

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



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

TRAUMATOLOGY
AND ORTHOPEDICS
OF RUSSIA

2023 • Т. 29 • № 3

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

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

Traumatology and Orthopedics of Russia

Vol. 29, N 3, 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

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

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

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



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

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

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. Belenkiy – Dr. Sci. (Med.) (St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia)
Mikhail V. Belov – Cand. Sci. (Med.) (Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)
Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.) (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Dmitry Yu. Borzunov – Dr. Sci. (Med.) (Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia)
Aleksander V. Gubin – Dr. Sci. (Med.), Professor (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.) (Tsvivan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)
Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)
Djoldas Kuldjanov – MD, Professor (University Hospital, St. Louis, USA)
Dmitry A. Malanin – Dr. Sci. (Med.), Professor (Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia)
Alexander M. Miromanov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Chita State Medical Academy, Chita, Russia)
Vyacheslav N. Mitrofanov – Cand. Sci. (Med.) (Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia)
Valery Yu. Murylev – Dr. Sci. (Med.), Professor (Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia)
Javad Parvizi – MD, Professor (Rothman Institute, Philadelphia, USA)
Carsten Perka – MD, Professor (Charité – University Medicine, Berlin, Germany)
Dmitry A. Ptashnikov – Dr. Sci. (Med.), Professor (Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)
Sergey O. Ryabykh – Dr. Sci. (Med.) (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.



Травматология и ортопедия России

Том 29, Выпуск 3, 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

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

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

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



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

Распространяется по подписке:
Индекс **ПНО30** в каталоге «Почта России»;
Индекс **33020** в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакторы Колесникова И.В., Шен А.С.
Технический редактор Гаврилова С.В.
Переводчики: Сергеева М.А., Мальшев В.И.

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург,
ул. Сабиrowsкая, 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)
Пташников Д.А. – д-р мед. наук, профессор (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)
Рябых С.О. – д-р мед. наук (РНИМУ 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)

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journal.rniito.org>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя и редакции, ссылка на журнал обязательна.

CONTENTS

CLINICAL STUDIES

Shubnyakov I.I., Riahi A., Sereda A.P., Cherkasov M.A., Khujanazarov I.E., Tikhilov R.M.
Impact of Zweymüller Stem Modification on Clinical and Radiological Outcomes5

Murylev V.Yu., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Rukin Ya.A., Muzychenkov A.V., Rudnev A.I., Zhuchkov A.G., Alekseev S.S., Bobrov D.S., Germanov V.G.
Comparative Evaluation of Custom-Made Components and Standard Implants for Acetabular Reconstruction in Revision Total Hip Arthroplasty18

Klimov V.S., Khalepa R.V., Amelina E.V., Evsukov A.V., Krivoschapkin A.L., Ryabykh S.O.
Syndromic Assessment of Degenerative Disorders of the Lumbar Spine in Elderly Patients31

Ryazantsev M.S., Logvinov A.N., Il'in D.O., Magnitskaya N.E., Zariпов A.R., Frolov A.V., Afanasyev A.P., Korolev A.V.
Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction46

COMMENTS

Kornilov N.N.
Editorial Comment on the Article by M.S. Ryazantsev et al. "Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"53

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N.
Structural Reorganization of the Third Metatarsal Bone Shaft After Autogenous Plasty of the Tibial Portion of the Sciatic Nerve.....56

NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

Oleinik A.V., Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Kochish A.Yu., Razumova K.V., Binazarov A.E., Maiorov B.A.
Original Guide for Minimally Invasive Distal Osteotomy of the First Metatarsal Bone in the Treatment of Hallux Valgus65

TRAUMA AND ORTHOPEDIC CARE

Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., Panteleev A.N., Guatsaev M.S., Kazemirsky A.V., Kulyaba T.A., Sereda A.P.
Current State of Knee Arthroplasty in Russia: Analysis of 36,350 Cases from the Register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics73

Zorin V.I., Lukyanov S.A.

Telemedicine Consultations for Children With Musculoskeletal Injuries: Data from the Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics and Trauma Surgery86

CASE REPORTS

Peretsmanas E.O., Tyulkova T.E., Zubikov V.S., Gerasimov I.A., Kaminsky G.D.
Human Immunodeficiency Virus in the Focus of Bone Tissue Destruction in Patients With Aseptic Osteonecrosis of the Femoral Head: Two Case Reports94

Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Batrak Yu.M., Pavlov V.V., Kirilova I.A.
Reconstruction of Acetabular and Femoral Bone Defects With Impaction Bone Grafting in Revision Hip Arthroplasty: A Case Report102

Kisel D.A., Fain A.M., Svetlov K.V., Bogolyubsky Yu.A., Aleynikova I.B., Sinkin M.V.
Treatment of Iatrogenic Nerve Injury After Humeral Shaft Fracture Fixation: A Case Report.....110

Avdeev A.I., Parfeev D.G., Parshin D.D., Sinitsyna E.V.
Coracoid Process Fracture Associated With a Distal Clavicle Fracture: A Case Report.....118

DISCUSSIONS

Erivantseva T.N., Tuzova S.Yu., Lyskov N.B., Blokhina Yu.V., Isamova A.A.
Traumatology and Orthopedics in the Focus of Intellectual Property124

REVIEWS

Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A.
Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Approaches to Preoperative Planning (Systematic Review).....136

Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Yarygin N.V.
Bone Defect Replacement in Diabetic Neuropathic Osteoarthropathy (Charcot Foot): Review149

OBITUARY

Sergei P. Mironov.....157

СОДЕРЖАНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шубняков И.И., Риахи А., Середа А.П., Черкасов М.А., Хужаназаров И.Э., Тихилов Р.М.
Что изменила модификация бедренного компонента Zweymüller? 5

Мурылев В.Ю., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Рукин Я.А., Музыкаченок А.В., Руднев А.И., Жучков А.Г., Алексеев С.С., Бобров Д.С., Германов В.Г.
Сравнительная оценка использования индивидуальных 3D-компонентов и стандартных имплантатов для реконструкции вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании 18

Климов В.С., Халепа Р.В., Амелина Е.В., Евсюков А.В., Кривошапкин А.Л., Рябых С.О.
Синдромальная оценка дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника у пациентов пожилого и старческого возраста 31

Рязанцев М.С., Логвинов А.Н., Ильин Д.О., Магнитская Н.Е., Зарипов А.Р., Фролов А.В., Афанасьев А.П., Королев А.В.
Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки 46

КОММЕНТАРИИ

Корнилов Н.Н.
Редакционный комментарий к статье М.С. Рязанцева с соавторами «Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки» 53

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Щудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н.
Структурная реорганизация диафиза III плюсневой кости после аутогенной пластики большеберцовой порции седалищного нерва 56

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Олейник А.В., Бельский И.Г., Сергеев Г.Д., Кочиш А.Ю., Разумова К.В., Биназаров А.Е., Майоров Б.А.
Оригинальный направитель для малоинвазивной дистальной остеотомии первой плюсневой кости при лечении вальгусной деформации первого пальца стопы 65

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ

Преображенский П.М., Филь А.С., Корнилов Н.Н., Пантелеев А.Н., Гуацаев М.С., Каземирский А.В., Куляба Т.А., Середа А.П.
Эндопротезирование коленного сустава в клинической практике: анализ 36 350 наблюдений из регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена 73

Зорин В.И., Лукьянов С.А.

Анализ телемедицинских консультаций детям с повреждениями опорно-двигательного аппарата по данным НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера 86

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

Перецманас Е.О., Тюлькова Т.Е., Зубиков В.С., Герасимов И.А., Каминский Г.Д.
Вирус иммунодефицита человека в очаге деструкции костной ткани при асептическом некрозе головки бедренной кости: клинические наблюдения 94

Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В., Кирилова И.А.
Замещение дефектов вертлужной впадины и бедренной кости с использованием импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: клинический случай 102

Кисель Д.А., Файн А.М., Светлов К.В., Боголюбовский Ю.А., Алейникова И.Б., Синкин М.В.
Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай 110

Авдеев А.И., Парфеев Д.Г., Паршин Д.Д., Сеницына Е.В.
Перелом клювовидного отростка лопатки в сочетании с переломом акромиального конца ключицы: клинический случай 118

ДИСКУССИИ

Эриванцева Т.Н., Тузова С.Ю., Лысков Н.Б., Блохина Ю.В., Исамова А.А.
Травматология и ортопедия в фокусе интеллектуальной собственности 124

ОБЗОРЫ

Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А.
Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы) 136

Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В.
Замещение костных дефектов при диабетической нейроостеоартропатии (стопа Шарко): обзор литературы 149

НЕКРОЛОГ

Сергей Павлович Миронов 157



Impact of Zweymüller Stem Modification on Clinical and Radiological Outcomes

Igor I. Shubnyakov¹, Aymen Riahi², Andrei P. Sereda¹, Magomed A. Cherkasov¹, Ilkhom E. Khujanazarov^{3,4}, Rashid M. Tikhilov¹

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

² "MedClub", St. Petersburg, Russia

³ Medical Academy of Tashkent, Tashkent, Republic of Uzbekistan

⁴ Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract

Background. According to the analysis of large arthroplasty registers we have noted the increase in the use of non-cemented implants, because the latter shows the same results of implant survival as well as cemented implants. On the other hand, they can affect the quality of the bone around the implant in different ways. These components differ in shape, length, and surface properties. According to the analysis of the arthroplasty register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, a significant decrease of the Alloclassic femoral stem using can be noted. In parallel the use of its SL-PLUS MIA modification has increased significantly.

Aims of the study: 1) to determine the influence of changes in the design of the Zweymüller-type femoral stem on midterm and long-term outcomes and its survival; 2) to identify the characteristics of adaptive remodeling of periprosthetic bone tissue around these femoral stems; 3) to determine risk factors for aseptic loosening of these femoral stems.

Methods. 492 cases of hip arthroplasty using the Alloclassic and SL-PLUS MIA femoral stems were observed, with an average follow-up 78.6 months. The patients were divided into 2 groups according to the type of femoral stem. The assessment the hip articulation condition was carried out using the HHS and OHS. The intensity of the pain syndrome was assessed by VAS, and the level of patient's satisfaction. The dynamic analysis of X-rays was also performed visually.

Results. A significant improvement in clinical and functional results was observed according to the HHS and OHS in both groups of patients, regardless of the type of femoral stem. Analysis of X-rays over time showed differences in the behavior of these two femoral component models. The radiolucent lines around the femoral stem are absent in SL-PLUS MIA group, in Alloclassic stem group radiolucent lines are present even at a minimal period (12 months). We also found that a tight fit of Zweymüller femoral stems in the distal shaft is a risk factor for severe stress-shielding syndrome, especially in the funnel channels. But ceteris paribus, a distal tight fit of SL-PLUS MIA stems despite similar geometry of the distal part does not lead to such frequent manifestation of severe stress shielding.

Conclusion. The change in Zweymüller stem design from Alloclassic to SL-PLUS MIA improved the nature of adaptive remodeling in the periprosthetic area of the femur. It may improve the long-term results of primary hip arthroplasty, but these differences require closer observation.

Keywords: hip arthroplasty, Zweymüller-type femoral stems, stress-shielding syndrome, radiolucent lines, aseptic loosening.

Cite as: Shubnyakov I.I., Riahi A., Sereda A.P., Cherkasov M.A., Khujanazarov I.E., Tikhilov R.M. Impact of Zweymüller Stem Modification on Clinical and Radiological Outcomes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):5-17. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-13226>.

✉ Aymen Riahi; e-mail: riahi_aymen@outlook.com

Submitted: 15.06.2023. Accepted: 08.09.2023. Published: 15.09.2023.

© Shubnyakov I.I., Riahi A., Sereda A.P., Cherkasov M.A., Khujanazarov I.E., Tikhilov R.M., 2023



Научная статья
УДК 616.728.2-089.844-77
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-13226>

Что изменила модификация бедренного компонента Zweymüller?

И.И. Шубняков¹, А. Риахи², А.П. Середа¹, М.А. Черкасов¹,
И.Э. Хужаназаров^{3,4}, Р.М. Тихилов¹

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

² ООО «МедКлуб», г. Санкт-Петербург, Россия

³ Ташкентская медицинская академия, г. Ташкент, Республика Узбекистан

⁴ Республиканский специализированный научный и практический медицинский центр Минздрава Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат

Актуальность. Анализ крупных регистров артропластики показывает, что наблюдается значительный рост использования бесцементных бедренных компонентов, так как современные конструкции показывают схожие результаты выживаемости как при цементной, так и при бесцементной фиксации. Однако эти компоненты различаются по форме, длине и свойствам поверхности, поэтому могут по-разному влиять на качество кости вокруг имплантата. Согласно данным регистра эндопротезирования НМИЦ ТО им Р.Р. Вредена, отмечается значительное уменьшение доли использования бедренного компонента Alloclassic, в то время как доля использования его модификации SL-PLUS MIA значительно увеличилась.

Цели исследования: 1) определить, влияет ли изменение дизайна бедренного компонента типа Zweymüller на среднесрочные и отдаленные результаты и его выживаемость; 2) определить особенности адаптивного ремоделирования перипротезной костной ткани в области имплантации этих бедренных компонентов; 3) определить факторы риска асептического расшатывания данных бедренных компонентов.

Материал и методы. Выполнен анализ 492 случаев эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием компонентов Alloclassic и SL-PLUS MIA. Средний срок наблюдения — 78,1 мес. (МКИ 36,0–132,0). Пациенты были разделены на две группы в зависимости от типа бедренного компонента. Проведена клиническая оценка состояния тазобедренного сустава по шкалам Harris и OHS, дополнительно оценивались интенсивность болевого синдрома по VAS и уровень удовлетворенности пациентов результатами лечения. Также выполнен анализ рентгенограмм в динамике.

Результаты. Значительное улучшение клинико-функциональных результатов наблюдалось по шкалам HHS и OHS в обеих группах пациентов независимо от типа бедренного компонента. Анализ рентгенограмм в динамике показал различия в поведении этих двух моделей бедренного компонента. Линии рентгеновского просветления вокруг бедренного компонента отсутствовали при использовании бедренного компонента SL-PLUS MIA, а при использовании ножки Alloclassic присутствовали даже при минимальном сроке наблюдения (12 мес.). Фактором риска развития тяжелого стресс-шилдинг синдрома при использовании бедренных компонентов типа Zweymüller является плотная посадка в дистальной части ножки, особенно в воронкообразных каналах. Но при прочих равных условиях плотная дистальная посадка ножек SL-PLUS MIA, несмотря на схожую геометрию дистальной части, не приводит к столь частому проявлению тяжелого стресс-шилдинга.

Заключение. Изменение дизайна ножки типа Zweymüller из Alloclassic в SL-PLUS MIA позволило улучшить характер адаптивного ремоделирования перипротезной зоны бедренной кости, что, возможно, улучшит отдаленные результаты первичного эндопротезирования ТБС. Но данные различия требуют дальнейшего наблюдения.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, выживаемость эндопротеза, линии рентгеновского просветления, асептическое расшатывание бедренного компонента.

Для цитирования: Шубняков И.И., Риахи А., Середа А.П., Черкасов М.А., Хужаназаров И.Э., Тихилов Р.М. Что изменила модификация бедренного компонента Zweymüller? *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):5–17. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-13226>.

Риахи Аймен; e-mail: riahi_aymen@outlook.com

Рукопись получена: 15.06.2023. Рукопись одобрена: 08.09.2023. Статья опубликована: 15.09.2023.

© Шубняков И.И., Риахи А., Середа А.П., Черкасов М.А., Хужаназаров И.Э., Тихилов Р.М., 2023

BACKGROUND

One of the trends in modern arthroplasty is the increasing frequency of using non-cemented implants in hip replacement, which is confirmed by the data of numerous arthroplasty registers¹⁻⁶ and scientific publications [1, 2, 3, 4, 5]. On the one hand, this is due to the fact that existing non-cemented prostheses show similar or even better survival results than cemented ones [4, 6, 7, 8]. On the other hand, the use of cemented implants, despite their relative cheapness, is associated with an increase in the surgery duration, which levels their economic attractiveness [6, 9].

Nowadays, there is a huge number of non-cemented femoral stems of different geometry, which, due to their design features, transfer the load to the underlying bone in different ways, leading to formation of specific adaptive remodeling response [10, 11]. In some cases, the normal process of adaptive bone remodeling becomes negative, and leads to bone weakening and implant loosening [10, 12].

Analysis of hip arthroplasty register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics has revealed a tendency towards gradual decrease in the proportion of straight wedge-shaped stems with a rectangular cross-section compared to proximally curved wedge-shaped stems fully coated with hydroxyapatite. In particular, the most commonly used Zweymüller (Alloclassic) femoral stems have become five and a half times less frequently used, with their share decreasing from 42.4% of all non-cemented stems in 2007 to 7.7% in 2018-2020. At the same time, the SL-PLUS MIA modification of this stem was used in only 0.8% of cases in 2014 (at the beginning of use) and in 2018-2020 - in 14,0% [5].

Aims of the study: 1) to determine the influence of changes in the design of the Zweymüller-type femoral stem on midterm and long-term outcomes and its survival; 2) to identify the characteristics of adaptive remodeling of periprosthetic bone tissue around these femoral stems;

3) to determine risk factors for aseptic loosening of these femoral stems.

METHODS

Hip arthroplasty register database contained 1580 cases of primary arthroplasty using two Zweymüller stem models: Alloclassic (Zimmer-Biomet) and SL-PLUS MIA (Smith+Nephew). Of these, only 779 observations had both pre- and postoperative X-rays. Of these cases, some observations were lost to complete analysis: 9 patients (11 observations) had died by the time of the study, and 269 patients (276 cases of hip arthroplasty) could not be contacted. Therefore, assessment of functional results and analysis of X-rays in dynamics were performed in 492 (63.2%) observations out of 779 at a mean time of 78.1 months (IQR 36.0-132.0; Me = 60.0: 12.0 to 180.0) (Fig. 1). Patients were operated by different surgical teams using different approaches and were divided into two groups according to the type of the stem.

Alloclassic stem was used in 37.3% of cases in men and 62.7% of cases in women, whereas SL-PLUS MIA stem was used in 25.3% of cases in men and 74.7% of cases in women ($p = 0.012$).

