечно-кожного нерва [26]. На сегодняшний день данная техника является самой распространенной в хирургической практике.

Вне зависимости от того, какая техника трансфера сухожилия большой грудной мышцы используется, происходит значимое снижение боли и достигается хороший результат по шкалам субъективной оценки пациента, однако в отдаленные сроки отмечаются неудовлетворительные функциональные результаты, в частности ограничение внутренней ротации [23, 24, 34, 35, 36].

Осложнения при выполнении трансфера сухожилия большой грудной мышцы включают тромбоз подмышечных глубоких вен, остаточную боль в месте прикрепления большой грудной мышцы, передний подвывих головки плечевой кости и дисфункцию мышечно-кожного и подмышечного нервов, а их частота составляет около 10% [33, 34, 35, 36].

Трансфер сухожилия малой грудной мышцы

Малая грудная мышца обычно прикрепляется к клювовидному отростку сверху, начиная с третьего по пятое ребро. Она стабилизирует плечо и опускает, вращает вниз и внутрь или наклоняет лопатку вперед [37].

В 1997 г. М.А. Wirth и С.А. Rockwood Jr. первыми описали перенос малой грудной мышцы на малый бугорок [38], но результаты применения этой технологии были опубликованы наряду с другими методами без дальнейшей стратификации [6].

В 2013 г. Р. Paladini с соавторами опубликовали результаты 27 транспозиций сухожилия малой грудной мышцы на малый бугорок вместе с небольшим кортикальным участком клювовидного отростка для лечения пациентов с невосстановимыми передневерхними разрывами ВМПС. Через 2 года неврологических повреждений не было, а оценка по Constant Score значительно улучшилась — в среднем на 41 балл ($p < 0,001$), хотя показатель мышечной силы значительно не увеличился. В общей сложности 78% пациентов вернулись к своей повседневной деятельности. Интересно, что средняя потеря наружной ротации составила всего 11° , и только у 22% пациентов belly-press test остался положительным [39].

В 2017 г. М. Cartaya с соавторами описали артроскопический трансфер этого сухожилия с многообещающими краткосрочными результатами, однако они применяли данный метод для лечения пациентов с повреждением подлопаточной мышцы III ст. по классификации Lafosse, а IV и V ст. отнесли к противопоказаниям для выполнения данной процедуры [40]. Согласно этому исследованию, из-за своего анатомического положения и функции малая грудная мышца является хорошим кандидатом для восстановления внутренней ротации, поскольку имеет:

- лучший вектор силы по сравнению с большой грудной мышцей;
- адекватную экскурсию сухожилия, которая, в отличие от большой грудной мышцы, более схожа с экскурсией подлопаточной мышцы [41];
- отсутствие чрезмерного мышечного натяжения после выполненного трансфера;
- минимальные воздействие и повреждение окружающих тканей.

Несмотря на то, что в опубликованных исследованиях были заявлены хорошие краткосрочные клинично-функциональные результаты, на настоящий момент нет исследований, которые подтверждали бы эти результаты в долгосрочной перспективе. В связи с этим трансфер сухожилия малой грудной мышцы пока остается недостаточно изученным и нераспространенным вариантом мышечно-сухожильных трансферов при передневерхних разрывах ВМПС.

Трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины

Широчайшая мышца спины представляет собой крупную веерообразную мышцу, отходящую от гребня подвздошной кости, грудопоясничной

фасции и остистых отростков нижних грудных и поясничных позвонков. Она прикрепляется медиальнее большой грудной мышцы по гребню малого бугорка плечевой кости, а также латеральнее и проксимальнее большой круглой мышцы на плечевой кости. Ее нервно-сосудистое снабжение происходит от торакодорсальной артерии и торакодорсального нерва [42, 43]. Анатомическое исследование, которое провели А.Д. Pearle с коллегами в 2006 г., показало, что размер безопасного коридора мобилизации широчайшей мышцы составляет 13 см, так как на этом уровне в широчайшую мышцу входит торако-дорсальный сосудисто-нервный пучок. Это исследование также определило взаимоотношение транспонированного сухожилия и задней ветви подмышечного нерва, что еще раз подчеркивает важность адекватного формирования заднего безопасного коридора для транспонируемого сухожилия [43]. Подмышечный и лучевой нервы находятся ближе всего к месту прикрепления сухожилия широчайшей мышцы спины, когда рука согнута, и дальше всего, когда рука вращается внутрь. Этот факт особенно важен при заборе сухожилия от места прикрепления к плечевой кости [42, 43].

Трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины является распространенным вариантом мышечно-сухожильных трансферов для хирургической коррекции изучаемой патологии. Техника трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины совместно с большой круглой мышцей впервые была описана J.V. L'Episcopo в 1934 г. и применялась для коррекции нарушения активной наружной ротации у пациентов с параличом Дюшена – Эрба [44]. Затем, в 1988 г. С. Gerber с соавторами применили и описали транспозицию сухожилия широчайшей мышцы спины как способ вернуть активную наружную ротацию у пациентов с невосстановимыми задневерхними разрывами вращательной манжеты [45]. Благодаря развитию артроскопической хирургии плечевого сустава в 2007 г. доктор Е. Gervasi с соавторами описали технику артроскопически-ассистированной транспозиции сухожилия широчайшей мышцы спины (АТСШМС) [46]. В дальнейшем, данная методика получила несколько модификаций, а в 2015 г. В. Elhassan описал технику переднего артроскопически-ассистированной транспозиции сухожилия широчайшей мышцы спины для лечения пациентов с передне-верхними повреждениями ВМПС [47]. С точки зрения биомеханики данное вмешательство более выгодно, чем трансфер сухожилия малой грудной мышцы, так как вектор тяги широчайшей мышцы спины в большей степени совпадает с вектором подлопаточной мышцы [21, 24, 48]. Опубликованное анатомическое исследование доказало безопас-

ность трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины в отношении сосудисто-нервных структур находящихся в зоне оперативного действия [47]. Опубликованы данные о высокой частоте послеоперационных разрывов тонкого и короткого (толщиной менее 2 мм и длиной в среднем 6 см) сухожилия широчайшей мышцы спины от точки фиксации на плечевой кости на протяжении и в месте сухожильно-мышечного перехода (от 5,5% до 38%), что связано с особенностями самого сухожилия и неправильным выбором точки фиксации, так как при этом может возникнуть эффект гильотины или «killer turn» эффект [49]. По данным разных авторов, в средние сроки наблюдения у пациентов после трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины происходит значительное снижение боли, улучшение функции плечевого сустава, отмечается отличная субъективная оценка проведенного вмешательства, а по сравнению с трансфером сухожилия малой грудной мышцы увеличивается объем внутренней ротации [20, 25, 27, 28, 48, 49]. Несмотря на то, что в литературе на сегодняшний день не так много данных о долгосрочных результатах применения

артроскопически-ассистированного трансфера сухожилия широчайшей мышцы спины, данный метод является весьма перспективным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате анализа литературы данные указывают на то, что применение мышечно-сухожильных трансферов при передневерхних повреждениях вращательной манжеты плечевого сустава является весьма перспективным направлением. Наиболее часто применяемыми и изученными являются трансфер большой грудной мышцы и трансфер сухожилия широчайшей мышцы спины. Несмотря на то, что изученная литература не смогла в полной мере разграничить показания к применению различных вариантов хирургических вмешательств, обнадеживающие результаты применения данных методик подчеркивают необходимость их дальнейшего изучения и внедрения в отечественную хирургическую практику. Необходимы более детальная оценка среднесрочных и отдаленных клинических результатов применения данных хирургических методов и разработка алгоритмов лечения пациентов.

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.

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.

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. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Resch H., Povacz P., Ritter E., Matschi W. Transfer of the pectoralis major muscle for the treatment of irreparable rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(3):372-382. doi: 10.2106/00004623-200003000-00008.
2. Omid R., Lee B. Tendon transfers for irreparable rotator cuff tears. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(8):492-501. doi: 10.5435/JAAOS-21-08-492.
3. Kany J., Guinand R., Croutzet P., Valenti P., Werthel J.D., Grimberg J. Arthroscopic-assisted latissimus dorsi transfer for subscapularis deficiency. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016;26(3):329-334. doi: 10.1007/s00590-016-1753-3.
4. Yamamoto A., Takagishi K., Osawa T., Yanagawa T., Nakajima D., Shitara H. et al. Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(1):116-120. doi: 10.1016/j.jse.2009.04.006.
5. Cvetanovich G.L., Waterman B.R., Verma N.N., Romeo A.A. Management of the Irreparable Rotator Cuff Tear. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(24):909-917. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00199.
6. Checchia C., Domos P., Grimberg J., Kany J. Current Options in Tendon Transfers for Irreparable Rotator Cuff Tears. *JBJS Rev.* 2019;7(2):e6. doi: 10.2106/JBJS.RVW.18.00044.