There was also a statistically significant difference in the frequency of stem use in complex cases of primary hip arthroplasty: Alloclassic stems were used in 80.3% of complex cases and 19.7% in stan-

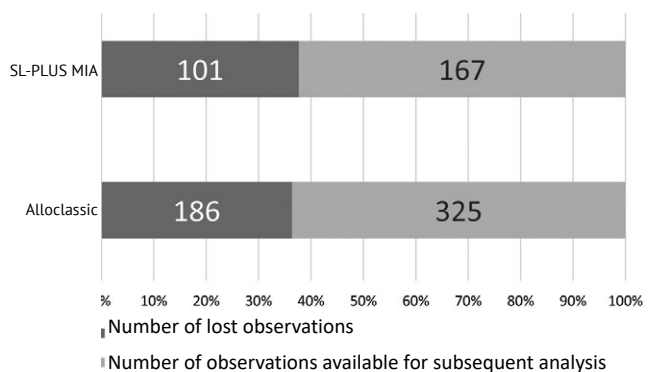


Fig. 1. Distribution of observations by the type of femoral stem

¹ American Joint Replacement Registry. Annual report 2020. Available from: <http://www.ajrr.net/publications-data/annual-reports>.

² Australian Orthopaedic Association. National Joint Replacement Registry, 2022 Annual Report. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com>.

³ National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man 19th Annual Report 2022. Available from: <https://www.njrcentre.org.uk>.

⁴ Norwegian Hip Arthroplasty Register Annual Report 2021. Available from: <http://nrlweb.ihelse.net>.

⁵ Swedish Hip Arthroplasty Register. Annual Report 2021. Available from: <https://registercentrum.blob.core.windows.net/slr/r/SAR-Annual-Report-2021-SJIAFmlR15.pdf>.

⁶ The German Arthroplasty Registry (EPRD – Endoprothesenregister Deutschland). Annual Report 2020. Available from: <https://www.eprd.de>.

standard cases, while SL-PLUS MIA stems were used in 93.2% and 6.8%, respectively ($p < 0.001$) (Tab. 1).

Follow-up period was statistically significantly longer when Alloclassic stems were used ($p < 0.001$). Patients operated with SL-PLUS MIA stems had a follow-up period of 37.6 months (IQR 24.0-48.0; Me = 36.0; 12.0 to 84.0), while patients operated with Alloclassic stems had a follow-up period of 99.4 months (IQR 60.0 to 144.0; Me = 96.0; 24.0 to 180).

Clinical outcomes of hip arthroplasty were assessed according to the Harris Hip Score (HHS), the Oxford Hip Score (OHS) and the satisfaction index on a 10-point scale. Pain syndrome intensity was assessed by 10-point VAS.

To achieve the goals, we processed and analyzed X-rays of all patients before and after surgery using the "mediCAD® Classic" software (Sante Medical Systems, Russia).

The following quantitative parameters were measured on preoperative and postoperative pelvic X-rays:

- femoral offset,
- difference in limb length,
- Dorr index [13],
- degree of prosthetic filling in the three Gruen zones [13],
- prosthesis axis/femoral axis angle.

Qualitative X-ray parameters were also evaluated:

- presence of stress-shielding syndrome and its severity according to the C. Engh classification [14],
- presence of radiolucent lines around the stem along the Gruen lines,
- presence of the cortical layer hypertrophy of the bone,
- presence of pedestal [15].

Table 1

Distribution of observations by etiologic diagnosis, n (%)

Etiologic diagnosis		Alloclassic	SL-PLUS MIA	Total
Standard cases of arthroplasty	PHOA	105 (20.5)	16 (5.9)	121 (15.5)
	AONFH	20 (3.9)	10 (3.7)	30 (3.8)
	PFF	4 (0.7)	0 (0)	4 (0.5)
	Total	129 (25.1)	26 (9.6)	155 (19.8)
Complex cases of arthroplasty	DHOA	283 (55.3)	189 (70.5)	472 (60.6)
	Arthritis	25 (4.8)	12 (4.4)	37 (4.7)
	PThOA	67 (13.1)	29 (10.8)	96 (12.3)
	Ankylosis	7 (1.7)	12 (4.7)	19 (2.6)
	Total	382 (74.9)	242 (90.4)	624 (80.2)
Total		511 (100)	268 (100)	779 (100)

PHOA – primary hip osteoarthritis; AONFH – aseptic osteonecrosis of the femoral head; PFF – proximal femur fracture; DHOA – dysplastic hip osteoarthritis; PThOA – post traumatic hip osteoarthritis.

Statistical analysis

Statistical calculations were performed using the SPSS Statistic v. 26 (IBM) software. Methods of descriptive statistics were used. Taking into account the non-normal data distribution, in addition to mean values, the median (Me) was used to measure the central tendency for the studied parameters, and the lower (Q1) and upper (Q3) quartiles (25-75% IQR) were used as measures of dispersion. Minimum and maximum values in the data series were also indicated. Quantitative parameters in groups and

subgroups were compared using the Mann-Whitney U-test, and for multiple comparisons the method of single-factor analysis of variance (ANOVA test) was used. Comparison of the frequency characteristics of the parameters was performed using the nonparametric chi-square test, in case of a small number of observations with the Yates correction. Prediction methods were used for a number of parameters – calculation of odds ratios (OR). Survival rates for each type of the stem were determined using the Kaplan-Meier method.

RESULTS

Number of revisions and time of surgery

Twenty-eight out of 492 observations (64.1% of 779 observations included in the study) were performed between 2007 and 2020, representing 5.7% with an overall mean follow-up period of 7.7 years (IQR 3.5-11.5; Me = 7.5: 1.0 to 14.0). There were 23 revisions in the Alloclassic group (mean follow-up period was 93.3 months (IQR 36.0-132.0; Me = 108.0: 12.0 to 156.0), and 5 cases were noted in the SL-PLUS MIA group (mean follow-up period was 31.2 months (IQR 12.0-

54.0; Me = 24.0: 12.0 to 60.0). Despite the higher number of revisions in the group of patients with the Alloclassic stem, this difference was not statistically significant ($p = 0.095$) (Table 2). The 10-year Kaplan-Meier prosthesis survival rate with the endpoint "revision for any reason" was 92.8% (Fig. 2).

Given the difference in the follow-up periods, the structure of reasons for revision differed between the patient groups (Table 2). When using the SL-PLUS MIA stem, there were no revisions associated with aseptic loosening of the components, and aseptic loosening of the Alloclassic stem was noted in 6 (1.8%) cases.

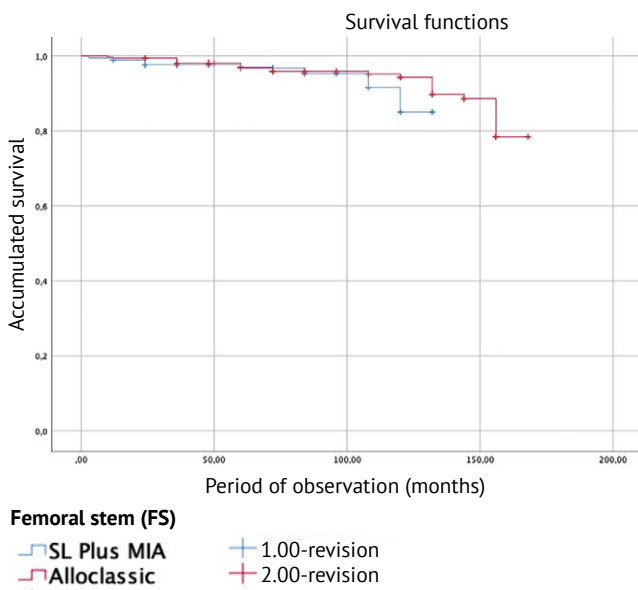


Fig. 2. Survival of endoprostheses according to the Kaplan-Meier method

Functional state of patients

The vast majority of patients had a significant improvement in hip function after surgery, expressed in an increase of the HHS compared to the preoperative level. Preoperatively, the mean HHS was 42.0 points (IQR 36.0-46.0; Me=43.0:24.0to67.0),and aftersurgery-93.1 points (IQR 91.5-96.0; Me = 94.0: 72.0 to 98.0) (Fig. 3).

Patients with the Alloclassic stems had a mean HHS of 93.1 (IQR 92.0-96.0; Me 94.0: 72.0 to 98.0) and those with the SL-PLUS MIA stems had a mean HHS of 93.3 (IQR 91.0-97.0; Me = 95.0 (72.0 to 98.0; $p = 0.001$).

Distribution of the OHS was similar: patients operated with the Alloclassic femoral stem had a mean score of 44.7 (IQR 43.0-47.0; Me = 46.0: 36.0 to 48.0), and patients with the SL-PLUS MIA femoral stem had a mean score of 44.3 (IQR 42.0-47.0; Me = 46.0: 35.0 to 48.0; $p < 0.001$).

Table 2

Reasons for revision in groups with different stems

Cause of revision	Alloclassic (n = 325)	SL-PLUS MIA (n = 167)	Bcero (n = 492)
FS aseptic loosening	6 (1.8)	0 (0)	6 (1.2)
AC aseptic loosening	4 (1.2)	0 (0)	4 (0.8)
Prosthesis dislocation	5 (1.5)	2 (1.2)	7 (1.4)
Infection	6 (1.8)	1 (0.6)	7 (1.4)
Periprosthetic fracture	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Muscle weakness	1 (0.3)	1 (0.6)	1 (0.2)
Pain syndrome	1 (0.3)	1 (0.6)	1 (0.2)
Total	23 (7.1)	5 (3.0)	28 (5.7)

FS – femoral stem; AC – acetabular component.

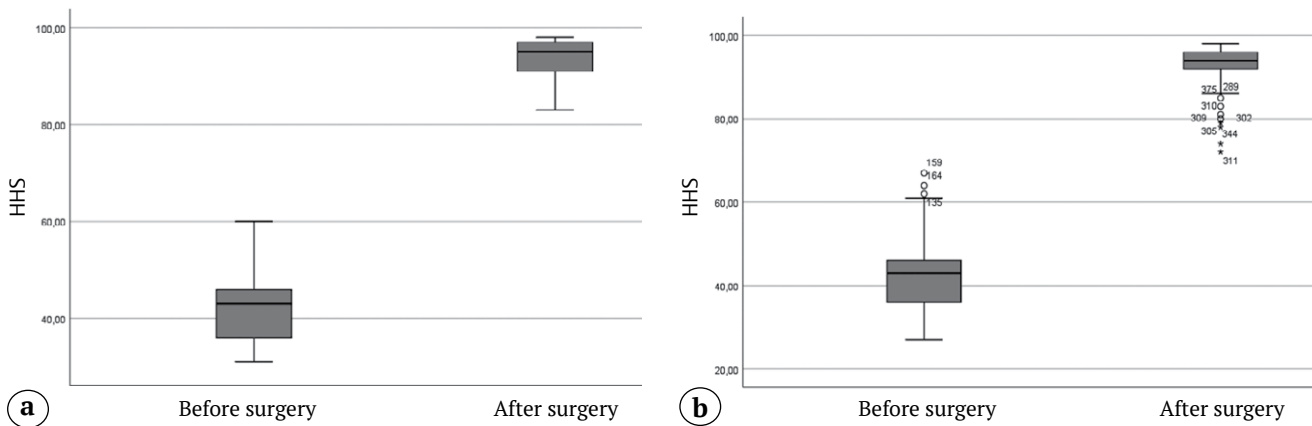


Fig. 3. Average score on the HHS before and after surgery: a – Alloclassic; b – SL-PLUS MIA

Despite statistically significant differences in functional scale scores, there was no significant difference in clinical outcomes. A high level of patient satisfaction index was obtained in both groups with no statistically significant difference between the groups ($p = 0.059$). Patients operated with the use of the Alloclassic femoral stem had a mean satisfaction index of 9.0 (IQR 8.0-10.0; Me = 10.0: 4.0 to 10.0) and with the use of the SL-PLUS MIA - 8.6 (IQR 8.0-10.0; Me = 9.0: 3.0 to 10.0). The mean VAS pain score of the patients with the Alloclassic femoral stem was 1.0 points (IQR 0.0-2.0; Me = 0: 0 to 8.0) and that of the patients with the SL-PLUS MIA stems was 1.6 points (IQR 0.0-2.0; Me = 1.0: 0 to 8.0; $p = 0.404$).

X-ray signs of adaptive bone tissue remodeling around femoral stems

During the studied period of observation when Alloclassic femoral stem was used in 108 (33.2%) cases, hypertrophy of the cortical layer was detected in the Gruen zones 2-6. The most pronounced changes were observed in the zones 3 and 5. Pedestal formation in the distal part of the stem was observed in 101 (30.1%) cases. When the SL-PLUS MIA stem was used, hypertrophy of the cortical layer around the implant was observed only in 24 (14.3%) cases, and the pedestal was formed only in 28 (16.7%) cases. However, this discrepancy may be accounted for the differences in the follow-up time, as the degree of adaptive remodeling of the bone around the prosthetic stem became more distinct over time (Pearson's positive correlation $R = 0.470$; $p < 0.001$).

At the long-term follow-up, rather significant stress shielding (3-4 degrees) was detected in 39 cases. The third degree was detected in 27 cases out of 325 (8.3%) in patients with the Alloclassic stems (mean follow-up period 74.4 months (IQR 63.0-97.0), in patients with the SL-PLUS MIA stems – in 2 cases out of 167 (1.2%) (mean follow-up period 55.5 months). In other 10 (3.1%) observations, grade 4 stress shielding was noted when the Alloclassic stems were used (Fig. 4, 5).

In these cases, the mean follow-up period was 117.0 months (IQR 96.0-138.0). No significant bone remodeling was observed in our study when using the SL-PLUS MIA femoral stem, probably due to considerably shorter follow-up periods (Table 3).

The time since surgery was the most significant factor in the development of stress-shielding syndrome. Odds ratio for detecting grade 2-4 stress-shielding syndrome at follow-up of 48 months or more was OR 5.662 (95% CI: 3.171-10.113; $p < 0.001$). However, there are other factors, including anatomical features of the femur and technical details of the femoral stem implantation. A funnel-shaped canal (Dorr type A) has been found to be a risk factor for the development of more pronounced stress-shielding syndrome (grades 2-4). Correlation between the canal type and the severity of stress-shielding syndrome is demonstrated using the chi-square test. Chi-square value is 55.853, which indicates a highly statistically significant correlation ($p < 0.001$) (Table 4).

Another factor affecting the development of stress-shielding syndrome is the way the femo-

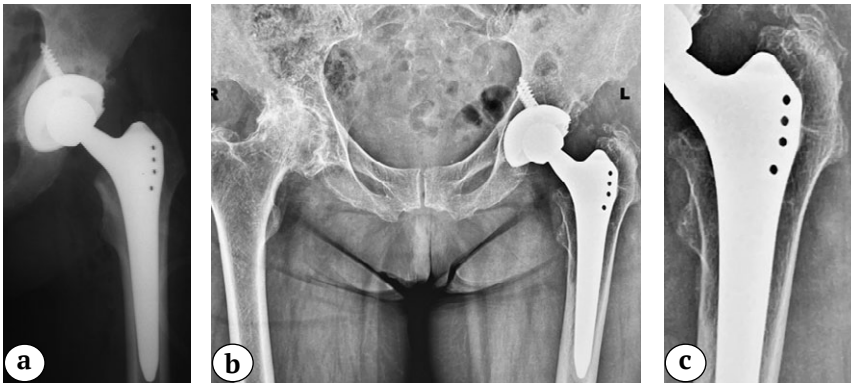


Fig. 4. A 66-year-old patient in 2008 underwent left THA for primary idiopathic hip arthritis.

The canal fill index in the 1st zone was 0.63, and in the 2nd and 3rd zones, it was 1.0 (a).

At the time of the survey, the patient's satisfaction was 10 points, and VAS pain score was 0. X-rays taken 13 years later show signs of stress shielding syndrome of the 4th degree, characterized by thinning of the inner and outer cortical layers to the femoral diaphysis (b).

X-rays also reveal areas of osteolysis in the proximal part of the femur, especially clear up to the level of the lesser trochanter, and osteolysis areas in the screw region in the retroacetabular zone, as well as heterotopic ossification in the area of the greater trochanter (Brooker 1-2). The enlarged X-ray visualizes bone loss (atrophy) without clear boundaries, while preserving the trabecular structure, especially at the border with the implant. The bone in this case does not exhibit focal deformations typically seen in osteolytic changes. This is because the mechanism of bone loss is related stress bypass in the distal direction, consequently resulting in reduced loading bone in the proximal regions (c)

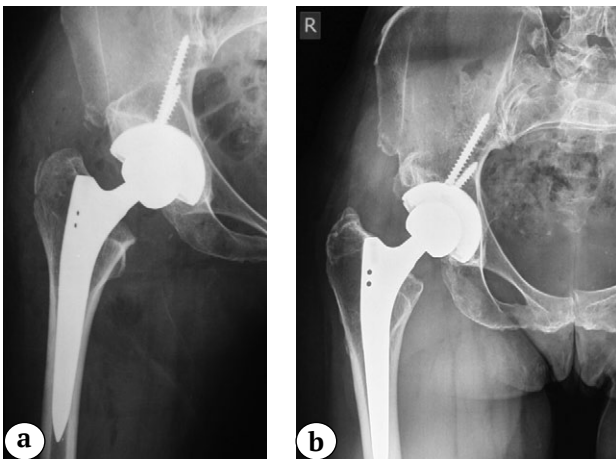


Fig. 5. A 40-year-old patient in 2014 underwent left THA for dysplastic hip arthritis, with a canal fill index of 0.63 in the 1st zone, 0.79 in the 2nd zone, and 1.0 in the 3rd zone (a). At the time of the survey, the patient was satisfied with 10 points, and VAS pain score was 0. X-rays taken 6 years later show signs of stress shielding syndrome of the 3rd degree, characterized by thinning of the inner cortical layer below the level of the lesser trochanter (b)

ral stem fills the canal. Tighter fit in the distal third of the stem is a risk factor for the development of more severe stress-shielding syndrome. If the canal filling index with Zweymüller stems (Alloclassic and SL-PLUS MIA) is greater than the mean value for the respective component type, the risk of grade 2-4 stress-shielding syndrome is higher than that with a filling index less than the mean value (OR = 3.166; 95% CI: 2.02-4.96; $p < 0.001$) (Table 5).

In 49 (15.1%) observations when the Alloclassic femoral stem was used, the presence of radiolu-

cent lines along the stem of the prosthesis, more pronounced in the proximal region, was detected. No such lines were found when using the SL-PLUS MIA stem.

In our study, we could not detect the intensity and localization of radiolucent lines depending on the varus-valgus position of the stem (Table 6). However, the presence of radiolucent lines may be a sign of gradual loosening of the femoral stem. Odds ratio for aseptic loosening of the Alloclassic stem in the presence of radiolucent lines is OR 12.178 (95% CI: 2.167-68.446; $p = 0.003$) (Fig. 6).