7. Cartucho A. Tendon transfers for massive rotator cuff tears. *EFORT Open Rev.* 2022;7(6):404-413. doi: 10.1530/EOR-22-0023.
8. Adam J.R., Nanjayan S.K.T., Johnson M., Rangan A. Tendon transfers for irreparable rotator cuff tears. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;17:254-260. doi: 10.1016/j.jcot.2021.03.021.
9. Walch G., Edwards T.B., Boulahia A., Nové-Josserand L., Neyton L., Szabo I. Arthroscopic tenotomy of the long head of the biceps in the treatment of rotator cuff tears: clinical and radiographic results of 307 cases. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(3):238-246. doi: 10.1016/j.jse.2004.07.008.
10. Senekovic V., Poberaj B., Kovacic L., Mikek M., Adar E., Dekel A. Prospective clinical study of a novel biodegradable sub-acromial spacer in treatment of massive irreparable rotator cuff tears. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23(3):311-316. doi: 10.1007/s00590-012-0981-4.
11. Mihata T., Lee T.Q., Watanabe C., Fukunishi K., Ohue M., Tsujimura T. et al. Clinical results of arthroscopic superior capsule reconstruction for irreparable rotator cuff tears. *Arthroscopy.* 2013;29(3):459-470. doi: 10.1016/j.arthro.2012.10.022.
12. Shon M.S., Koh K.H., Lim T.K., Kim W.J., Kim K.C., Yoo J.C. Arthroscopic Partial Repair of Irreparable Rotator Cuff Tears: Preoperative Factors Associated With Outcome Deterioration Over 2 Years. *Am J Sports Med.* 2015;43(8):1965-1975. doi: 10.1177/0363546515585122.
13. Randelli P., Arrigoni P., Ragone V., Aliprandi A., Cabitza P. Platelet rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a prospective RCT study, 2-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011;20(4):518-528. doi: 10.1016/j.jse.2011.02.008.
14. Castricini R., Longo U.G., De Benedetto M., Panfoli N., Pirani P., Zini R. et al. Platelet-rich plasma augmentation for arthroscopic rotator cuff repair: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2011;39(2):258-265. doi: 10.1177/0363546510390780.
15. Ahmad Z., Henson F., Wardale J., Noorani A., Tytherleigh-Strong G., Rushton N. Review article: Regenerative techniques for repair of rotator cuff tears. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2013;21(2):226-231. doi: 10.1177/230949901302100223.
16. Isaac C., Gharaibeh B., Witt M., Wright V.J., Huard J. Biologic approaches to enhance rotator cuff healing after injury. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012;21(2):181-190. doi: 10.1016/j.jse.2011.10.004.
17. Berthold D.P., Muench L.N., Dyrna F., Scheiderer B., Obopilwe E., Cote M.P. et al. Comparison of Different Fixation Techniques of the Long Head of the Biceps Tendon in Superior Capsule Reconstruction for Irreparable Posterosuperior Rotator Cuff Tears: A Dynamic Biomechanical Evaluation. *Am J Sports Med.* 2021;49(2):305-313. doi: 10.1177/0363546520981559.
18. Kocaoglu B., Firatli G., Ulku T.K. Partial Rotator Cuff Repair With Superior Capsular Reconstruction Using the Biceps Tendon Is as Effective as Superior Capsular Reconstruction Using a Tensor Fasciae Latae Autograft in the Treatment of Irreparable Massive Rotator Cuff Tears. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(6):2325967120922526. doi: 10.1177/2325967120922526.
19. Reinares F., Calvo A., Reyes J.T., Moreno J.L., Paccot D. Arthroscopy-Assisted Latissimus Dorsi Transfer for Irreparable Subscapularis Tears. *Arthrosc Tech.* 2020;10(1):49-e53. doi: 10.1016/j.eats.2020.09.008.
20. Kany J., Grimberg J., Amaravathi R.S., Sekaran P., Scorpie D., Werthel J.D. Arthroscopically-assisted latissimus dorsi transfer for irreparable rotator cuff insufficiency: modes of failure and clinical correlation. *Arthroscopy.* 2018;34(4):1139-1150. doi: 10.1016/j.arthro.2017.10.052.
21. Kany J. Tendon transfers in rotator-cuff surgery. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(1S):S43-S51. doi: 10.1016/j.jse.2020.06.002.
22. Klepps S.J., Goldfarb C., Flatow E., Galatz L.M., Yamaguchi K. Anatomic evaluation of the subcoracoid pectoralis major transfer in human cadavers. *J Shoulder Elb Surg.* 2001;10(5):453-459. doi: 10.1067/mse.2001.117125.
23. Ernstbrunner L., Wieser K., Catanzaro S., Agten C.A., Fornaciari P., Bauer D.E. et al. Long-term outcomes of pectoralis major transfer for the treatment of irreparable subscapularis tears: results after a mean follow-up of 20 years. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(23):2091-2100. doi: 10.2106/JBJS.19.00172.
24. Burnier M., Lafosse T. Pectoralis Major and Anterior Latissimus Dorsi Transfer for Subscapularis Tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020;13(6):725-733. doi: 10.1007/s12178-020-09674-4.
25. Clark N.J., Elhassan B.T. The Role of Tendon Transfers for Irreparable Rotator Cuff Tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(1):141-149. doi: 10.1007/s12178-018-9468-1.
26. Elhassan B.T., Ozbaydar M., Massimini D., Diller D., Higgins L., Warner J.J.P. Transfer of pectoralis major for the treatment of irreparable tears of subscapularis: DOES IT WORK? *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(8):1059-1065. doi: 10.1302/0301-620X.90B8.20659.
27. Elhassan B.T., Wagner E.R., Kany J. Latissimus dorsi transfer for irreparable subscapularis tear. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(10):2128-2134. doi: 10.1016/j.jse.2020.02.019.
28. Luo Z., Lin J., Sun Y., Zhu K., Wang C., Chen J. Outcome Comparison of Latissimus Dorsi Transfer and Pectoralis Major Transfer for Irreparable Subscapularis Tendon Tear: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2022;50(7):2032-2041. doi: 10.1177/03635465211018216.
29. Gerber C., Hersche O., Farron A. Isolated rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(7):1015-1023. doi: 10.2106/00004623-199607000-00005.
30. Klepps S.J., Goldfarb C., Flatow E., Galatz L.M., Yamaguchi K. Anatomic evaluation of the subcoracoid pectoralis major transfer in human cadavers. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10:453-459. doi: 10.1067/mse.2001.117125.
31. Wirth M.A., Rockwood C.A. Operative treatment of irreparable rupture of the subscapularis. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(5):722-731. doi: 10.2106/00004623-199705000-00012.
32. Konrad G.G., Sudkamp N.P., Kreuz P.C., Jolly J.T., McMahon P.J., Debski R.E. Pectoralis major tendon transfers above or underneath the conjoint tendon in subscapularis-deficient shoulders. An in vitro biomechanical analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(11):2477-2484. doi: 10.2106/JBJS.F.00811.
33. Shin J.J., Saccomanno M.F., Cole B.J., Romeo A.A., Nicholson G.P., Verma N.N. Pectoralis major transfer for treatment of irreparable subscapularis tear: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1951-1960. doi: 10.1007/s00167-014-3229-5.

34. Gavriilidis I., Kircher J., Magosch P., Lichtenberg S., Habermeyer P. Pectoralis major transfer for the treatment of irreparable anterosuperior rotator cuff tears. *Int Orthop.* 2010;34(5):689-694. doi: 10.1007/s00264-009-0799-9.
35. Moroder P., Schulz E., Mitterer M., Plachel F., Resch H., Lederer S. Long-term outcome after pectoralis major transfer for irreparable anterosuperior rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(3):239-245. doi: 10.2106/JBJS.16.00485.
36. Jost B., Gerber C. Pectoralis major transfer for subscapularis insufficiency. *Tech Shoulder Elbow Surg.* 2004; 5(3):157-164. doi: 10.1097/01.bte.0000135966.61724.1f.
37. Lambert S. Shoulder girdle and arm. In: Standring S. (ed) *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice.* 41st edn. London: Elsevier; 2015. p. 797-836.
38. Wirth M.A., Rockwood C.A. Jr. Operative treatment of irreparable rupture of the subscapularis. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(5):722-731. doi: 10.2106/00004623-199705000-00012.
39. Paladini P., Campi F., Merolla G., Pellegrini A., Porcellini G. Pectoralis minor tendon transfer for irreparable anterosuperior cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(6):e1-5. doi: 10.1016/j.jse.2012.12.030.
40. Cartaya M., Werthel J.D., Valenti P. Arthroscopic-Assisted Pectoralis Minor Transfer for Irreparable Tears of the Upper Two-thirds of the Subscapularis Tendon: Surgical Technique. *Arthrosc Tech.* 2017;6(5):e1501-e1505. doi: 10.1016/j.eats.2017.06.010.
41. Herzberg G., Urien J.P., Dimnet J. Potential excursion and relative tension of muscles in the shoulder girdle: Relevance to tendon transfer. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999;8:430-437. doi: 10.1016/s1058-2746(99)90072-1.
42. Buijze G.A., Keereweer S., Jennings G., Vorster W., Debeer J. Musculotendinous transfer as a treatment option for irreparable posterosuperior rotator cuff tears: teres major or latissimus dorsi? *Clin Anat.* 2007;20(8):919-923. doi: 10.1002/ca.20547.
43. Pearle A.D., Kelly B.T., Voos J.E., Chehab E.L., Warren R.F. Surgical technique and anatomic study of latissimus dorsi and teres major transfers. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(7):1524-1531. doi: 10.2106/JBJS.E.00426.
44. L'Episcopo J. Tendon transplantation on obstetrical paralysis. *Am J Surg.* 1934;25(1):122-125.
45. Gerber C., Vinh T.S., Hertel R., Hess C.W. Latissimus dorsi transfer for the treatment of massive tears of the rotator cuff. A preliminary report. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(232):51-61.
46. Gervasi E., Causero A., Parodi P.C., Raimondo D., Tancredi G. Arthroscopic latissimus dorsi transfer. *Arthroscopy.* 2007;23(11):1243.e1-4. doi: 10.1016/j.arthro.2006.12.021.
47. Elhassan B.T. Feasibility of latissimus and teres major transfer to reconstruct irreparable subscapularis tendon tear: an anatomic study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(4):e102-103. doi: 10.1016/j.jse.2014.12.035.
48. Kany J., Grimberg J., Amaravathi R.S., Sekaran P., Scorpie D., Werthel J.D. Arthroscopically-assisted latissimus dorsi transfer for irreparable rotator cuff insufficiency: modes of failure and clinical correlation. *Arthroscopy.* 2018;34(4):1139-1150. doi: 10.1016/j.arthro.2017.10.052.