Table 3

Severity of stress-shielding syndrome depending on the femoral stem and its position

Femoral stem	Position in the canal	Severity of stress-shielding syndrome					Total
		0	1	2	3	4	
Alloclassic	Varus	9	55	20	8	3	95
	Neutral	12	108	17	12	7	156
	Valgus	8	47	12	7	0	74
	Total	29	210	49	27	10	325
SL-PLUS MIA	Varus	6	31	12	0	0	49
	Neutral	10	48	20	2	0	78
	Valgus	5	23	12	0	0	40
	Total	21	102	42	2	0	167
Total		50	312	91	29	10	492
Follow-up period, mos.		17.2	28.1	65.7	95.9	103.1	

Table 4

Severity of stress-shielding syndrome depending on the Dorr index

Femoral stem	Dorr type	Severity of stress-shielding syndrome					Total
		0	1	2	3	4	
Alloclassic	Dorr A	1	65	28	17	6	117
	Dorr B	10	126	20	8	4	168
	Dorr C	18	19	1	2	0	40
	Total	29	210	49	27	10	325
SL-PLUS MIA	Dorr A	3	23	26	2	0	54
	Dorr B	6	70	15	0	0	91
	Dorr C	12	9	1	0	0	22
	Total	21	102	42	2	0	167
Total		50	312	91	29	10	492

Table 5

Localization of stress-shielding syndrome depending on the degree of canal filling at different levels

Femoral stem	Zone	Degree of canal filling	Severity of stress-shielding syndrome					Total
			0	1	2	3	4	
Alloclassic	1	<0.6	6	36	11	14	6	73
		≥0.6	23	174	38	13	4	252
	2	<0.79	19	99	29	11	2	160
		≥0.79	10	111	20	16	8	165
	3	<0.92	32	91	13	4	0	140
		≥0.92	7	109	36	23	10	185
SL-PLUS MIA	1	<0.6	4	36	7	2	0	49
		≥0.6	17	66	35	0	0	118
	2	<0.79	12	65	20	2	0	99
		≥0.79	9	37	22	0	0	68
	3	<0.90	19	42	15	0	0	76
		≥0.90	2	60	27	2	0	91
Total			50	312	91	29	10	492

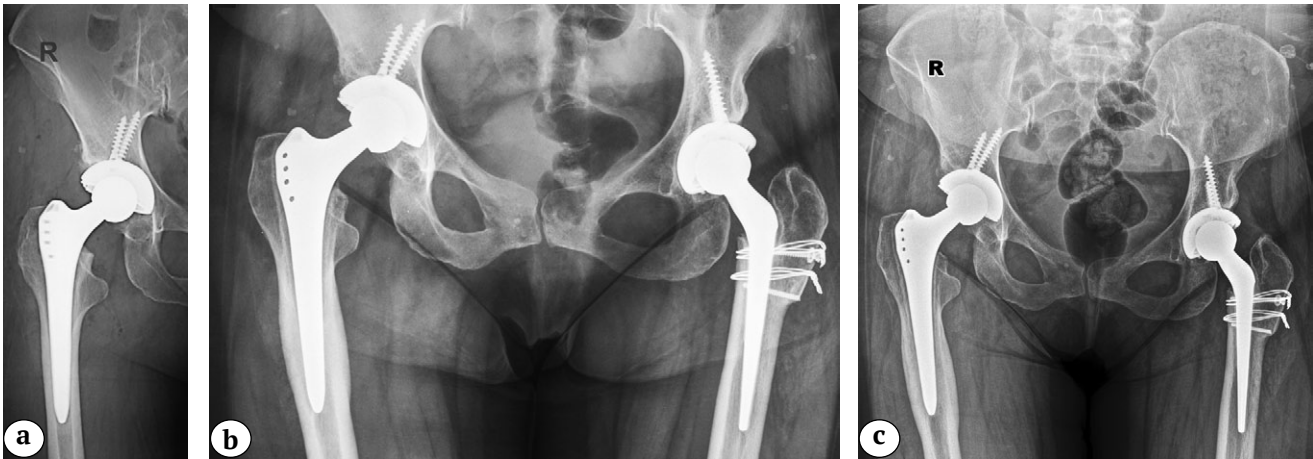


Fig. 6. A 49-year-old patient: bilateral hip dysplasia with high dislocation of the left hip (C2 according to Hartofilakidis) and low dislocation of the right hip (B2 according to Hartofilakidis). In June 2011, left THA was performed with a shortening osteotomy according to Paavilainen. In March 2012, right THA was performed (a). On follow-up X-rays in February 2014, radiolucent lines are already detected in zones 1, 2, 6, and 7 of Gruen (b). However, until the beginning of 2020, there were no clinical manifestations of femoral component loosening. On X-rays in September 2020, the radiolucent lines became more pronounced (c), and the patient complained of hip pain after loading. Revision of the femoral component was performed (d)

Table 6

Localization of radiolucent lines around the femoral stem depending on its position in the canal and possible association with aseptic loosening

Femoral stem	Position in the canal	No lines	Localization of radiolucent lines according to the Gruen zones				Total
			1 zone	2 zones	3 zones	4 or more zones	
Alloclassic	Varus	79	6	4	4	2	95
	Neutral	137	2	10	1	6	156
	Valgus	60	1	6	1	6	74
	Total	276	9	20	6	14	325
Revision due to FS aseptic loosening		2	1	0	0	3	6
SL-PLUS MIA	Varus	49	0	0	0	0	49
	Neutral	78	0	0	0	0	78
	Valgus	40	0	0	0	0	40
	Total	167	0	0	0	0	167
Revision due to FS aseptic loosening		0	0	0	0	0	0

Correlation between radiologic signs, functional scale scores and patient satisfaction

Presence of radiolucent lines in case of patients with the Alloclassic stem was accompanied by reduced functional scores according to all scales

compared to patients who did not have radiolucent lines. The average level of pain syndrome in these patients was higher, and the degree of satisfaction with the results of the surgery was lower. This difference was highly statistically significant for all parameters (Table 7).

Table 7

Correlation between the presence of radiolucent lines, patients' functional state according to the OHS and HHS scales, VAS pain score and satisfaction index in the Alloclassic group

Scale	Radiolucent lines	Statistical values			
		Mean value	Me	IQR 25–75%	Min–Max
HHS	Yes	87.8	89.0	87.0–90.0	72.0–97.0
	No	94.3	94.0	94.0–95.0	87.0–97.0
OHS	Yes	41.9	42.0	40.0–43.0	36.0–48.0
	No	44.9	46.0	45.0–47.0	36.0–48.0
VAS	Yes	3.1	3.0	2.0–4.0	0.0–7.0
	No	0.4	0.0	0.0–0.0	0.0–6.0
Satisfaction index	Yes	7.9	8.0	7.0–9.0	6.0–10.0
	No	9.3	10.0	9.0–10.0	6.0–10.0

Group values for all scales are highly statistically significantly different in all groups ($p < 0.001$).

DISCUSSION

This retrospective study showed that the wedge-shaped non-cemented rectangular stems developed by Karl Zweymüller provide reliable long-term results. Survival rate for revision for aseptic loosening of the Alloclassic stems was 98.2% at a mean follow-up period of 166.3 months and 100% for the SL-PLUS MIA stems at 37.5 months. Both types of stems had high HHS and OHS values and high patient satisfaction index independent of the stem design. This is consistent with the generally accepted notion of a high efficacy of primary total hip arthroplasty using non-cemented rectangular wedge-shaped stems [16, 17, 18, 19].

Analysis of X-rays in dynamics showed that the development of the classical phenomenon of stress-shielding syndrome (as described by C. Engh [14]) depended on the time elapsed since the arthroplasty, but was observed in a number of patients already 12 months after surgery. Similar changes were observed by other researchers [20, 21]. According to our data, the risk factor for

the development of severe stress-shielding syndrome when using Zweymüller stems is a tight fit in the distal part of the stem (canal filling index in the Gruen zone 3 is 0.98 and more), especially in combination with a funnel-shaped canal (Dorr type A). However, all other things being equal, the tight distal fit of the SL-PLUS MIA stems, despite the similar geometry of the distal part, does not lead to such a frequent manifestation of severe stress-shielding syndrome. According to S. Nakamura et al., bone loss around the Zweymüller stems does not depend on the peculiarities of the femoral anatomy, but the follow-up period in their work did not exceed 12 months. [21].

Other unfavorable variants of bone remodeling are radiolucent lines at the prosthesis-bone interface [22]. Appearance of this phenomenon also depended on the follow-up period, but it was observed only in patients with the Alloclassic stem. Mean follow-up period in the group with the presence of radiolucent lines was 103.5 months in patients with the Alloclassic stem,

with a minimum follow-up period of 12 months, and 76.2 months in patients with no radiolucent lines. Mean follow-up period with the SL-PLUS MIA stem was 35.4 months, which is significantly shorter than the mean period with the Alloclassic stem and does not exclude the development of this phenomenon in the future. At the same time, the minimum term at which the lines are detected is 12 months. It is possible that the absence of this phenomenon in the group with the SL-PLUS MIA stems is due to the peculiarities of its design, in particular, the presence of hydroxyapatite coating in the proximal part, especially since the maximum follow-up period of these stems in our study is 60 months. Probable influence of the hydroxyapatite coating in the proximal part of the stems is also confirmed by a comparative study by A. Tanaka et al. in which they found radiolucent lines when using the SL-PLUS MIA stems with hydroxyapatite in comparison with the SL-PLUS MIA stems without hydroxyapatite, in which lucent lines were found in 6% of cases [23]. On the other hand, D. Hoornenborg et al. did not observe a positive effect of hydroxyapatite coating on Zweymüller stems with regard to their possible migration [24, 25].

In our study, we have found out that the presence of radiolucent lines can negatively affect the functional outcome and postoperative patient satisfaction, but the presence of radiolucent lines in three or more Gruen zones is an independent risk factor and an important predictor of aseptic loosening of the stem.

It appears that despite the high survival rates, Alloclassic stems are less predictable in terms of stress remodeling of the periprosthetic femoral region, and under unfavorable circumstances (funnel-shaped canal and tight distal fit) there is an increased risk for aseptic loosening in the distant period. According to the results of our study, the redesign of the proximal part of the Zweymüller stem implemented in the SL-PLUS MIA stem improved the nature of adaptive remodeling in the periprosthetic zone of the femur, possibly improving the long-term results of primary hip arthroplasty. However, longer follow-up periods are required to make a definitive judgment about the possible benefits of the SL-PLUS MIA stem.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shubnyakov I.I. — study concept and design, drafting the article.

Riahi A. — study concept and design, data collection and processing, writing the article.

Sereda A.P. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Cherkasov M.A. — data collection and processing.

Khujanazarov I.E. — study concept and design, drafting the article.

Tikhilov R.M. — study concept and design, drafting the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

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

REFERENCES

1. Aumiller W.D., Kleuser T.M. Trends in total hip arthroplasty. *JAAPA*. 2019;32(3):51-53. doi: 10.1097/01.JAA.0000553394.43873.76.
2. Dixon T., Shaw M., Ebrahim S., Dieppe P. Trends in hip and knee joint replacement: socioeconomic inequalities and projections of need. *Ann Rheum Dis*. 2004;63(7):825-830. doi: 10.1136/ard.2003.012724.
3. Scott C.E.H., Clement N.D., Davis E.T., Haddad F.S. Modern total hip arthroplasty: peak of perfection or room for improvement? *Bone Joint J*. 2022;104-B(2):189-192. doi: 10.1302/0301-620X.104B2.BJJ-2022-0007.
4. Toci G.R., Magnuson J.A., DeSimone C.A., Stambough J.B., Star A.M. et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Non-database Comparative Studies on Cemented Versus Uncemented Femoral Stems in Primary Elective Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2022;37(9):1888-1894. doi: 10.1016/j.arth.2022.03.086.
5. Shubnyakov I.I., Riahi A., Denisov A.O., Korytkin A.A., Aliev A.G., Veber E.V. et al. The Main Trends in Hip Arthroplasty Based on the Data in the Vreden's Arthroplasty Register from 2007 to 2020. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):119-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142.

6. Bourne R.B., Corten K. Cemented versus cementless stems: a verdict is in. *Orthopedics*. 2010;33(9):638. doi: 10.3928/01477447-20100722-24.
7. Kelly M.P., Chan P.H., Prentice H.A., Paxton E.W., Hinman A.D., Khatod M. Cause-Specific Stem Revision Risk in Primary Total Hip Arthroplasty Using Cemented vs Cementless Femoral Stem Fixation in a US Cohort. *J Arthroplasty*. 2022;37(1):89-96.e1. doi: 10.1016/j.arth.2021.09.020.
8. Kim Y.H. Bilateral cemented and cementless total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2002;17(4):434-440. doi: 10.1054/arth.2002.31073.
9. Tsertsvadze A., Grove A., Freeman K., Court R., Johnson S., Connock M. et al. Total hip replacement for the treatment of end stage arthritis of the hip: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2014;9(7):e99804. doi: 10.1371/journal.pone.0099804.
10. Karagodina M.P., Shubnyakov I.I., Tikhilov R.M., Pliev D.G., Denisov A.O. Adaptive bone remodeling around cementless femoral stems with two different designs: Fitmore and Alloclassic. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2015;21(4):15-28. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-4-15-28.
11. Knutsen A.R., Lau N., Longjohn D.B., Ebramzadeh E., Sangiorgio S.N. Periprosthetic femoral bone loss in total hip arthroplasty: systematic analysis of the effect of stem design. *Hip Int*. 2017;27(1):26-34. doi: 10.5301/hipint.5000413.
12. Mueller L.A., Nowak T.E., Haeberle L., Mueller L.P., Kress A., Voelk M. et al. Progressive femoral cortical and cancellous bone density loss after uncemented tapered-design stem fixation. *Acta Orthop*. 2010;81(2):171-177. doi: 10.3109/17453671003635843.
13. Guidelines on hip surgery. Ed. by R. Tikhilov, I. Shubnyakov. Saint-Petersburg; 2014. Vol. 1, Ch. 8. p. 287-343. (In Russian).
14. Engh C.A., Bobyn J.D., Glassman A.H. Porous-coated hip replacement. The factors governing bone ingrowth, stress shielding, and clinical results. *J Bone Joint Surg Br*. 1987;69(1):45-55. doi: 10.1302/0301-620X.69B1.3818732.
15. Guidelines on hip surgery. Ed. by R. Tikhilov, I. Shubnyakov. Saint-Petersburg; 2015. Vol. 2, Ch. 13. p. 124-168. (In Russian).
16. Kagramanov S.V. Features of hip arthroplasty with Zweymüller endoprosthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2006;(3):26-35. (In Russian).
17. Kolb A., Grübl A., Schneckener C.D., Chiari C., Kaider A., Lass R. et al. Cementless total hip arthroplasty with the rectangular titanium Zweymüller stem: a concise follow-up, at a minimum of twenty years, of previous reports. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(18):1681-1684. doi: 10.2106/JBJS.K.01574.
18. Grübl A., Chiari C., Giurea A., Gruber M., Kaider A., Marker M. et al. Cementless total hip arthroplasty with the rectangular titanium Zweymüller stem. A concise follow-up, at a minimum of fifteen years, of a previous report. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(10):2210-2215. doi: 10.2106/JBJS.E.00810.
19. Suckel A., Geiger F., Kinzl L., Wulker N., Garbrecht M. Long-term results for the uncemented Zweymüller/Alloclassic hip endoprosthesis. A 15-year minimum follow-up of 320 hip operations. *J Arthroplasty*. 2009;24(6):846-853. doi: 10.1016/j.arth.2008.03.021.
20. Kokoszka P., Markuszewski J., Łapaj Ł., Wierusz-Kozłowska M. Remodeling of bone tissue around the distal part of Zweymüller stem. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2015;17(4):371-380. doi: 10.5604/15093492.1173379.
21. Nakamura S., Minoda Y., Ohta Y., Sugama R., Yamamura K., Ueyama H. et al. Preoperative Morphology of the Proximal Femoral Canal Did Not Affect the Postoperative Bone Mineral Density Change Around the Zweymüller-Type Stem. *Orthopedics*. 2019;42(5):e449-e453. doi: 10.3928/01477447-20190604-04.
22. Tang H., Huang X., Cheng X., Yang D., Huang Y., Zhou Y. Evaluation of peri-prosthetic radiolucent lines surrounding the cementless femoral stem using digital tomosynthesis with metal artifact reduction: a cadaveric study in comparison with radiography and computed tomography. *Quant Imaging Med Surg*. 2020;10(9):1786-1800. doi: 10.21037/qims-19-1018.
23. Tanaka A., Kaku N., Tabata T., Tagomori H., Tsumura H. Comparison of early femoral bone remodeling and functional outcome after total hip arthroplasty using the SL-PLUS MIA stem with and without hydroxyapatite coating. *Musculoskelet Surg*. 2020;104(3):313-320. doi: 10.1007/s12306-019-00622-1.
24. Hoornenborg D., Sierevelt I.N., Spuijbroek J.A., Cheung J., van der Vis H.M., Beimers L. et al. Does hydroxyapatite coating enhance ingrowth and improve longevity of a Zweymüller type stem? A double-blinded randomised RSA trial. *Hip Int*. 2018;28(2):115-121. doi: 10.5301/hipint.5000549.
25. Hoornenborg D., Schweden A.M.C., Sierevelt I.N., van der Vis H.M., Kerkhoffs G., Haverkamp D. The influence of hydroxyapatite coating on continuous migration of a Zweymüller-type hip stem: a double-blinded randomised RSA trial with 5-year follow-up. *Hip Int*. 2023;33(1):73-80. doi: 10.1177/11207000211006782.

Authors' information

✉ *Aymen Riahi* — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0001-8407-5453>

e-mail: riahi_aymen@outlook.com

Igor I. Shubnyakov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0218-3106>

e-mail: shubnyakov@mail.ru

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: drsereda@gmail.com

Magomed A. Cherkasov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-2799-532X>

e-mail: dr.medik@gmail.com

Ilkhom E. Khujanazarov — Dr. Sci. (Med.), Professor

e-mail: ilkhom707@mail.ru

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

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

e-mail: rtikhilov@gmail.com

Comparative Evaluation of Custom-made Components and Standard Implants for Acetabular Reconstruction in Revision Total Hip Arthroplasty

Valery Yu. Murylev^{1,2}, Grigory A. Kukovenko^{1,2}, Pavel M. Elizarov^{1,2}, Yaroslav A. Rukin², Aleksey V. Muzychenkov^{1,2}, Alexander I. Rudnev^{1,2}, Aleksandr G. Zhuchkov¹, Semen S. Alekseev¹, Dmitry S. Bobrov^{1,2}, Valery G. Germanov²

¹ S.P. Botkin Moscow City Clinical Hospital, Moscow, Russia

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Abstract

Background. The use of custom-made acetabular components is one of the promising methods for reconstruction of the acetabulum in cases of significant defects, including those associated with pelvic bone dissociation. It allows achieving stable fixation and restoring the biomechanics of the hip joint.

Aim of the study – to compare the results of individually designed components, supportive antiprotrusion rings, augments, and hemispherical components in revision total hip arthroplasty for type IIIB bone defects according to Paprosky classification.

Methods. The study analyzed the treatment outcomes of 90 patients with type IIIB bone defects who underwent revision total hip arthroplasty between 2017 and 2022. Patients were divided into three groups: the first group received individually designed acetabular components, the second group received augments with hemispheres, and the third group had antiprotrusion cages implanted. The analysis included the reasons for revision surgery, operation duration, blood loss volume, and type of revision procedure. Pain and functional outcomes were assessed with WOMAC, Harris Hip Score, and VAS.

Results. Constructs were more frequently implanted in patients with pelvic bone dissociation. The first group showed a significantly positive dynamic in functional outcomes. Complications were diagnosed in 27 (30%) cases: joint instability (dislocation) in 10 (11.1%) patients, periprosthetic infection in 8 (8.8%), aseptic loosening in 4 (4.4%), and sciatic nerve neuropathy in 5 (5.5%) patients. The number of these complications was higher in the second and third groups of patients.

Conclusion. Custom-made implants using 3D technologies are a preferable option for revision total hip arthroplasty in patients with type IIIB defects according to Paprosky classification, especially in cases of pelvic discontinuity.

Keywords: revision total hip arthroplasty, acetabular defects, pelvic discontinuity, custom-made acetabular components, 3D printing.

Cite as: Murylev V.Yu., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Rukin Ya.A., Muzychenkov A.V., Rudnev A.I., Zhuchkov A.G., Alekseev S.S., Bobrov D.S., Germanov V.G. Comparative Evaluation of Custom-made Components and Standard Implants for Acetabular Reconstruction in Revision Total Hip Arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):18-30. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2553>.

✉ Valery Yu. Murylev; e-mail: nmuril@yandex.ru

Submitted: 27.01.2023. Accepted: 07.06.2023. Published Online: 07.08.2023.

© Murylev V.Yu., Kukovenko G.A., Elizarov P.M., Rukin Ya.A., Muzychenkov A.V., Rudnev A.I., Zhuchkov A.G., Alekseev S.S., Bobrov D.S., Germanov V.G., 2023



Сравнительная оценка использования индивидуальных 3D-компонентов и стандартных имплантатов для реконструкции вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании

В.Ю. Мурылев^{1,2}, Г.А. Куковенко^{1,2}, П.М. Елизаров^{1,2}, Я.А. Рукин², А.В. Музыченков^{1,2}, А.И. Руднев^{1,2}, А.Г. Жучков¹, С.С. Алексеев¹, Д.С. Бобров^{1,2}, В.Г. Германов²

¹ ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.П. Боткина» Департамента здравоохранения г. Москвы, г. Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Использование индивидуальных вертлужных 3D-компонентов является одним из перспективных методов реконструкции вертлужной впадины при ее значительных дефектах, в том числе сопровождающихся диссоциацией костей таза, позволяет добиться стабильной фиксации и восстановить биомеханику тазобедренного сустава.

Цель исследования — сравнить результаты применения индивидуально изготовленных 3D-компонентов, опорных антипротрузионных колец, аугментов и гемисферических компонентов в ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава при костных дефектах типа ПИВ по классификации W.G. Paprosky.

Материал и методы. Проведен анализ результатов лечения 90 пациентов с костными дефектами типа ПИВ, которым выполнялось ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава в период с 2017 по 2022 г. Пациенты были разделены на три группы: в первой группе имплантировали индивидуальные 3D-компоненты вертлужной впадины, во второй группе — дефекты компенсировали аугментами и/или гемисферическим компонентом, в третьей группе устанавливали антипротрузионные кольца. Анализ был выполнен по следующим параметрам: причины ревизионного вмешательства, продолжительность операции, объем кровопотери, тип ревизионного вмешательства. Оценку выраженности болевого синдрома и функциональных результатов проводили с помощью шкал WOMAC, Harris Hip Score, ВАШ.

Результаты. 3D-конструкции чаще имплантировали пациентам с диссоциацией костей таза. Установлена выраженная положительная динамика функциональных результатов в первой группе. После выполненных ревизионных вмешательств диагностировано 27 (30%) осложнений: нестабильность в суставе (вывих) у 10 (11,1%) пациентов, перипротезная инфекция — у 8 (8,8%), асептическое расшатывание компонентов — у 4 (4,4%), нейропатия седалищного нерва — у 5 (5,5%) пациентов. Количество осложнений было больше во второй и третьей группах пациентов.

Заключение. Изготовленные с использованием 3D-технологий индивидуальные компоненты являются приоритетным вариантом при ревизионном эндопротезировании у пациентов с дефектами типа ПИВ по классификации W.G. Paprosky, особенно с диссоциациями костей таза.

Ключевые слова: ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, дефекты вертлужной впадины, нарушение целостности тазового кольца, индивидуальные вертлужные компоненты, 3D-печать.

Для цитирования: Мурылев В.Ю., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Рукин Я.А., Музыченков А.В., Руднев А.И., Жучков А.Г., Алексеев С.С., Бобров Д.С., Германов В.Г. Сравнительная оценка использования индивидуальных 3D-компонентов и стандартных имплантатов для реконструкции вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):18-30. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2553>.

✉ Мурылев Валерий Юрьевич; e-mail: nmuril@yandex.ru

Рукопись получена: 27.01.2023. Рукопись одобрена: 07.06.2023. Статья опубликована онлайн: 07.08.2023.

© Мурылев В.Ю., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Рукин Я.А., Музыченков А.В., Руднев А.И., Жучков А.Г., Алексеев С.С., Бобров Д.С., Германов В.Г., 2023

BACKGROUND

Over the last two decades, there has been a significant increase in the number of primary large joint arthroplasties, leading to an escalated need for surgical revision [1, 2, 3, 4]. The reconstruction of the acetabulum in defects IIC, IIIA, and IIIB according to the W.G. Paprosky classification, especially when accompanied by disruption of the pelvic ring, poses a complex challenge [5, 6]. A wide range of standard implants is necessary to restore the acetabular area with substantial bone defects [7]. Currently, numerous surgical options and techniques for utilizing standard revision implants exist; however, achieving their prolonged survival is not always successful [8]. The use of individually customized acetabular components stands out as one of the most effective approaches for reconstructing the acetabular defect with significant bone loss [9, 10, 11]. The application of 3D-printed components in cases of extensive bone defects, coupled with pelvic bone dissociation, not only ensures stable fixation but also restores the biomechanics of the hip joint [12, 13].

The aim of this study was to compare the outcomes of using customized components, supportive antiprotrusion rings, augments, and/or hemispherical components in revision total hip arthroplasty for type IIIB bone defects according to the Paprosky classification.

METHODS

Study design

A prospective cohort study was conducted from 2017 to 2022. The treatment outcomes of 90 patients with type IIIB bone defects who underwent revision total hip arthroplasty were analyzed.

Inclusion criteria:

- loosening of the acetabular component of the hip joint replacement with a type IIIB bone defect according to the Paprosky classification;
- second-stage treatment of periprosthetic infection (PJI) (spacer removal, implantation of prosthetics components).

Exclusion criteria:

- HIV infection, drug addiction, mental disorders;
- deep PJI of the hip joint;

- severe somatic pathology requiring active correction and contraindicating for surgical treatment or significantly increasing operative risk;

- patients with PJI and presence of the sinus tract;

- decompensation of somatic pathology before surgical treatment.

All patients were divided into three groups. The first group comprised 30 (33.3%) individuals who received individually customized acetabular components; the second group included 30 (33.3%) patients in whom defects were compensated with augments and/or hemispherical components; the third group consisted of 30 (33.3%) patients who received antiprotrusion supportive rings.

The indication for revision total hip arthroplasty was aseptic loosening of prosthetics components or the second stage of revision surgery for PJI.

Comprehensive preoperative assessments of all patients were conducted in accordance with the recommendations of the II International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection, including:

- clinical examination;
- evaluation of pelvic and hip joint x-rays;
- assessment of blood parameters: ESR and C-reactive protein;
- joint aspiration for microbiological and cytological analysis [4].

Customized acetabular component manufacturing

For 3D reconstruction of the pelvis and its defects, a three-dimensional CT scan with slices no thicker than 0.6 mm and taken within two weeks was used. Subsequently, the CT scans were sent to a design engineer, who generated a 3D model of the pelvic defect and created a trial component model using PME Planner software (MEDTEK, Russia) (Fig. 1a, b).

Collaboratively with the surgeon, a 3D model of the component was created to assess potential implant-bone contact, determine directions for fixing screws, and identify the center of hip rotation. An anteversion angle of 25° and an inclination angle of 45° were chosen (Fig. 1c).

To better comprehend existing bone defects within the acetabular area, tactile 3D pelvic models were created in a 1:1 scale. These models allowed analysis of the patient's pathological hip joint anatomy, accurate classification of bone defects, and more precise positioning of the implant (Fig. 2).

To enhance osteointegration, a porous structure was applied at the "implant-bone" interface, with beam thickness ranging from 0.45 to 0.50 mm. Additional recesses were created on the inner surface of the acetabular compo-

nent to accommodate the caps of 6.5 mm diameter cancellous bone screws, with a depth not exceeding 0.2 mm. To monitor the lower edge of the acetabulum and facilitate positioning of both the trial model and the actual component, a depression up to 1.5 cm in diameter was requested from the manufacturers at the "6 o'clock" position (Fig. 3). The inner part of the component was designed for implanting the acetabular cemented component. We used personalized implants customized by LLC "TIOS" (Russia).

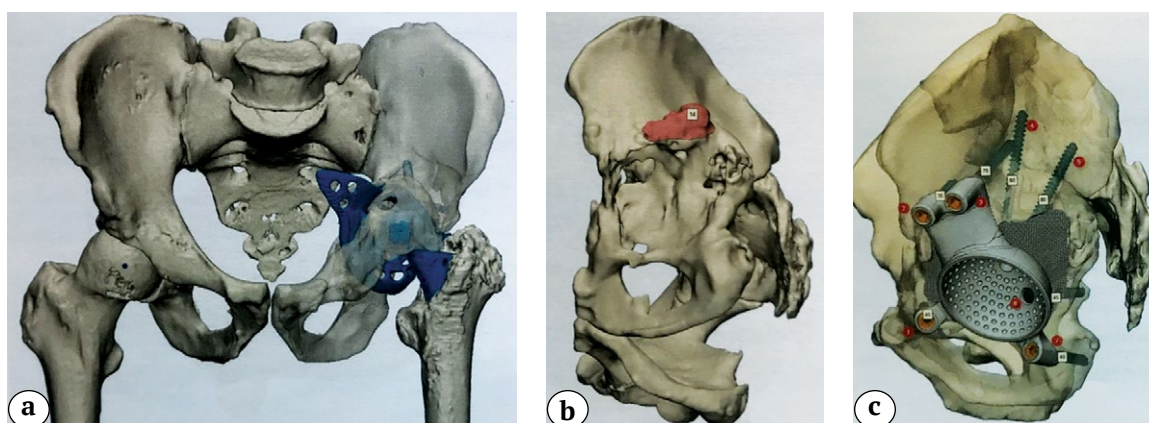


Fig. 1. Preoperative digital planning based on 3D visualization:
a – evaluation of acetabular bone defect before component removal;
b – evaluation of acetabular bone defect after component removal (the red area indicates the portion to be removed for accurate positioning of the implant component);
c – fixation of the custom-made acetabular component with screws



Fig. 2. Tactile 3D model of the pelvis at a 1:1 scale



Fig. 3. Custom-made pelvis fragment, component, and trial model of the acetabulum. The red circle indicates an additional recess at "6 o'clock" for optional orientation during implant positioning

Surgical technique

After preliminary preparation, the operative treatment was carried out. For patients who received individually customized constructs, an anterior-lateral approach to the hip joint was used, but in the absence of proximal femur access, it was shifted to a lateral approach. After removal of the prosthetic components, wound debridement was performed using antiseptic solutions delivered through the Pulsavac system (ZimmerBiomet). Subsequently, the acetabular area was prepared, a bed for the personalized component was formed, and the 3D model was tried on using a trial component and within the wound. The congruence and stability were assessed (Fig. 4).

The implantation of the individual acetabular component followed (Fig. 5). The customized implant was secured using 6.5 mm diameter screws, with lengths from 30 to 80 mm, in accordance with preoperative planning results.

It's noteworthy that during model formation, the designers only evaluated the presence of bone tissue. However, often soft tissues act as an

interponent, adding difficulties for positioning and installing the 3D model. Therefore, meticulous preparation of the bed is essential for accurate component implantation. Postoperatively, all patients underwent control radiography, and at 3 months, CT scans were performed to assess the stability and positioning of the implanted components (Fig. 6).

At 3, 6, and 12-months post-surgery, radiographic evaluations were conducted in three zones of the acetabulum according to the DeLee-Charnley lines of radiolucency [14], in order to assess stability and potential loosening of the implants.

Loosening of the acetabular component was identified based on the following criteria:

- negative progression in radiolucency border expansion;
- fracture of screws fixing the acetabular components or their migration;
- migration of the acetabular component by more than 2 mm and alteration of its inclination angle by more than 4° [15];
- shift of the center of rotation compared to previously taken x-rays [16].

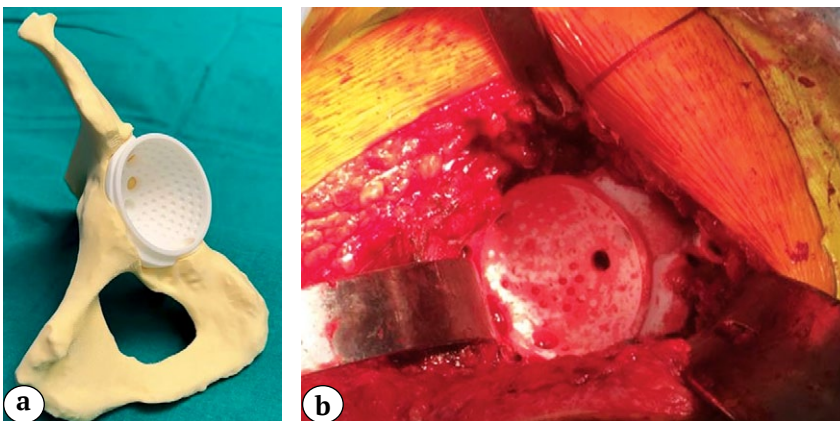


Fig. 4. Trial component fitting: a — on the pelvis model; b — in the wound

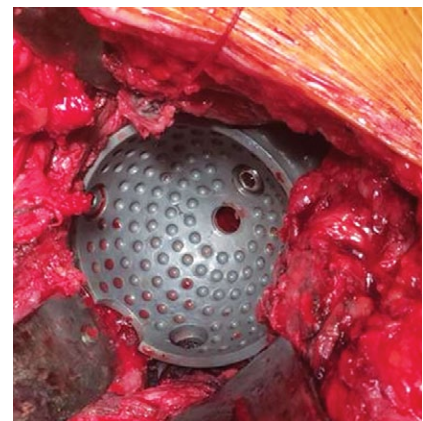


Fig. 5. Implantation of the individually designed acetabular component

Results assessment

For statistical analysis, the following parameters were chosen: gender, age, patients' body mass index, reason for revision surgery, number of previous surgical interventions, duration of surgery, intraoperative blood loss, partial or complete revision surgery, use of dual mobility systems. Pain syndrome assessment and functional out-

comes were conducted before surgery, at 3, 6, and 12 months, and subsequently annually using WOMAC, Harris Hip Score (HHS), and VAS.

After surgical treatment, the frequency and structure of complications were analyzed, including aseptic loosening, implant instability, development of PJI, and sciatic nerve neuropathy.



Fig. 6. Evaluation of stability and positioning of the implanted custom-made acetabular component: X-ray images (a) and tomograms (b) of the pelvic bones



Statistical analysis

Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics Base 22.0 for Windows. The Kolmogorov-Smirnov test was used to check for normal distribution. HHS, WOMAC, and VAS showed non-normal distribution upon Kolmogorov-Smirnov test. Other parameters were deemed to have a normal distribution. The following non-parametric tests were used for further analysis: Wilcoxon rank-sum test (for before and after surgery parameters) and Mann-Whitney U test (comparative analysis of the first and second groups). Qualitative characteristics were described using relative (%) and absolute frequencies. Pearson's χ^2 test was used for comparing two independent groups of qualitative characteristics. Continuous variables with normal distribution were presented as $M \pm SD$, where M represents the sample mean and SD is the standard deviation. For non-normally distributed data in both groups, median (Me) [Q1, Q3] was used. Differences with $p < 0.05$ were considered statistically significant.

RESULTS

Our analysis indicated that the study groups were comparable in terms of gender, BMI, and types of acetabular bone defects. However, the first group exhibited more cases of type IIIB bone defects, often combined with pelvic bone dissociation. The average follow-up period was 37 months (range: 26 to 56) for the first group (3D-component application), 42 months (range: 30 to 59) for the second group (augment and/or hemispherical component application), and 40 months (range: 27 to 58) for the third group (support rings application). Notably, the first group of patients had a higher number of revision surgeries in their medical history compared to the second and third groups ($p < 0.05$) (Table 1).

Despite the longer duration and scope of surgical interventions in the first group, the average intraoperative blood loss was greater in the second group by 23.3 ml compared to the first group, and by 98 ml compared to the third group. Out of 22 cases of pelvic bone dissociation, 15 cases involved implantation of individual constructs, 3 cases involved the use of an augment and/or hemispherical component, and in the remaining 4 cases, support rings were used. Complete intraoperative data is presented in Table 2.

Table 1

Characteristics of the study groups

Indicator	First group n = 30	Second group n = 30	Third group n = 30	Total n = 90
Mean age, years	58.6	62.1	72.4	
BMI	29.3	28.7	27.6	
Gender	Male	9	8	28
	Female	19	21	62
Number of previous operations	3.8	2.36	2.1	
<i>Defect type</i>				
IIIB	30	30	30	90
including pelvic bone dissociation	15	3	4	22
<i>Reason for revision</i>				
Aseptic loosening	24	24	19	67
Second stage of PJI treatment	6	6	11	23

Table 2

Intraoperative indicators

Indicator		First group n = 30	Second group n = 30	Third group n = 30	Total n = 90
Impaction bone grafting	Yes	0	2	3	5
	No	30	28	27	85
Operation duration, mins		168.4 (\pm 24.2)	129.2 (\pm 23.1)	134.4 (\pm 12.1)	
Intraoperative blood loss, ml		696.7 (\pm 127.1)	720 (\pm 172.2)	622 (\pm 152.3)	
Average number of screws, pcs.		5.1 (\pm 1.2)	4.6 (\pm 2.1)	4.3 (\pm 2.2)	
Use of dual mobility components, pcs		21	0	8	29
Revision procedure type	Partial	6	14	9	29
	Complete	24	16	21	61

Complications

After the revision surgeries, 27 (30%) complications were identified, with a higher number of complications observed in the second and third groups (Table 3).