Сведения об авторах

✉ Шершнеv Андрей Максимович

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>

e-mail: andreysersh@gmail.com

Доколин Сергей Юрьевич — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>

e-mail: sdokolin@gmail.com

Кузьмина Владислава Игоревна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>

e-mail: tasha_777@bk.ru

Кутузов Матвей Олегович

<https://orcid.org/0000-0001-8746-5414>

e-mail: kutuzovsky1995@gmail.com

Ярец Елизавета Валерьевна

<https://orcid.org/0000-0002-3000-2344>

e-mail: yaretcliza@mail.ru

Authors' information

✉ Andrei M. Shershnev

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

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2144>

e-mail: andreysersh@gmail.com

Sergei Yu. Dokolin — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-1890-4342>

e-mail: sdokolin@gmail.com

Vladislava I. Kuzmina — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-7866-5545>

e-mail: tasha_777@bk.ru

Matvei O. Kutuzov

<https://orcid.org/0000-0001-8746-5414>

e-mail: kutuzovsky1995@gmail.com

Elizaveta V. Yarets

<https://orcid.org/0000-0002-3000-2344>

e-mail: yaretcliza@mail.ru

Персоналии
УДК 61(092)
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>



СЕРГЕЙ СТЕПАНОВИЧ ТКАЧЕНКО К 100-летию со дня рождения

18 июля 2023 года исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося травматолога-ортопеда, ученого, педагога, организатора военного здравоохранения, доктора медицинских наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР, члена-корреспондента Академии медицинских наук СССР, генерал-майора медицинской службы Сергея Степановича Ткаченко.

Ключевые слова: травматология и ортопедия, история медицины.

Personalities
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>



SERGEI S. TKACHENKO To the 100th Anniversary of the Birth

July 18, 2023 marks the 100th anniversary of the birth of an outstanding orthopedic traumatologist, scientist, teacher, organizer of military healthcare, Doctor of Medical Sciences, professor, laureate of the USSR State Prize, corresponding member of the Academy of Medical Sciences of the USSR, Major General of the medical service Sergei Stepanovich Tkachenko.

Keywords: traumatology and orthopedics, history of medicine.