In the first group of patients with 3D constructs, 2 cases (6.6%) of deep PJI were diagnosed, one of which resulted in a fatal outcome.

In the second case, successful debridement was performed, resulting in infection control, pain relief, and a positive clinical outcome.

Dislocation of the prosthesis occurred in 2 cases (6.6%): one involving a patient with a dual mobility system and the other with standard components (Fig. 7). Dislocation occurred 4 months after surgery in the patient with a dual mobility

system, and 3 weeks after surgery in the patient with standard components. In both cases, an open reduction was performed with an increase in head size. Another complication occurred 23 months after partial revision arthroplasty of the right hip joint. This complication was diagnosed solely through follow-up X-rays and manifested

as a fracture of one flange, but it had no impact on component stability and functional outcomes (Fig. 8).

Evaluation of the outcomes of revision hip arthroplasty involves important indicators such as clinical results and pain intensity. Results assessment are presented in Table 4.

Table 3

Complications after revision in three patient groups

Complication	First group n = 30	Second group n = 30	Third group n = 30	Total n = 90
Joint instability	2 (6.6%)	4 (13.2%)	4 (13.2%)	10 (11.1%)
Periprosthetic infection	2 (6.6%)	3 (10%)	3 (10%)	8 (8.8%)
Loosening of components	1 (3.3%)	2 (6.6%)	1 (3.3%)	4 (4.4%)
Neuropathy	1 (3.3%)	2 (6.6%)	2 (6.6%)	5 (5.5%)
Total	6 (20%)	11 (36.6%)	10 (33.3%)	27 (30%)

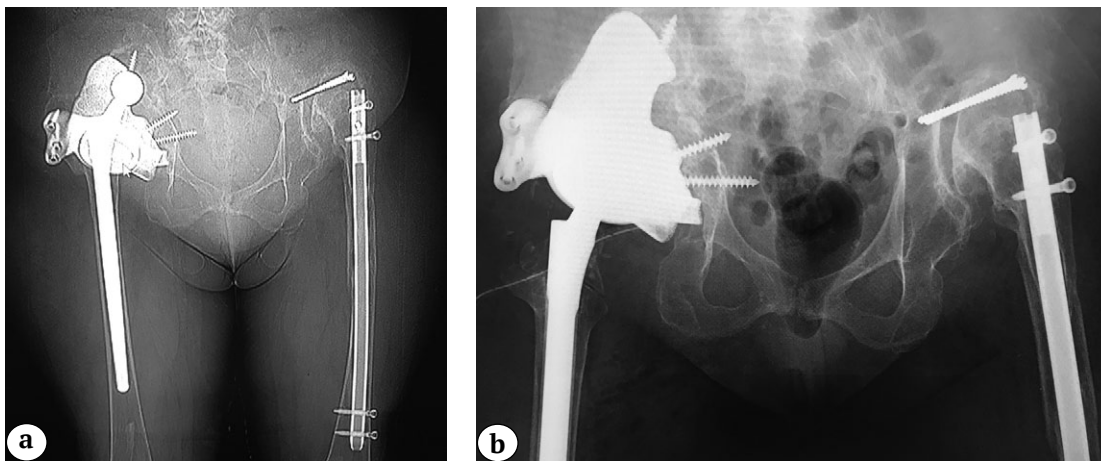


Fig. 7. Pelvis X-rays after revision total hip replacement:
 a – dislocation of the prosthesis head (dual mobility system);
 b – after open reduction with an increase of the prosthesis head (dual mobility system)



Fig. 8. X-ray of the right hip two years after partial revision hip replacement – fracture of one of the flanges of the individual component (indicated by an arrow)

Table 4

Results assessment by different scales

Group	Harris hip score		WOMAC		VAS	
	Before surgery	After surgery	Before surgery	After surgery	Before surgery	After surgery
First	27 [25.5;29.2]	78 [36.9;90.1]	76 [34.7;92.2]	7 [2.9;15.1]	9 [8.7;10]	0.5 [0.3;1.2]
Second	32 [24.3;38.2]	72 [38.2;91.7]	68 [31.9;82.1]	14 [7.7;28.5]	8 [7.9;9.8]	1.1 [0.8;2.5]
Third	34 [29.2;39.5]	70 [32.5;85.9]	71 [32.8;85.4]	17 [9.9;32.9]	7 [6.7;8.9]	1.5 [0.7;3.1]

$p < 0.05$.

DISCUSSION

As the number of primary hip arthroplasty surgeries in young patients increases, the frequency of revision surgeries steadily rises [17]. In 2017, for instance, more than 8000 revision surgeries on the hip joint were performed in the UK [18].

Each revision surgery is a complex task for the surgeon, particularly when dealing with extensive bone defects of the acetabulum. Surgeons are faced with challenges like ensuring reliable implant fixation and joint stability. Competent preoperative planning is crucial to address these challenges, as accurate interpretation of bone defects minimizes the risk of error and facilitates the surgical procedure [19].

The classification of acetabular bone defects proposed by Paprosky in 1993, based on radiological signs, is convenient for preoperative planning [13]. However, it has limitations in terms of in-depth diagnosis, as it does not distinguish between limited and extensive bone defects, nor does it consider acetabular bone dissociation [20]. Therefore, detailed assessment of each acetabular defect requires CT scans followed by 3D visualization.

M.S. Ibrahim et al demonstrated favorable outcomes in revision hip arthroplasty when using impaction bone grafting and uncemented components with porous coating simultaneously. However, the authors emphasize that this method may not provide long-term implant survival for extensive acetabular defects such as type IIIA and IIIB [21]. Other researchers report high complication rates when using impaction bone grafting or allografts to address massive acetabular defects [22, 23]. The primary advantage of impaction grafting is bone mass restoration, particularly in younger patients who may require further revision in the future [24, 25].

Metal augments with tantalum coating are increasingly being used in revision surgery. However, these augments require sufficient existing bone tissue for reliable fixation and subsequent osseointegration. M. Whitehouse et al demonstrated a fairly high survival rate (92%) 10 years after revision hip arthroplasty using augments [26]. While versatile, augments often necessitate additional bone milling, reducing the available bone tissue. Moreover, the orientation of screws in augments is parallel, limiting the possibility of changing screw direction for better fixation. Consequently, in certain cases of revision hip arthroplasty, the use of augments may not adequately address the bone defect [8]. In our study, we observed 6.6% cases of aseptic loosening of components when using augments.

Another treatment option for patients with significant acetabular bone defects is supportive antiprotrusion rings. The main advantage of this method is its cost-effectiveness. However, the absence of biological fixation does not provide long-term stability for the construct [27]. Therefore, this method is not recommended for active and young patients. In our study, the average age of patients who received antiprotrusion rings was 72.4 years, classified by the WHO as elderly.

In cases of combined anterior and posterior column deficiencies of the acetabulum, none of the standard revision implants can restore the true center of femoral head rotation. The only method for reconstructing extensive acetabular bone defects is the use of individually customized constructs with three flanges. This approach enables a personalized solution for each case. While this method is more costly compared to using standard implants [28], it often becomes the only viable treatment option [29]. Additionally, the presence

of a porous surface in the implant's contact area with the bone bed promotes biological fixation and osseointegration, directly affecting long-term stability [30]. M.J. Taunton et al demonstrated that the cost of a individually customized component is comparable to that of an uncemented cup with augments [31]. R.M. Tikhilov et al argue that using individual acetabular constructs is a more effective treatment strategy from an economic standpoint for extensive defects, compared to implanting standard acetabular components [32].

A.A. Korytkin and colleagues identified a direct correlation between postoperative center of rotation deviation and subsequent revision of the femoral component, emphasizing the importance of restoring hip joint anatomy [33]. The implanted custom-made component allows to restore a preplanned center of anatomically correct rotation.

The main drawbacks of individually customized acetabular components are complex preoperative planning and the extended manufacturing process [33]. On the other hand, this method simplifies the surgical procedure: there's no need to implant allografts, model support rings, choose augments, cages, or hemispheres for adequate fixation [8, 34]. However, in our study, implanting a personalized component took 39.2 minutes longer than installing an augment with a hemisphere, and 34.0 minutes longer than placing an antiprotrusion ring and cup.

The frequency of complications after revision hip arthroplasty using individual constructs reaches 26% [35]. A.C. Kawalkar et al demonstrated that when using individual three-flange constructs, the incidence of dislocations ranges from 0% to 30% according to different data sources. In our study, the dislocation rate was 6.6% (2 out of 30 patients) [36].

Many authors point out the improvement in HHS results from around 25 points before surgery to 75 or more after the operation when using personalized implants [6, 9, 38, 39]. In our study, the average HHS increased from 27 [25.5; 29.2] to 78 [36.9; 90.1], which is comparable to literature data. The relatively low scores on assessment scales after surgery indicate the initially severe condition of the patients and the extent and complexity of the revision hip arthroplasty performed [6].

In our study, the results for the group of patients who received personalized constructs were 1.08 times higher on the HHS than the group with augments and 1.10 times higher than the group with antiprotrusion rings. Similar results were obtained for the WOMAC scale: the result was 1.95 times better than that of patients with augments and 2.32 times better than that of patients with antiprotrusion rings. The number of postoperative complications in the group of patients with individual constructs was 1.83 times lower than in the second group and 1.66 times lower than in the third group.

Limitations to the study

This study was limited by a relatively short follow-up, with an average period of 42 months. The postoperative observation periods varied, which could have influenced the comparative results of these three groups as well.

CONCLUSION

Individually customized constructs using 3D technology are a preferred option for revision hip arthroplasty in patients with type IIIB defects according to the Paprosky classification, especially when accompanied by pelvic bone dissociation. However, when utilizing personalized components, a reduction in the duration of the surgical procedure should not be expected.

DISCLAIMERS

Author contribution

Murylev V.Yu. — study concept and design, literature search and analysis, data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Kukovenko G.A. — study concept and design, literature search and analysis, data analysis and interpretation, writing the article.

Elizarov P.M. — study concept and design, literature search and analysis, data collection and processing.

Rukin Ya.A. — data collection and processing, writing and drafting the article.

Muzychenkov A.V. — data collection and processing, writing and drafting the article.

Rudnev A.I. — data collection and processing, drafting the article.

Zhuchkov A.G. — data collection and processing, drafting the article.

Alekseev S.S. — data collection and processing, drafting the article.

Bobrov D.S. — data collection and processing, drafting the article.

Germanov V.G. — data collection and processing, drafting the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

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

REFERENCES

1. Yoon P.W., Lee Y.K., Ahn J., Jang E.J., Kim Y., Kwak H.S. et al. Epidemiology of hip replacements in Korea from 2007 to 2011. *J Korean Med Sci.* 2014;29(6):852-858. doi: 10.3346/jkms.2014.29.6.852.
2. Telleria J.J., Gee A.O. Classifications in brief: Paprosky classification of acetabular bone loss. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(11):3725-3730. doi: 10.1007/s11999-013-3264-4.
3. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Denisov A.O. Classifications of Acetabular Defects: Do They Provide an Objective Evidence for Complexity of Revision Hip Joint Arthroplasty? (Critical Literature Review and Own Cases). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019;25(1):122-141. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-122-141.
4. Parvizi J., Tan T.L., Goswami K., Higuera C., Della Valle C., Chen A.F. et al. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty.* 2018;33(5):1309-1314.e2. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.078.
5. Dall'Ava L., Hothi H., Henckel J., Di Laura A., Shearing P., Hart A. Comparative analysis of current 3D printed acetabular titanium implants. *3D Print Med.* 2019;5(1):15. doi: 10.1186/s41205-019-0052-0.
6. Korytkin A.A., Novikova Ya.S., Morozova E.A., Gerasimov S.A., Kovaldov K.A., El moudni Yo.M. Custom Triflange Acetabular Components for Revision Hip Arthroplasty in the Patients with Severe Acetabular Defects: Planning, Surgical Technique, Outcomes. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2020;26(2):20-30. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-20-30.
7. Bozic K.J., Kamath A.F., Ong K., Lau E., Kurtz S., Chan V. et al. Comparative Epidemiology of Revision Arthroplasty: Failed THA Poses Greater Clinical and Economic Burdens Than Failed TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(6):2131-2138. doi: 10.1007/s11999-014-4078-8.
8. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Kovalenko A.N., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I. Standard Versus Custom-Made Acetabular Implants in Revision Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2022;37(1):119-125. doi: 10.1016/j.arth.2021.09.003.
9. Berend M.E., Berend K.R., Lombardi A.V., Cates H., Faris P. The patient-specific triflange acetabular implant for revision total hip arthroplasty in patients with severe acetabular defects: planning, implantation, and results. *Bone Joint J.* 2018;100-B (1 Suppl A):50-54. doi: 10.1302/0301-620X.100B1.BJJ-2017-0362.R1.
10. Zampelis V., Flivik G. Custom-made 3D-printed cup-cage implants for complex acetabular revisions: evaluation of pre-planned versus achieved positioning and 1-year migration data in 10 patients. Observational Study. *Acta Orthop.* 2021;92(1):23-28. doi: 10.1080/17453674.2020.1819729.
11. Yao A., George D.M., Ranawat V., Wilson C.J. 3D Printed Acetabular Components for Complex Revision Arthroplasty. *Indian J Orthop.* 2021;55(3):786-792. doi: 10.1007/s43465-020-00317-x.
12. Wyatt M.C. Custom 3D-printed acetabular implants in hip surgery – innovative breakthrough or expensive bespoke upgrade? *Hip Int.* 2015. 25(4):375-379. doi: 10.5301/hipint.5000294.
13. Aprato A., Giachino M., Bedino P., Mellano D., Piana R., Massè A. Management of Paprosky type three B acetabular defects by custom-made components: early results. *Int Orthop.* 2019;43(1):117-122. doi: 10.1007/s00264-018-4203-5.
14. DeLee J.G., Charnley J. Radiological demarcation of cemented sockets in total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1976;(121):20-32. doi: 10.1097/00003086-197611000-00003.
15. Jeong M., Kim H.J., Lim S.J., Moon Y.W., Park Y.S. Revision total hip arthroplasty using tantalum augmentin patients with Paprosky III or IV acetabular bone defects: a minimum 2-year follow up study. *Hip Pelvis.* 2016;28(2):98-103. doi: 10.5371/hp.2016.28.2.98.
16. Shi H.F., Xiong J., Chen Y.X., Wang J.f., Wang Y.H. Radiographic analysis of the restoration of hip joint center following open reduction and internal fixation of acetabular fractures: a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15(1):277. doi: 10.1186/1471-2474-15-277.
17. Weber M., Renkawitz T., Voellner F., Craiovan B., Greimel F., Worlicek M. et al. Revision Surgery in Total Joint Replacement Is Cost-Intensive. *Biomed Res Int.* 2018;2018:8987104. doi: 10.1155/2018/8987104.
18. The National Joint Register. 15th Annual report; 2018. <https://www.hqip.org.uk/resource/national-joint-register-15th-annual-report-2018/#.Y9FWQpZn2Uk>.
19. Durand-Hil M., Henckel J., Di Laura A., Hart A. Can custom 3D printed implants successfully reconstruct massive acetabular defects? A 3D-CT assessment. *J Orthop Res.* 2020;38(12):2640-2648. doi: 10.1002/jor.24752.

20. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Kovalenko A.N., Denisov A.O., Demin A.S., Vahramyan A.G. et al. What Characteristics of the Acetabular Defect Influence the Choice of the Acetabular Component During Revision Hip Arthroplasty? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(2):31-49. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-31-49.
21. Ibrahim M.S., Raja S., Haddad F.S. Acetabular impaction bone grafting in total hip replacement. *Bone Joint J*. 2013;95-B (11 Suppl A):98-102. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.32834.
22. Lee P.T., Raz G., Safir O.A., Backstein D.J., Gross A.E. Long-term results for minor column allografts in revision hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(12):3295-3303. doi: 10.1007/s11999-010-1591-2.
23. Buttaro M.A., Comba F., Pusso R., Piccaluga F. Acetabular revision with metal mesh, impaction bone grafting, and a cemented cup. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(10):2482-2490. doi: 10.1007/s11999-008-0442-x.
24. Lakstein D., Backstein D., Safir O., Kosashvili Y., Gross A.E. Trabecular Metal cups for acetabular defects with 50% or less host bone contact. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(9):2318-2324. doi: 10.1007/s11999-009-0772-5.
25. Mancino F., Cacciola G., Di Matteo V., De Marco D., Greenberg A., Perisano C. et al. Reconstruction options and outcomes for acetabular bone loss in revision hip arthroplasty. *Orthop Rev (Pavia)*. 2020;12(Suppl 1):8655. doi: 10.4081/or.2020.8655.
26. Whitehouse M.R., Masri B.A., Duncan C.P., Garbus D.S. Continued good results with modular trabecular metal augments for acetabular defects in hip arthroplasty at 7 to 11 years. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(2):521-527. doi: 10.1007/s11999-014-3861-x.
27. Hansen E., Shearer D., Ries M.D. Does a cemented cage improve revision THA for severe acetabular defects? *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(2):494-502. doi: 10.1007/s11999-010-1546-7.
28. Eltorai A.E., Nguyen E., Daniels A.H. Three-Dimensional Printing in Orthopedic Surgery. *Orthopedics*. 2015;38(11):684-687. doi: 10.3928/01477447-20151016-05.
29. Gruber M.S., Jesenko M., Burghuber J., Hochreiter J., Ritschl P., Ortmaier R. Functional and radiological outcomes after treatment with custom-made acetabular components in patients with Paprosky type 3 acetabular defects: short-term results. Clinical Trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):835. doi: 10.1186/s12891-020-03851-9.
30. Berasi C.C. 4th, Berend K.R., Adams J.B., Ruh E.L., Lombardi A.V. Jr. Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(2):528-535. doi: 10.1007/s11999-014-3969-z.
31. Taunton M.J., Fehring T.K., Edwards P., Bernasek T., Holt G.E., Christie M.J. Pelvic discontinuity treated with custom triflange component: a reliable option. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(2):428-434. doi: 10.1007/s11999-011-2126-1.
32. 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. *Orthopaedic Genius*. 2022;28(2):234-240. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240.
33. 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). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(4):101-111. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-101-111.
34. Goodman G.P., Engh C.A.Jr. The custom triflange cup: build it and they will come. *Bone Joint J*. 2016;98-B (1 Suppl A):68-72. doi: 10.1302/0301-620X.98B.36354.
35. Van Eemeren A., Vanlommel J., Vandekerckhove M. Acetabular reconstruction with a custom-made triflange acetabular component through direct anterior approach - A case report. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(Suppl 2):S211-S213. doi: 10.1016/j.jcot.2020.02.006.
36. Kawalkar A.C., Kalanie A., Neil M.J. Excellent Midterm Results of Triflange Patient Matched Implants for Extensive Acetabular Bone Defect. *Hip Pelvis*. 2021;33(2):87-95. doi: 10.5371/hp.2021.33.2.87.
37. Berasi C.C. 4th., Berend K.R., Adams J.B., Ruh E.L., Lombardi A.V. Jr. Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(2):528-535. doi: 10.1007/s11999-014-3969-z.
38. Citak M., Kochsiek L., Gehrke T., Haasper C., Suero E.M., Mau H. Preliminary results of a 3D-printed acetabular component in the management of extensive defects. *Hip Int*. 2018;28(3):266-271. doi: 10.5301/hipint.5000561.
39. DeBoer D.K., Christie M.J., Brinson M.F., Morrison J.C. Revision total hip arthroplasty for pelvic discontinuity. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(4):835-840. doi: 10.2106/JBJS.F.00313.

Authors' information

✉ Valery Yu. Murylev — Dr. Sci (Med.), Professor
Address: 8-2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5753-8926>
e-mail: nmuril@yandex.ru

Grigory A. Kukovenko — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-6700-0222>
e-mail: gkukovenko@gmail.com

Pavel M. Elizarov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>
e-mail: elizarov_07@mail.ru

Yaroslav A. Rukin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7355-8556>
e-mail: yar.rukin@gmail.com

Aleksey V. Muzychenkov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>
e-mail: amuzychenkov@inbox.ru

Alexander I. Rudnev
<https://orcid.org/0000-0003-4490-2922>
e-mail: ruda310895@gmail.com

Aleksandr G. Zhuchkov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-6486-4567>
e-mail: Nas1674249@yandex.ru

Semen S. Alekseev
<https://orcid.org/0000-0001-7599-7472>
e-mail: semen.alekseev.92@mail.ru

Dmitry S. Bobrov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1190-7498>
e-mail: dsbmed@mail.ru

Valery G. Germanov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1639-0555>
e-mail: valgers@mail.ru



Научная статья
УДК 616.711.6-007.17-053.9
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-12024>

Синдромальная оценка дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника у пациентов пожилого и старческого возраста

В.С. Климов^{1,2,3}, Р.В. Халепа⁴, Е.В. Амелина⁵, А.В. Евсюков⁶,
А.Л. Кривошапкин^{1,2}, С.О. Рябых³

¹ АО «Европейский медицинский центр», г. Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

³ Научно-исследовательский клинический институт педиатрии и детской хирургии им. акад. Ю.Е. Вельтищева ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова», Минздрава России, г. Москва, Россия

⁴ ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (г. Новосибирск), г. Новосибирск, Россия

⁵ ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск, Россия

⁶ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Реферат

Актуальность. Выбор метода оперативного лечения при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника (ПОП) затруднен в связи с отсутствием четких клинико-рентгенологических критериев диагностики и прямой зависимости между тяжестью рентгенологических проявлений заболевания и клинической симптоматикой.

Цель исследования — на основе анализа клинических, неврологических и рентгенологических характеристик пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника выделить доминирующие клинические и рентгенологические синдромы, определяющие снижение качества жизни и требующие хирургической коррекции.

Материал и методы. С использованием малоинвазивных технологий (изолированные декомпрессии, TLIF, LLIF, ALIF) в период с 2013 по 2017 г. оперировано 1013 пациентов (367 мужчин и 646 женщин) в возрасте 60–89 лет (в среднем 66 лет). Критерии выделения ведущих синдромов: боль в ноге/спине с пороговым значением 5 баллов по ВАШ, рентгенологические критерии клинической нестабильности по А.А. White и М.М. Panjabi (>5 баллов), угол Кобба >10°, маркеры сагиттального дисбаланса: индекс Barrey (II и III), повышение РТ выше целевых значений, дефицит L4-S1 и LL.

Результаты. Симптомы компрессии выявлены у 97% пациентов: синдром радикулопатии — у 665 (66%) больных с болями в ноге (в среднем 7 баллов по ВАШ), нейрогенная перемежающаяся хромота — у 319 (31%). Дегенеративный спондилолистез по рентгенологическим критериям выявлен у 428 (42%) пациентов, дегенеративная сколиотическая деформация — у 91 (9%). В соответствии с предложенными критериями доминирующий синдром компрессии определен у 624 (62%) пациентов, синдром клинической нестабильности — у 338 (33%), синдром деформации с сагиттальным дисбалансом — у 51 (5%).

Заключение. Синдромальная оценка клинических, неврологических и рентгенологических проявлений дегенеративной патологии обеспечивает возможность выделения доминирующего клинико-рентгенологического синдрома, требующего оперативного лечения и дифференцированного подхода к выбору оптимальной хирургической опции.

Ключевые слова: дегенеративные заболевания позвоночника, стеноз позвоночного канала, радикулопатия, минимально инвазивная хирургия позвоночника, пожилой возраст.

Для цитирования: Климов В.С., Халепа Р.В., Амелина Е.В., Евсюков А.В., Кривошапкин А.Л., Рябых С.О. Синдромальная оценка дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника у пациентов пожилого и старческого возраста. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):31-45. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-12024>.

Амелина Евгения Валерьевна; e-mail: amelina.evgenia@gmail.com

Рукопись получена: 26.05.2023. Рукопись одобрена: 11.08.2023. Статья опубликована онлайн: 13.09.2023.

© Климов В.С., Халепа Р.В., Амелина Е.В., Евсюков А.В., Кривошапкин А.Л., Рябых С.О., 2023



Syndromic Assessment of Degenerative Disorders of the Lumbar Spine in Elderly Patients

Vladimir S. Klimov^{1,2,3}, Roman V. Khalepa⁴, Evgeniya V. Amelina⁵, Alexei V. Evsukov⁶, Alexei L. Krivoschapkin^{1,2}, Sergei O. Ryabykh³

¹ European Medical Center; Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

³ Veltishev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Pediatric Surgery of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

⁴ Federal Neurosurgical Center, Novosibirsk, Russia

⁵ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

⁶ National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

Abstract

Background. The choice of the method and options for surgical treatment of degenerative pathology of the lumbar spine is difficult due to the lack of clear clinical and radiological criteria for diagnosis and a direct correlation between the severity of the radiological manifestations of the disease and clinical symptoms.

The aim of this study was to analyze the clinical and neurological characteristics of elderly patients with degenerative disorders of the lumbar spine and to identify the dominant clinical and radiologic syndromes.

Methods. Cohort of 1013 patients were operated using MIS technologies (decompression alone, TLIF, LLIF, ALIF) in the period 2013–2017 (367 male/646 female). The age range is 60–89 years (mean 66 years). The criteria for identifying the leading syndromes: leg pain/back pain with a threshold value of 5 points according to VAS, X-ray criteria for clinical instability by A.A. White and M.M. Panjabi (value >5 points), Cobb angle >10°, markers of sagittal imbalance: Index Barrey (II and III), PT increase above target values, L4-S1 and LL deficiency.

Results. Symptoms of compression were identified in 97% of patients. Radiculopathy syndrome was detected in 665 (66%) patients with mean leg pain 7 points, neurogenic intermittent claudication – in 319 (31%) patients. Degenerative spondylolisthesis according to radiological criteria was detected in 428 (42%) patients. Degenerative scoliotic deformity had 91 (9%) patients. In accordance with the proposed criteria, the dominant compression syndrome was determined in 624 patients (62%), clinical instability syndrome – in 338 (33%), deformity syndrome with sagittal imbalance – in 51 (5%).

Conclusion. Syndromic assessment of clinical, neurological and radiological manifestations of degenerative disorders provides the possibility of identifying the dominant syndrome requiring operative surgical treatment and a differentiated approach to choosing the optimal surgical option.

Keywords: elderly age, degenerative diseases, stenosis, syndromic assessment, minimal invasive surgery.

Cite as: Klimov V.S., Khalepa R.V., Amelina E.V., Evsukov A.V., Krivoschapkin A.L., Ryabykh S.O. Syndromic Assessment of Degenerative Disorders of the Lumbar Spine in Elderly Patients. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):31–45. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-12024>.

✉ Evgeniya V. Amelina; e-mail: amelina.evgenia@gmail.com

Submitted: 26.05.2023. Accepted: 11.08.2023. Published online: 13.09.2023.

© Klimov V.S., Khalepa R.V., Amelina E.V., Evsukov A.V., Krivoschapkin A.L., Ryabykh S.O., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Об увеличении количества пациентов старшей возрастной группы с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника (ПОП) и стенозом позвоночного канала (ПК) свидетельствуют современные эпидемиологические исследования [1, 2, 3]. Хирургические вмешательства на ПОП у пациентов старшей возрастной группы сопряжены с риском интра- и послеоперационных осложнений, частота которых ожидаемо увеличивается с возрастом и наличием сочетанной патологии, однако в доступных нам литературных источниках сведения о таком влиянии противоречивы [3, 4, 5]. Дополнительные сложности при оценке качества жизни пациентов старшей возрастной группы с дегенеративной патологией ПОП обусловлены отсутствием четких клинических и рентгенологических критериев диагностики, в том числе корреляционной связи между выраженностью рентгенологических проявлений болезни и клинической симптоматикой (болевого синдрома, неврологических синдромов, спондилолистеза, сагиттальный дисбаланс), отсутствием единых принципов классификации, в частности у пациентов со стенозом ПК, критериев оценки качества жизни в послеоперационном периоде и исходов лечения [6, 7, 8].

Цель исследования — провести анализ клинических, неврологических и рентгенологических характеристик пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника и выделить доминирующие клинические и рентгенологические синдромы, определяющие снижение качества жизни и требующие хирургической коррекции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное исследование. Период набора данных: январь 2013 г. — декабрь 2017 г. Возрастной коридор пациентов: 60–89 лет (66/65 (62;69) лет). Здесь и далее принят следующий формат описания данных: среднее/медиана (1-й; 3-й квартили).

Критерии включения в исследование:

- 1) пожилой и старческий возраст (60–75 и 75–90 лет по критериям ВОЗ 1963 г.);
- 2) дегенеративные изменения ПОП:
 - обусловленные грыжей межпозвонкового диска (МПД) и/или стенозом ПК с клиническими проявлениями в виде синдрома нейрогенной перемежающейся хромоты, радикулопатии или их сочетания;

- обусловленные нестабильностью позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) и/или деформацией позвоночника в сагиттальной (дегенеративный спондилолистез низкой степени градации 1–2 степени по классификации H.W. Meyerding) [9] и фронтальной (угол Cobb $>10^\circ$ и $\leq 30^\circ$) плоскостях с наличием стойкого болевого вертебрального синдрома в виде хронической боли в ПОП при осевой нагрузке 5 и более баллов по ВАШ;

- 3) отсутствие положительного эффекта от проведения комплексной консервативной терапии в течение 12 нед.

Материал исследования базируется на комплексном анализе клинико-неврологических проявлений у 1013 пациентов пожилого и старческого возраста с клинически значимыми дегенеративными заболеваниями ПОП: 367 (36%) мужчин и 646 (64%) женщин. Все пациенты были оперированы с применением различных минимально инвазивных технологий (MIS): изолированная микрохирургическая декомпрессия — 624, TLIF — 294, LLIF — 72, ALIF — 23. Во всех случаях проведение различных методов минимально инвазивного межтелового спондилодеза было дополнено MIS перкутанной ТПФ. Данная статья основана на результатах диссертационного исследования*.

Методы и критерии оценки

Протокол обследования включал сбор анамнеза, клинико-неврологическое обследование и лучевые методы диагностики. Для оценки степени выраженности болевого синдрома в спине и в нижних конечностях использовали визуальную аналоговую шкалу боли (ВАШ). Качество жизни оценивали по индексу Освестри (Oswestry Disability Index — ODI, 1976 [10]) и по шкале The Short Form-36 (SF-36). В качестве протокола количественной оценки синдрома нейрогенной перемежающейся хромоты использовали тест с определением дистанции самостоятельной ходьбы до появления основных клинических симптомов.

Всем пациентам, включенным в исследование, проводили магнитно-резонансную томографию (МРТ) на аппарате Avanto (Siemens) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. На сагиттальных срезах T2-ВИ идентифицировали фораминальный стеноз с выделением трех степеней по классификации S. Lee с соавторами [11]. Для определения латерального стеноза ПК использовали критерии N. Mamisch с соавторами [12]. У пациентов с центральным стенозом определяли параметры ПК клинически значимого уровня компрессии корешков [12, 13]. Определение ведущего морфологическо-

* Климов В.С. Дифференцированный нейроортопедический подход к хирургическому лечению пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника: дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.15, 14.01.18. Новосибирск. 2021. 487 с.

го субстрата компрессии проводили по принципу клинико-морфологического соответствия. Оценку степени центрального стеноза ПК проводили полуквантитативным методом по классификации Schizas [14].

Мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) выполняли на спиральном 64-срезовом компьютерном томографе Somatom Definition (Siemens). Важным критерием оценки сагиттального баланса является отношение линии отвеса C7 к крестцово-бедренному расстоянию (C7 plumb line/sacrofemoral distance — C7/SFD).

Этот параметр известен как индекс Barrey (IB), который является отношением между двумя расстояниями: первое — это дистанция между вертикальной линией, проведенной через головки бедренных костей, и линией отвеса C7; второе — это дистанция между линией отвеса C7 и вертикальной линией, проведенной через задний край верхней замыкательной пластинки S1 позвонка (рис. 1).

Этот индекс равен нулю в случае, если линия отвеса C7 проецируется точно на задний край верхней замыкательной пластинки S1 позвонка

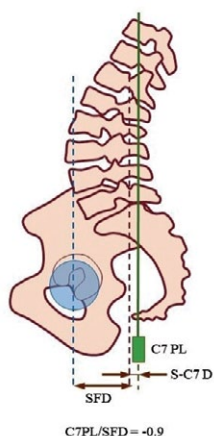
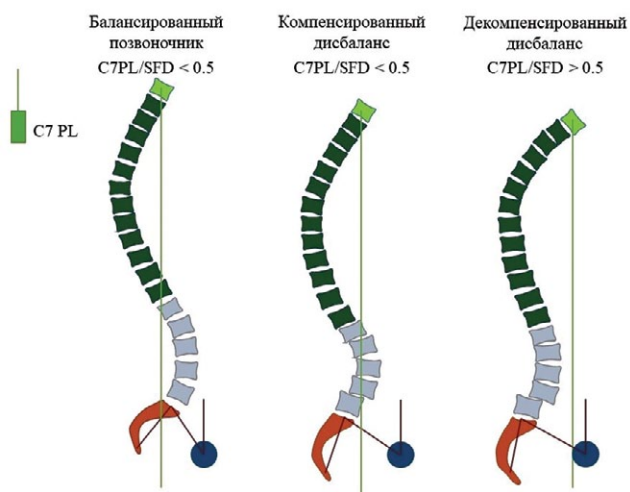


Рис. 1. Схематическое изображение расчета индекса Barrey [15]

Fig. 1. Schematic representation of the calculation of the Barrey index [15]



ка, и равен единице, когда линия отвеса C7 проецируется точно на вертикальную линию через головки бедренных костей. В нормальной здоровой популяции его среднее значение составляет $-0,9 \pm 1,0$. Его значение является отрицательным, когда линия отвеса C7 проецируется кзади от крестца, а в случаях, когда линия отвеса C7 проецируется кпереди от головок бедренных костей, его значение превышает единицу. IB более точно отражает состояние глобального сагиттального баланса по сравнению с SVA, поскольку обеспечивает возможность учета переднезаднего размера таза, который меняется в зависимости от значения PI и имеющихся компенсаторных механизмов. В соответствии со степенью выраженности сагиттального дисбаланса выделяют три типа сагиттального профиля позвоночника: балансированный позвоночник (I тип), компенсированный дисбаланс (II тип) и декомпенсированный дисбаланс (III тип) (рис. 2) [15].

Рентгенография всех отделов позвоночника проводилась в положении стоя в двух проекциях с захватом головок бедренных костей для определения угла Cobb и показателей позвоночно-тазового баланса (ПТБ): PI, SS, PT, LL, ниже-поясничный лордоз L4-S1, SSA, SVA, индекс Barrey [16]. Исследования проводились на цифровой рентгеновской установке Axiom (Siemens). Для оценки клинически значимой нестабильности использовали критерии White–Panjabi (>5 баллов соответствовали нестабильности) [17]. Тип основной дуги искривления определялся в соответствии с классификацией SRS–Schwab [18].

Статистический анализ

Гипотезу о нормальном распределении числовых данных проверяли с помощью критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Так как основной объем количественных и шкальных данных не характеризовался нормальным распределением, то для описания данных применялся следующий формат: среднее/медиана (1-й; 3-й квартили). Сравнение групп производилось с помощью двухстороннего непараметрического критерия Манна–Уитни. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$. Статистическая обработка данных производилась с помощью программного продукта R (базовый функционал).

Рис. 2. Классификация позвоночно-тазовых взаимоотношений с выделением трех типов глобального сагиттального баланса по IB [15]

Fig. 2. Classification of vertebral-pelvic relationships with the allocation of three types of global sagittal balance according to IB [15]

РЕЗУЛЬТАТЫ**Общая характеристика когорты**

По уровню поражения ПДС доминировали пациенты с патологией в апикальном сегменте поясничного лордоза L4-L5 — 612 (60,4%) человек. Распределение пациентов по уровням поражения представлено в таблице 1.

Таблица 1
Распределение пациентов по уровням поражения

Уровень	Число пациентов	
	<i>n</i>	%
L1-L2	6	0,5
L2-L3	27	2,6
L2-L3, L3-L4	11	1,1
L2-L3, L3-L4, L4-L5	20	2,0
L3-L4	121	12,0
L3-L4, L4-L5	69	6,8
L3-L4, L4-L5, L5-S1	2	0,2
L4-L5	612	60,4
L4-L5, L5-S1	28	2,8
L5-S1	117	11,6
Итого	1013	100,0

Большинство пациентов имели одноуровневый характер поражения ПОП — 883 (87%), клинически значимый стеноз ПК на двух уровнях определен у 108 (11%) больных, на трех — у 22 (2%). Большинство пациентов имели массу тела выше нормы. Средний индекс массы тела (ИМТ) составил 31,6. Ожирение (ИМТ ≥ 30) выявлено у 582 (57,5%) пациентов анализируемой когорты. У 999 (98,6%) пациентов выявлена сопутствующая соматическая патология, у подавляющего большинства больных выявленная сопутствующая патология была множественной — 844 (83,3%). Средний показатель коморбидности (CCI) в исследуемой когорте составил 63/77 (53; 90).