Сергей Степанович Ткаченко родился 18 июля 1923 г. в г. Ростове-на-Дону. После окончания средней школы в самом начале Великой Отечественной войны он добровольно вступил в ряды Красной Армии и был направлен на учебу в Куйбышевскую военно-медицинскую академию, а в 1943 г. переведен в Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова. После окончания академии проходил службу на кафедре ортопедии, где занимал должности врача-рентгенолога, старшего ординатора, преподавателя, старшего преподавателя, заместителя начальника кафедры, а с 1969 г. — начальника кафедры травматологии и ортопедии. В 1953 г. Сергей Степанович защитил кандидатскую диссертацию на тему «Внутрикостная анестезия при операциях на конечностях», а в 1963 г. — докторскую диссертацию «Костная гомопластика».

В 1960 г. С.С. Ткаченко было присвоено ученое звание доцента, в 1964 г. — профессора. В 1979 г. С.С. Ткаченко присвоено звание генерал-майора медицинской службы.

Благодаря его усилиям в 1970 г. на основании директивы начальника ЦВМУ МО СССР были созданы травматологические отделения в окружных госпиталях. Эта дата считается годом основания травматологической службы Вооруженных сил СССР. В 1973 г. С.С. Ткаченко был назначен главным травматологом МО СССР. По инициативе С.С. Ткаченко в 1973 г. на 1-м факультете ВМедА была организована плановая подготовка военных травматологов-ортопедов со сроком обучения 2 года. В 1974 г. возглавляемая профессором С.С. Ткаченко кафедра травматологии и ортопедии получила наименование «военная».

📖 Хоминец В.В. Сергей Степанович Ткаченко. К 100-летию со дня рождения. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):143-146. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>.

Cite as: Khominets V.V. Sergei S. Tkachenko. To the 100th Anniversary of the Birth. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2023;29(1):143-146. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7738>.

✉ Хоминец Владимир Васильевич / Vladimir V. Khominets; e-mail: vkhominets@yandex.ru

Рукопись получена: 21.02.2023. Статья опубликована: 14.03.2023.
Submitted: 21.02.2023. Published: 14.03.2023.

© Хоминец В.В., 2023
© Khominets V.V., 2023



Именно в должности начальника кафедры раскрылся организаторский, научный и педагогический потенциал Сергея Степановича Ткаченко. Под его руководством кафедра уделяла пристальное внимание организации травматологической службы в армии, разработке организационных основ профилактики травматизма в войсках, внедрению в практику современных методов лечения боевых повреждений, оснащению отделений и подготовке кадров военных травматологов-ортопедов. Регулярно проводились сборы главных травматологов округов и флотов, на которых обсуждали организационные и клинические проблемы оказания помощи пострадавшим от травм, а также вопросы лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Для медицинской службы ВС СССР были изданы различные методические пособия и инструкции.

Десятилетний период боевых действий в Афганистане (1979–1989) стал непростым испытанием как для личного состава кафедры, так и для всей травматологической службы ВС СССР. С первых дней войны в Окружной госпиталь ТуркВО в Ташкенте, в Кабульский армейский госпиталь и Центральный госпиталь Афганской армии Сергеем Степановичем были направлены преподаватели кафедры в качестве консультантов или начальников травматологических отделений. Помимо лечения раненых военнослужащих, сотрудниками кафедры был выполнен большой объем научно-исследовательской работы, предло-

жены и внедрены новейшие методы лечения боевой травмы, в частности огнестрельных переломов костей и ранений суставов, апробированы новые виды медицинской техники. На основании постоянного и скрупулезного анализа организации оказания травматологической помощи в этот период были изданы «Методические указания по этапному лечению раненных в конечности». Пристальное внимание С.С. Ткаченко уделял организации медицинской реабилитации раненых. При его активном участии на базе Сакского военного санатория был создан центр восстановительного лечения с операционным блоком, в котором помощь получили более 8 тыс. военнослужащих, получивших боевую хирургическую травму в Афганистане.

Диапазон научной деятельности Сергея Степановича весьма широк. Его исследования, посвященные внутрикостной анестезии, костной пластике, комбинированным поражениям, оптимизации репаративной регенерации костной ткани, разработке методов лечения переломов костей и их осложнений, патологии позвоночника и тазобедренного сустава, не утратили своей актуальности до сих пор.

Одна из первых научных работ С.С. Ткаченко в соавторстве с проф. И.Л. Крупко и проф. А.В. Воронцовым была направлена на теоретическую разработку и внедрение в практику метода внутрикостной анестезии. Особое место в исследованиях С.С. Ткаченко занимает проблема остеосинтеза. Им в 1980-х гг. были сформулированы основные принципы внутреннего остеосинтеза, а также предложено большое количество оригинальных металлоконструкций. С.С. Ткаченко в соавторстве с проф. В.М. Демьяновым разработали новую пластину для остеосинтеза, в которой за счет особой овальной формы отверстий с заданным направлением была реализована возможность динамической компрессии в зоне перелома. Данный принцип широко используется во многих современных имплантатах для остеосинтеза. В клинике военной травматологии и ортопедии активно внедрялся метод Илизарова, а также широко использовали конструкции для чрескостного остеосинтеза собственной разработки, в т.ч. аппарат, предложенный самим С.С. Ткаченко.