При клинико-неврологическом обследовании синдром радикулопатии выявлен у 665 (66%) пациентов, синдром нейрогенной перемежающейся хромоты — у 319 (31%) больных с дистанцией ходьбы 96/100 (50; 100) м. Таким образом, в 97% случаев компрессия нервных корешков в различных отделах ПК была основным фактором, определяющим снижение качества жизни у пациентов старшей возрастной группы.

По данным лучевых методов исследования, у 428 (42%) пациентов выявлен дегенеративный спондилолистез, из них по классификации Meyerding первая степень была определена у 390 (91%) больных, вторая степень — у 38 (9%). Однако количество пациентов с 5 и более баллами по критериям А.А. White и М.М. Panjabi составило 338 человек (33% от всего количества больных), что соответствовало клинической нестабильности ПДС. Дегенеративная сколиотическая деформация ПОП с углом Cobb во фронтальной плоскости от 10° до 30° диагностирована у 91 (9%) пациента, из которых только у 51 отмечены клинические и рентгенологические проявления сагиттального дисбаланса.

Оценка когорты с позиции доминирующих клинических и рентгенологических синдромов

Для выделения доминирующих клинических и рентгенологических синдромов, требующих хирургической коррекции, мы использовали разработанный алгоритм выделения доминирующих синдромов: компрессии, нестабильности и деформации, в основу которого положен принцип клинико-морфологического соответствия имеющихся нарушений (рис. 3).

Для выделения доминирующего синдрома, определяющего имеющуюся клиническую и неврологическую симптоматику, а также необходимость хирургической коррекции, мы использовали пороговое значение болевого синдрома по ВАШ в 5 баллов, преобладание боли в спине или в ноге, наличие или отсутствие клинических симптомов сагиттального дисбаланса. Также были применены рентгенологические критерии нестабильности (пороговое значение 5 и более баллов по А.А. White and М.М. Panjabi), тип основной дуги искривления по классификации SRS-Schwab и маркер сагиттального дисбаланса — Index Barrey (IB).

Анализ основных клинико-неврологических и рентгенологических критериев больных старшего возраста мы проводили в трех группах пациентов, выделенных в зависимости от доминирующего клинического и рентгенологического синдрома: группа 1 — доминирующий синдром компрессии, группа 2 — нестабильность ПДС, группа 3 — дегенеративная деформация с сагиттальным дисбалансом (табл. 2). По исходным возрастным и гендерным признакам эти группы между собой не отличались ($p > 0,05$).

Основные клинические показатели и неврологические синдромы, характеризующие анализируемую когорту пациентов, представлены в таблице 3.

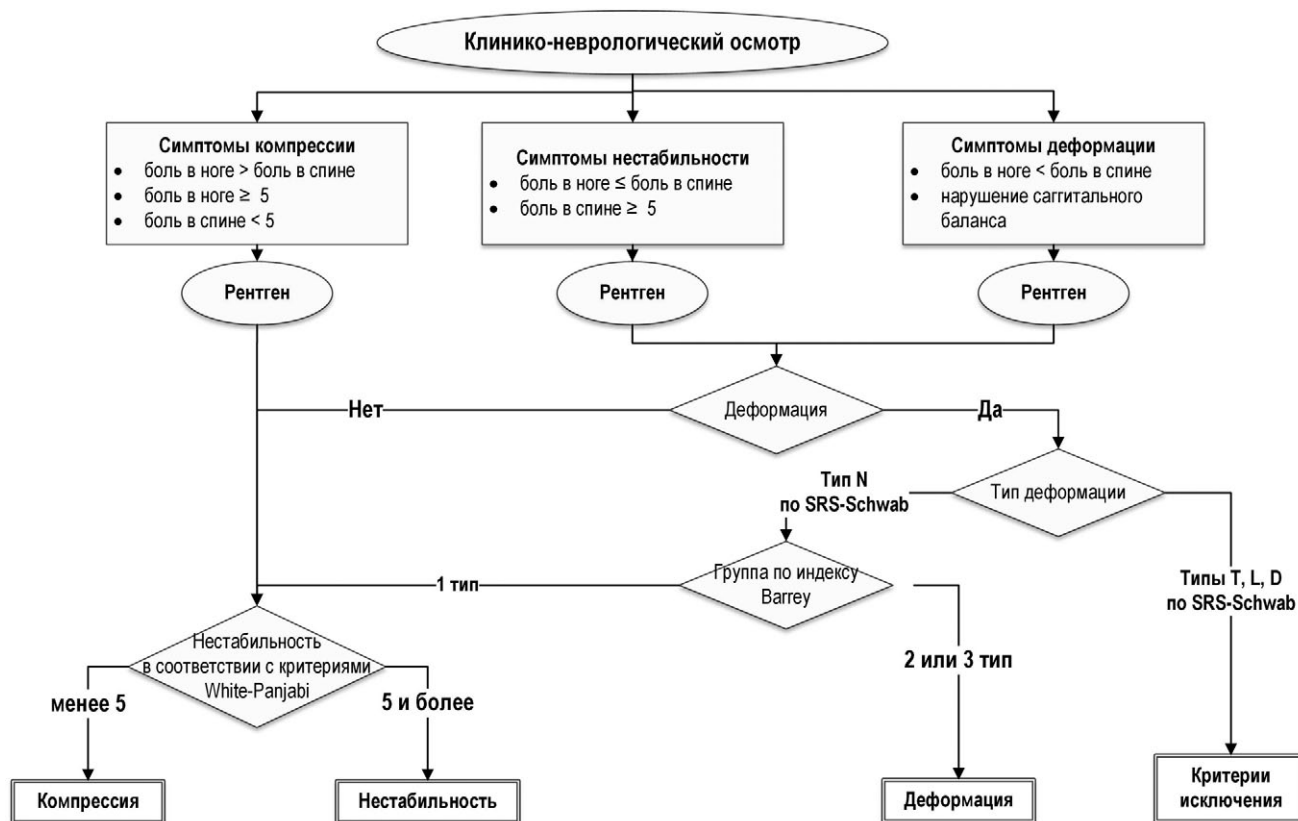


Рис. 3. Алгоритм выделения доминирующего клинического синдрома
 Fig. 3. Algorithm for identifying the dominant clinical syndrome

Таблица 2

Характеристика групп пациентов в соответствии с выделенным доминирующим синдромом

Показатель	Группа 1 (n = 624)	Группа 2 (n = 338)	Группа 3 (n = 51)
Критерии White – Panjabi	<5	≥5	<5
ВАШ боль в ноге (среднее), баллы	6,9	6,5	5,9
ВАШ боль в спине (среднее), баллы	5,4	7,2	6,6

Таблица 3

Клинические показатели больных анализируемой когорты

Показатель	Группа 1 (n = 624)	Группа 2 (n = 338)	Группа 3 (n = 51)	Итого (n = 1013)
<i>Неврологические синдромы</i>				
Радикулопатия	479 (77%)	154 (46%)	32 (63%)	665 (66%)
Нейрогенная хромота	145 (23%)	163 (48%)	11 (21%)	319 (31%)
Изолированный вертебральный болевой синдром	–	21 (6%)	8 (16%)	29 (3%)

Показатель	Группа 1 (n = 624)	Группа 2 (n = 338)	Группа 3 (n = 51)	Итого (n = 1013)
<i>Клиническая характеристика</i>				
ИМТ	30,6/30,1 (26,8; 33,6)	33,2/33 (28,8; 36,6)	32,9/33,5 (29,2; 36,3)	31,6/31,1 (27,6; 35,1)
ВАШ боль в спине, баллы	5,4/6 (4; 7)	7,2/7 (6; 8)	6,6/6 (5; 8)	6,1/6 (5; 8)
ВАШ боль в ноге, баллы	6,9/7 (5; 8)	6,5/7 (5; 8)	5,9/6 (5; 8)	6,7/7 (5; 8)
ODI, баллы	55/56 (42; 68)	58/60 (52; 66)	56/54 (45; 62)	56,2/57 (44; 66)
SF-36 РН, баллы	27/26 (23; 30)	26/26 (22; 30)	25/24 (22; 28)	26,6/26 (23; 30)
SF-36 МН, баллы	29/28 (22; 34)	27/26 (20; 32)	26/26 (22; 28)	27,9/27 (22; 33)
CCI, %	64/77 (53; 90)	62/77 (53; 90)	58/77 (21; 90)	63/77 (53; 90)
Дистанция ходьбы (319 пациентов), м	105/100 (50; 150)	88/100 (50; 100)	103/75 (50; 125)	96/100 (50; 100)
White – Panjabi, баллы	2,9/3 (2; 4)	6,3/6 (6; 7)	3,7/4 (2;4)	–
Дегенеративный сколиоз	21	19	51	91
Угол Cobb (сколиоз), °	17,9/14 (13; 22)	18/17 (13; 23)	16,5/15 (11; 20)	–

Группа 1 представлена 624 (62%) пациентами с преобладанием симптомов компрессии корешков конского хвоста в виде радикулопатии, нейрогенной перемежающейся хромоты либо их сочетания. У всех этих больных в клинической картине преобладали симптомы компрессии корешков конского хвоста над степенью выраженности болевого вертебрального синдрома. По данным лучевых методов исследования, у 81 (12,8%) пациента группы 1 выявлен дегенеративный спондилолистез, из них по классификации Meyerding 1-я степень была определена у 96,3% больных, 2-я степень – у 3,7%. Дегенеративный сколиоз ПОП типа N с углом Cobb во фронтальной плоскости от 10° до 30° диагностирован у 21 (3,4%) пациента. Значение угла Cobb у них составило 17,9/14 (13,4; 21,8)°. У пациентов первой группы отсутствовали явные признаки клинической нестабильности ПДС, а показатель по критериям А.А. White и М.М. Panjabi составил 2,9/3 (2; 4) балла.

С учетом неоднородной клинической симптоматики и критериев диагностики различных ви-

дов стеноза ПК по данным МРТ пациенты группы 1 были разделены на три подгруппы, исходя из определения для каждого пациента основного фактора компрессии корешков конского хвоста и подтверждения данными лучевых методов исследования факта наличия компрессии на соответствующем топической диагностике уровне [19]. Схема распределения пациентов группы 1 на подгруппы в зависимости от локализации компрессии и его основного морфологического субстрата представлена на рисунке 4.

У 393 (63,0%) пациентов подгруппы 1 единственным морфологическим субстратом компрессии по данным МРТ была грыжа МПД, располагавшаяся на уровне боковых и парамедианных отделов ПК, которая вызывала сдавление корешка в латеральном кармане с устойчивым дискорадикулярным конфликтом. Из них у 28 (4,5%) пациентов компрессия корешка была выявлена на уровне межпозвонкового отверстия латеральнее наружной педикулярной линии, а морфологическим субстратом компрессии являлась экстрафорамии-



Рис. 4. Распределение пациентов группы 1 на подгруппы в зависимости от локализации компрессии и его основного морфологического субстрата

Fig. 4. Distribution of patients in group 1 into subgroups depending on the localization of compression and its main morphological substrate

нальная грыжа МПД. У всех этих больных по классификации S. Lee определялась 3-я степень фораминального стеноза с компрессией выходящего из межпозвоночного отверстия нервного корешка.

Подгруппа 2 (86 (13,8%) пациентов) — клиническая симптоматика и рентгенологическая семиотика по критериям Mamisch соответствовали латеральному стенозу ПК, что клинически проявлялось монорадикулярным болевым синдромом вследствие компрессии проходящего корешка.

У 145 (23,2%) пациентов (подгруппа 3) выявлен центральный стеноз ПК, который клинически проявлялся синдромом нейрогенной перемежающейся хромоты. В большинстве случаев (106 больных) симптомы нейрогенной хромоты сочетались с симптомами компрессии корешков в виде динамической радикулопатии, которая имела как односторонний, так и двухсторонний характер. По критериям С. Schizas стеноз степени В выявлен у 8 (5,5%), С — 69 (47,6%) и D — 68 (46,9%) пациентов.

Группа 2 представлена 338 (33%) пациентами с доминирующим синдромом клинической нестабильности (5 и более баллов по критериям А.А. White и М.М. Panjabi — средний балл у них составил 6,3/6 (6; 7)). У всех больных группы 2 в клинической картине отмечалось наличие болевого вертебрального синдрома (ВАШ >5 баллов). У 48,3% больных группы 2 в клинической картине отмечалось преобладание болевого вертебрального синдрома (боль в спине по ВАШ ≥5 баллов) над степенью выраженности болевого синдрома в нижних конечностях, обусловленного компрессией корешков конского хвоста в виде радикулопатии, нейрогенной перемежающейся хромоты либо их сочетания. У 317 (93,8%) пациентов нестабильность ПДС сочеталась с симптомами компрессии корешков конского хвоста. Только у 21 пациента этой группы отсутствовали симптомы компрессии нервных корешков. Преобладали пациенты с 1-й степенью спондилолистеза по классификации Н.В. Meyerding — 278 (89,1%), а спондилолистез 2-й степени был определен только у 34

(10,9%). У 26 (7,7%) пациентов синдром клинической нестабильности ПДС не сопровождался развитием спондилолистеза. Дегенеративная сколиотическая деформация ПОП с углом Cobb во фронтальной плоскости от 10° до 30° диагностирована у 19 (5,6%) пациентов, при этом имеющаяся деформация существенно не влияла на качество жизни и нарушение жизнедеятельности (ODI 47/47 (32; 52), SF-36 PH — 24/23 (22; 27), SF-36 MH- 26/26 (20; 30), что не отличалось от показателей пациентов группы 2с углом Cobb, не превышающим 10°).

Схематическое распределение пациентов группы 2 в зависимости от локализации компрессии и ее основного морфологического субстрата представлено на рисунке 5.

В 154 (45,6%) случаях отмечалось сочетание вертеброгенного болевого синдрома с синдромом радикулопатии за счет прямой компрессии нервного корешка по данным лучевых методов исследования: у 103 (30,5%) пациентов за счет латерального стеноза на уровне нестабильного ПДС, в 51 (15,1%) случае — фораминального стеноза. У 163 (48,2%) больных выявлено сочетание вертеброгенного болевого синдрома с клиническими проявлениями нейрогенной перемежающейся хромоты, обусловленной центральным стенозом ПК на уровне нестабильного ПДС. У этих больных по данным МРТ в соответствии с критериями С. Schizas стеноз степени А4 выявлен у 1 (0,6%) пациента, В — у 33 (20,3%), С — у 77 (47,2%) и D — у 52 (31,9%).

Значения рентгенологических параметров ПОП пациентов группы 2 представлены в таблице 4. Как следует из представленной таблицы, большинство пациентов имеют высокие показатели PI. Необходимо отметить имеющийся дефицит нижнепоясничного и глобального поясничного лордоза с отклонением от целевых значений средних показателей. Следовательно, дефицит глобального поясничного лордоза (LL) и нижнепоясничного лордоза (LL4-S1) можно рассматривать как триггер развития у них нарушений позвоночно-тазовых взаимоотношений.

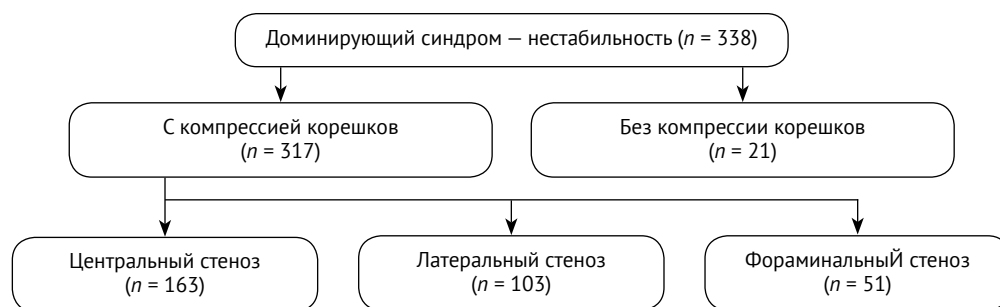


Рис. 5. Распределение пациентов группы 2 в соответствии с локализацией и ведущим морфологическим субстратом компрессии

Fig. 5. Distribution of patients in group 2 according to localization and leading morphological substrate of compression

Таблица 4

Рентгенологические параметры пациентов группы 2, град.

Сагиттальные модификаторы	Значение
PI	56,4/57 (48,5; 63)
LL	54,6/55 (46; 63,5)
Целевой LL	58,1/58,4 (53,8; 61,6)
LL4-S1	30,9/31,5 (23,9; 38)
Целевой LL4-S1	38,3/38,5 (35,5; 40,7)
PT	22,5/22 (16; 27)
Целевой PT (с корректировкой на возраст)	24/25,1 (22; 25,1)
Целевой PT (формула)	13,4/13,7 (9,9; 16,3)
SS	34,1/33,4 (27,8; 41,2)
SL	6,2/5,9 (3; 9)
SVA	20,1/17 (-13; 37)
PI-LL	1,8/1 (-6,3; 8)

Группа 3 представлена 51 пациентом (5% от всей когорты больных) с доминирующим синдромом деформации во фронтальной плоскости с углом Cobb от 10° до 30°, определяющим снижение качества жизни и нарушение жизнедеятельности. Этим пациентов не только беспокоили болевой вертебральный (100% больных группы 3) и различного вида компрессионные синдромы (84%), но и все они предъявляли жалобы на невозможность длительного нахождения в положении стоя, нарушение функции ходьбы, связанное с трудностями удержания тела в вертикальном положении, обусловленные нарушением локального либо глобального сагиттального баланса позвоночника с превышением нормативных показателей сагиттальных модификаторов (IV II и III типов).

Угол Cobb в группе составил 16,5/15° (11; 20°). По данным лучевых методов исследования, у 35 больных группы 3 (68,6%) на фоне дегенеративной сколиотической деформации выявлен дегенеративный спондилолистез на одном уровне ($n = 9$), на двух уровнях ($n = 23$), на трех уровнях ($n = 3$). Из них 1-я степень по классификации H.W. Meyerding была определена у 34 больных, а 2-я степень — у 1 пациента. По данным рентгенографии с функциональными пробами, до операции не было выявлено нестабильности ПДС, что соответствовало 3,7/4 (2;4) баллам (менее 5 баллов по А.А. White и М.М. Panjabi). Рентгенологические характеристики пациентов группы 3 представлены в таблице 5.

Как следует из представленных данных, все пациенты группы 3 имели сагиттальный дисбаланс ПОП с дефицитом LL4-S1, LL, SSA, увеличением PT выше целевых индивидуальных значений.

Таблица 5

Рентгенологические параметры пациентов группы 3, град.

Сагиттальные модификаторы	Значение
PI	53/53 (46; 60)
LL	43,6/45 (36; 52,5)
Целевой LL	56,3/56,2 (52,2; 59,7)
LL4-S1	26,4/27 (17,5; 36)
Целевой LL4-S1	37,1/37,1 (34,4; 39,4)
PT	21,9/22 (17; 26,5)
Целевой PT (с корректировкой на возраст)	24,3/25,1 (22; 25,1)
Целевой PT (формула)	12/11,9 (8,6; 14,8)
SS	31,2/31 (26; 36)
SSA	118,8/120 (113,5; 125)
SVA	46,3/43 (16,5; 67,5)
PI-LL	9,5/8 (0,5; 17)
TK	33,9/36 (27; 41)
Угол Cobb	16,5/15 (11; 20)

Преобладание болевых ощущений в спине над болью в ноге/ногах отмечено у 28 (55%) пациентов этой группы (боль в спине — 7,2/7 (6; 8,5), боль в ноге — 5,2/5 (4; 7,5) баллов). При клинко-неврологическом обследовании синдром радикулопатии выявлен у 17 (33%) пациентов. Радикулярный болевой синдром был обусловлен компрессией нервного корешка в фораминальном отверстии на вогнутой стороне деформации, что подтвердилось данными МРТ. У всех этих пациентов был определен фораминальный стеноз позвоночного канала 2-й степени по S. Lee с соавторами.

В 29% случаев (15 пациентов) выявлено сочетание фораминального и центрального стенозов ПК. Синдром компрессии нервного корешка в межпозвонковом отверстии проявлялся болью в ноге (5,9/6 (4; 8) баллов), также у всех этих пациентов отмечены проявления нейрогенной перемежающейся хромоты со средней дистанцией ходьбы 107 м (от 20 до 200 м). По классификации С. Schizas стеноз соответствовал типу В у 4 больных, типу С — у 11. В 22% случаев (11 пациентов) вследствие формирования центрального стеноза компрессия корешков конского хвоста проявлялась синдромом нейрогенной перемежающейся хромоты со средней дистанцией ходьбы 93 м (от 10 до 300 м). По классификации С. Schizas стеноз соответствовал типу С у 8 больных, типу В — у 3. У 8 больных единственной причиной ухудшения качества жизни и снижения степени функциональной адаптации был болевой вертебральный синдром с интенсивностью боли в ногах по ВАШ не более 2 баллов.

Схематическое распределение пациентов группы 3 в зависимости от локализации компрессии и его основного морфологического субстрата представлено на рисунке 6.

В соответствии с выделенными доминирующими синдромами пациентам были выполнены 1013

первичных оперативных вмешательств с применением различных минимально инвазивных технологий, в т.ч. изолированные микрохирургические декомпрессии — 624, декомпрессивно-стабилизирующие операции — 338, многоуровневая фиксация с коррекцией деформаций — 51 (рис. 7).



Рис. 6. Распределение пациентов группы 3 в соответствии с локализацией и ведущим морфологическим субстратом компрессии

Fig. 6. Distribution of patients in group 3 according to localization and leading morphological substrate of compression

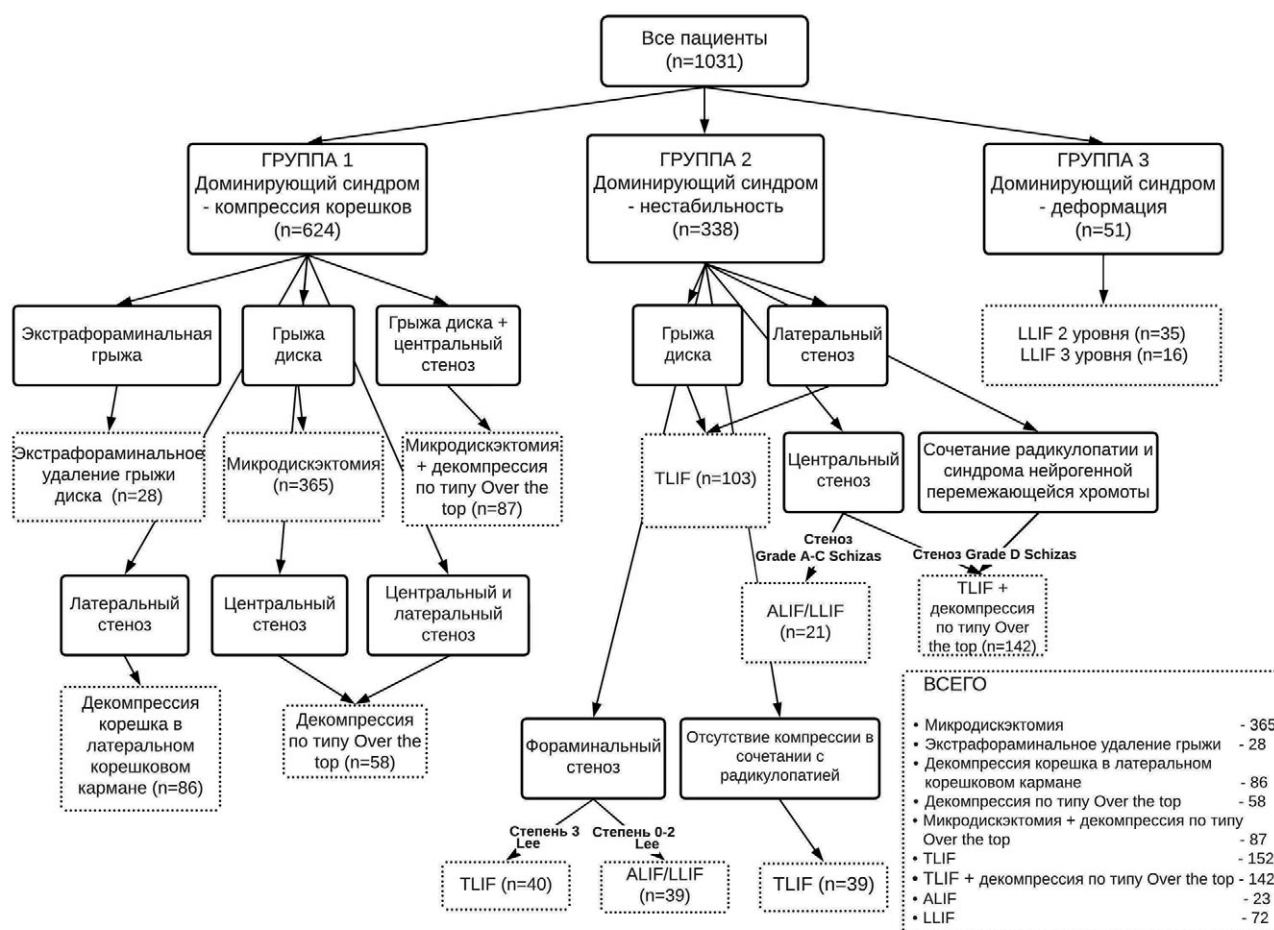


Рис. 7. Распределение пациентов по видам проведенных оперативных вмешательств в зависимости от выделенного доминирующего синдрома

Fig. 7. Distribution of patients by types of surgical interventions performed depending on the identified dominant syndrome

ОБСУЖДЕНИЕ

Пациенты пожилого и старческого возраста с дегенеративной патологией ПОП представляют крайне разнородную группу [20]. Это обусловлено разнообразием клинических проявлений дегенеративной патологии: различная локализация клинически значимых стенозных поражений (грыжа МПД, центральный стеноз ПК, стеноз латеральных отделов ПК, компрессия корешка на уровне межпозвоночного отверстия, сочетания этих состояний), наличие или отсутствие сопутствующего спондилолистеза, нестабильность ПДС, нередко встречающиеся сколиотические деформации, дегенеративные изменения фасеточных суставов. Для них характерно сочетание различных клинических синдромов, таких как радикулопатия, нейрогенная хромота, болевой вертебральный синдром, нарушения сагиттального баланса тела разной степени выраженности. Также типичным для пожилых больных является многоуровневый характер дегенеративных изменений ПОП. Ключевой особенностью этих пациентов считается высокая коморбидность с наличием сахарного диабета, ожирения и остеопороза. Негативное влияние ожирения на результаты хирургического лечения отмечено во многих публикациях [3, 21, 22, 23].

В нашем исследовании установлено, что подавляющее большинство пациентов старшей возрастной группы с дегенеративными заболеваниями ПОП, нуждающихся в хирургическом лечении, имели ожирение (57,5%) и сопутствующую соматическую патологию (98,7%), а избыточная масса тела у них (ИМТ ≥ 30) является фактором риска развития синдрома клинической нестабильности ПДС и формирования дегенеративной деформации. В 97% случаев причиной нарушения жизнедеятельности и снижения качества жизни у пациентов старшей возрастной группы была стойкая неврологическая симптоматика, обусловленная сдавлением нервных корешков в различных отделах ПК.

Исследования, направленные на изучение корреляции между клиническими проявлениями стеноза ПК и данными лучевых методов исследования, дают весьма противоречивые результаты: одни авторы находят между ними статистически значимую связь, но большинство специалистов не находят [6, 24, 25]. Это диктует необходимость синдромального подхода к комплексной оценке пациентов старшей возрастной группы с дегенеративной патологией с целью выделения доминирующего клинического и рентгенологического синдрома, требующего хирургической коррекции. Использование предложенного нами алгоритма показало, что в 62% случаев доминирующим клиническим и рентгенологическим синдромом у этих больных является изолированная компрессия нервных кореш-

ков в различных отделах ПК, несмотря на наличие у 12,8% из них дегенеративного спондилолистеза и у 3,4% — сколиоза. О превалировании болевого синдрома в ногах (ВАШ >5 баллов) над болью в спине у пациентов старшего возраста, которым необходимо проводить локальные изолированные декомпрессии по технологии MIS, указывается и в исследовании L. Paravero с соавторами [26]. Современные публикации показывают, что выполнение микрохирургических декомпрессий обеспечивает получение отличных результатов у этой категории пациентов [27, 28, 29]. Опубликованные в последние годы клинические рекомендации указывают, что методом выбора хирургического лечения у пациента с симптомным стенозом ПК без сопутствующей нестабильности является декомпрессивное вмешательство (уровень доказательности «С») [30]. Еще более высокий уровень доказательности («В») показывают исследования по эгидой North American Spine Society (NASS), в которых указывается, что пациентам с превалированием клинических симптомов в ногах без нестабильности целесообразно выполнять изолированную декомпрессию [31].

Из 1013 пациентов, включенных в исследование, доминирующим синдромом мы определили синдром компрессии у 624, из которых в 63% случаев основным компримирующим нервный корешок морфологическим субстратом была грыжа МПД. Этим 393 больным с целью декомпрессии мы выполнили микрохирургическую дискэктомию с применением MIS-технологий, из них у 28 операция была проведена через паравертебральный доступ по Wiltse [32]. Таким образом, выделение доминирующего клинического и рентгенологического синдрома компрессии в соответствии с предложенным алгоритмом обеспечило возможность минимизировать объем операции и снизить риски периоперационных осложнений, что имеет важное значение для пациентов старшей возрастной группы.

Доминирующий клиничко-рентгенологический синдром нестабильности был определен у 33% больных. При этом у 317 из них (93,8%) нестабильность сочеталась с симптомами компрессии корешков конского хвоста. Следовательно, этим пациентам для получения хорошего клинического эффекта от операции проведение декомпрессии целесообразно было дополнять межтеловым спондилодезом с ТПФ. Для диагностики нестабильности по функциональным рентгенограммам было предложено большое количество различных критериев оценки. Несмотря на все усилия, принятые в последние десятилетия, нет единого рентгенологического золотого стандарта диагностики нестабильности ПДС [33, 34]. Поэтому,

на наш взгляд, в рутинной практике для диагностики и определения тактики лечения пациентов с дегенеративной патологией ПОП целесообразно использовать понятие клинической нестабильности, для идентификации которой существуют четко определенные критерии [17].

Подходы к хирургическому лечению пациентов старшей возрастной группы с сочетанием клинически значимого стеноза ПК и дегенеративной деформации значительно отличаются: от минимально инвазивных способов изолированных локальных декомпрессий до многоуровневой коррекции деформации [24, 35]. При этом основополагающими принципами хирургического лечения этой патологии у лиц пожилого и старческого возраста ряд авторов считают коррекцию нестабильности ПДС и/или сагиттального и фронтального (угол Cobb > 20°) дисбаланса [36, 37, 38]. Современные MIS-техники (MI-TLIF, LLIF, OLIF) показали свою эффективность с точки зрения снижения травматичности хирургических процедур, а также частоты повторных вмешательств [39, 40]. Пожилые пациенты, перенесшие операцию MI-TLIF, имеют не только сопоставимую частоту периоперационных осложнений в сравнении с более молодыми больными, но и получают клинически значимое уменьшение боли, улучшение функции и качества жизни [41].

В нашем исследовании определено, что ИВ является чувствительным маркером сагиттального дисбаланса у этой категории пациентов. Его применение в структуре алгоритма выделения доминирующего синдрома деформации обеспечило возможность выявления больных, у которых именно дисбаланс был основной причиной снижения качества жизни, несмотря на наличие клинических проявлений стеноза ПК. В соответствии с ИВ все пациенты, у которых мы определили доминирующий синдром деформации, имели высокий PI и выраженные нарушения сагиттального баланса в виде дефицита глобального поясничного лордоза и лордоза L4-S1, что требовало проведения таргетной коррекции.

Проведенный нами анализ осложнений у этой категории пациентов в соответствии с критериями Dindo-Clavien [42] показал, что частота осложнений статистически значимо зависит от таких факторов, как ожирение, коморбидность, объем и сложность самой операции, которые являются наиболее значимыми. Использование MIS-опций для лечения пациентов пожилого возраста снижает количество тяжелых хирургических и соматических осложнений [43].

Для улучшения результатов операций на позвоночнике у гериатрических пациентов M. Zileli и E. Dursun рекомендуют соблюдение следующих

принципов: тщательная оценка сопутствующей соматической патологии, лечение этих заболеваний на этапе предоперационной подготовки, диагностика и комплексное лечение остеопороза, прецизионное предоперационное планирование с целью минимизации хирургической агрессии и использование минимально инвазивных операций [44].

Несмотря на ряд опубликованных исследований, имеющих высокий уровень доказательности, остаются спорными вопросы определения показаний к оперативному лечению у пациентов с различными видами стеноза ПК и выбора хирургической опции, поскольку диагностика и лечение этих больных требуют комплексного подхода к принятию решения, особенно у пациентов пожилого и старческого возраста, и диктует необходимость учета многих факторов для определения оптимального метода с целью получения оптимального клинического эффекта для каждого пациента.

Ограничения исследования

Определенные ограничения в интерпретации результатов обусловлены ретроспективным и моноцентровым характером набора материала. Поэтому необходимо проведение дальнейших проспективных рандомизированных мультицентровых исследований в этом направлении для улучшения отдаленных исходов хирургического лечения снижения количества осложнений у пациентов старшей возрастной группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синдромальная оценка клинических, неврологических и рентгенологических проявлений дегенеративной патологией ПОП у пациентов обеспечивает возможность выделения доминирующего синдрома, требующего хирургического лечения, и дифференцированного подхода к выбору оптимальной для каждого конкретного пациента опцией. Доминирующим синдромом в 62% случаев, у пациентов старшей возрастной группы с дегенеративной патологией ПОП, нуждающихся в хирургическом лечении, являлся синдром компрессии, что потребовало проведения различных изолированных декомпрессий с применением малоинвазивных опций. У 33% больных доминирующим синдромом, требующим хирургической коррекции, являлся синдром клинической нестабильности, предопределивший необходимость выполнения различных декомпрессивно-стабилизирующих операций. Только в 5% случаев основной целью хирургического лечения являлась коррекция дегенеративной сколиотической деформации с восстановлением показателей сагиттального баланса.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**Заявленный вклад авторов**

Климов В.С. — разработка концепции исследования, сбор и интерпретация данных, написание и редактирование текста статьи.

Халепа Р.В. — сбор и интерпретация данных, редактирование текста статьи.

Амелина Е.В. — анализ данных, редактирование текста статьи.

Евсюков А.В. — сбор и интерпретация данных.

Кривошапкин А.Л. — редактирование текста статьи.

Рябых С.О. — разработка концепции и дизайна исследования, написание и 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. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный 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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Buser Z., Ortega B., D'Oro A., Pannell W., Cohen J.R., Wang J. et al. Spine Degenerative Conditions and Their Treatments: National Trends in the United States of America. *Glob Spine J.* 2018;8(1):57-67. doi: 10.1177/2192568217696688.
2. Smith E., Hoy D., Cross M., Merriman T.R., Vos T., Buchbinder R. et al. The global burden of gout: Estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* 2014;73(8):1470-1476. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204647.
3. Saleh A., Thirukumaran C., Mesfin A., Molinari R.W. Complications and readmission after lumbar spine surgery in elderly patients: an analysis of 2,320 patients. *Spine J.* 2017;17(8):1106-1112. doi: 10.1016/j.spinee.2017.03.019.
4. Deyo R.A., Hickam D., Duckart J.P., Piedra M. Complications After Surgery for Lumbar Stenosis in a Veteran Population. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38(19):1695-1702. doi: 10.1097/BRS.0b013e31829f65c1
5. Adogwa O., Carr R.K., Kudyba K., Karikari I., Bagley C., Gokaslan Z.L. et al. Revision lumbar surgery in elderly patients with symptomatic pseudarthrosis, adjacent-segment disease, or same-level recurrent stenosis. Part 1. Two-year outcomes and clinical efficacy. *J Neurosurg Spine.* 2013;18(2):139-146. doi: 10.3171/2012.11.SPINE12224.
6. Weber C., Giannadakis C., Rao V., Jakola A.S., Nerland U., Nygaard Ø.P. et al. Is there an association between radiological severity of lumbar spinal stenosis and disability, pain, or surgical outcome? A multicenter observational study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(2):E78-83. doi: 10.1097/BRS.0000000000001166.

DISCLAIMERS**Author contribution**

Klimov V.S. — study concept and design, data collection and processing, writing and drafting the article.

Khalepa R.V. — data collection and processing, drafting the article.

Amelina E.V. — data collection and processing, drafting the article.

Evsukov A.V. — data collection and processing.

Krivoschapkin A.L. — drafting the article.

Ryabykh S.O. — study concept and design, writing and drafting the article

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

7. Nayak N.R., Stephen J.