Опередившими свое время считают фундаментальные научные труды проф. С.С. Ткаченко по биомеханике и электрофизиологии костной ткани, выполненные в соавторстве с проф. В.В. Руцким и посвященные электростимуляции остеорепарации.

В сфере научных интересов проф. С.С. Ткаченко на протяжении всей карьеры неизменно оставалась проблема лечения раненых с боевой хирургической травмой конечностей. С 1976 по 1991 г. сотрудниками кафедры под руководством Сергея

Степановича были успешно проведены научные исследования, посвященные терминальной баллистике, лечению пострадавших с повреждениями высокоскоростными ранящими снарядами длинных костей и крупных суставов конечностей, оказанию им помощи на этапах медицинской эвакуации. Несомненно, одним из наиболее значимых результатов данных исследований стало обоснование и внедрение в практику военной медицины метода стабилизации переломов аппаратами внешней фиксации в процессе оказания помощи раненым в конечности.

В 1971 г. по инициативе С.С. Ткаченко в клинике военной травматологии и ортопедии было организовано отделение костной гнойной хирургии. Это направление традиционно считается одним из наиболее сложных и трудоемких в травматологии и ортопедии. В результате выполненных научных работ обоснована система комплексного лечения пациентов с остеомиелитом костей конечностей, предполагающая, помимо традиционных местных воздействий на гнойную костно-мышечную рану, коррекцию иммунного и нутриционного статуса. Хирургические аспекты исследований включали разработку способов пластики остеомиелитических полостей биологическими и синтетическими материалами, методик реконструктивных операций при дефектах костей конечностей. Предложены физические методы обработки гнойных ран, такие как терапия отрицательным давлением (вакуумирование), ультразвуковая обработка, инфракрасная лазеротерапия, доказана высокая эффективность применения оксигенотерапии. Создание специализированного отделения и проведенные исследования значительно улучшили результаты лечения пациентов с огнестрельным остеомиелитом, включая раненых из зоны боевых действий в Афганистане.

Бесспорно, заслуживают внимания исследования С.С. Ткаченко, посвященные костной гомопластике для замещения значительных дефектов длинных костей конечностей и проксимального суставного конца бедренной кости.

В вопросе замещения суставных концов костей при посттравматических и деформирующих артрозах приоритет был отдан эндопротезированию. Первые операции профессором С.С. Ткаченко были выполнены с использованием связанного цельнометаллического протеза тазобедренного сустава, предложенного К.М. Сивашом. В последующем для тотального эндопротезирования тазобедренного сустава применялись двухкомпонентные протезы отечественной разработки.

Обладая развитым перспективным мышлением, С.С. Ткаченко одним из первых в Ленинграде оценил широкие перспективы эндоскопических

методик при лечении патологии крупных суставов и активно способствовал внедрению артроскопии коленного сустава в повседневную практику клиники военной травматологии и ортопедии.

С.С. Ткаченко разработал оригинальные способы хирургического лечения дегенеративной и посттравматической нестабильности плечевого и коленного суставов. Относительно простая в техническом отношении операция по трансферу (перемещению) сухожилия длинной головки *m. biceps* в расщеп сухожилия подлопаточной мышцы с целью укрепления переднего отдела капсулы плечевого сустава долгое время оставалась золотым стандартом лечения передней нестабильности и привычного вывиха плеча не только в лечебных учреждениях Министерства обороны.

Важнейшим разделом, без которого невозможно представить современную медицину, является реконструктивная и пластическая хирургия. У истоков его становления в нашей стране находились профессора С.С. Ткаченко и А.Е. Белоусов. При клинике военной травматологии и ортопедии для проведения фундаментальных исследований и тренировки специальных хирургических навыков была организована микрохирургическая лаборатория. В арсенал хирургических вмешательств успешно вошли новаторские операции по реплантации пальцев, кистей рук, пересадки комплексов тканей и др.

Трудно переоценить тот весомый вклад, который внес С.С. Ткаченко в развитие вертебурологии. Сергей Степанович изобрел оригинальную металлоконструкцию — стяжку «специальную», или стяжку Ткаченко. Он первым в СССР предложил устанавливать крюки этой металлоконструкции за пластинчатую часть дужки в эпидуральное пространство. Задняя внутренняя фиксация позвоночника стяжкой С.С. Ткаченко давала возможность оперирующему хирургу рано активизировать пациента, ставить его на ноги и разрешать ходить уже на следующий день после операции. Для своего времени данный принцип фиксации позвоночника был поистине революционным, а в наши дни реализован при использовании самых современных вертебральных «крючковых» систем. Не менее важным достижением является внедрение в повседневную практику двухэтапного метода лечения «взрывных» оскольчатых переломов тел позвонков, который объединил возможности задней фиксации позвоночника и вентрального спондилодеза, обеспечивающего полноценное восстановление передней опорной вертебральной колонны. Разработанный в соавторстве с Н.М. Ястребковым дистрактор, имеющий, в отличие от оригинальной конструкции Харрингтона с храповым механизмом, резьбовую рабочую часть, позволил осуществлять более плавную кор-

рекцию сколиотических деформаций позвоночника и избегать нарушений кровоснабжения спинного мозга.

Сергей Степанович является автором и соавтором более 500 научных работ, в т.ч. 22 монографий и учебников. Некоторые работы С.С. Ткаченко, напечатанные в отечественных журналах, были представлены в виде рефератов в известных англоязычных периодических изданиях.

Профессор С.С. Ткаченко был активным изобретателем и рационализатором. Им было получено 47 авторских свидетельств на изобретения и внедрено более 170 рационализаторских предложений. За многолетний плодотворный труд в области изобретательства и рационализации профессор С.С. Ткаченко в 1989 г. был удостоен почетного звания «Заслуженный изобретатель РСФСР».

Помимо научной работы, С.С. Ткаченко уделял большое внимание учебному процессу. На академических курсах усовершенствования медицинского состава, помимо групп, изучавших общие вопросы военной травматологии и ортопедии, были основаны тематические циклы обучения. Также проходили специальную подготовку группы главных травматологов округов и флотов, преподавателей кафедр травматологии, ортопедии с курсом военно-полевой хирургии высших медицинских учебных заведений страны, врачей военных санаториев по восстановительному лечению последствий повреждений и заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Профессор С.С. Ткаченко является основателем научной школы военных травматологов-ортопедов. Под его руководством защищено 12 докторских и 40 кандидатских диссертаций. С.С. Ткаченко воспитал целую плеяду выдающихся травматологов-ортопедов, среди них Р.М. Тихилов (д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН), А.Е. Белоусов (д.м.н., профессор, лауреат Государственной пре-

мии СССР), В.С. Дедушкин (д.м.н., профессор), В.М. Шаповалов (д.м.н., профессор), А.И. Грицанов (д.м.н., профессор), А.К. Дулаев (д.м.н., профессор) и многие другие.

За время своей многолетней и плодотворной работы Сергей Степанович был удостоен большого числа наград и почетных званий. В 1976 г. он был награжден медалью Н.И. Пирогова АМН СССР и почетным знаком «За заслуги в области высшего образования СССР», избран действительным членом Международной ассоциации травматологов и ортопедов (SICOT). В 1977 г. за экспериментальное обоснование, клиническую разработку и внедрение в практику метода пересадок крупных аллотрансплантатов он был удостоен Государственной премии СССР. Профессор С.С. Ткаченко был членом Научного совета по травматологии и ортопедии при президиуме РАМН и Научного совета по биомеханике РАН, членом президиума Общества травматологов-ортопедов СССР. В журнале «Ортопедия, травматология и протезирование» возглавлял редакционную коллегию, а в журналах «Анналы травматологии и ортопедии», «Травматология и ортопедия России» входил в ее состав. В декабре 1986 г. С.С. Ткаченко был избран членом-корреспондентом Академии медицинских наук СССР.

За 47 лет безупречной службы в Вооруженных силах СССР генерал-майор медицинской службы С.С. Ткаченко награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Знак Почета», медалями «За боевые заслуги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и многими ведомственными медалями.

В 1989 г. С.С. Ткаченко был уволен в отставку, но продолжал трудиться на родной кафедре в должности профессора. Умер Сергей Степанович 26 июля 1997 г. в Санкт-Петербурге, проработав на кафедре 49 лет. Похоронен на академической площадке Богословского кладбища.

Хоминец Владимир Васильевич

д-р мед. наук, профессор
начальник кафедры и клиники военной травматологии и ортопедии
Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова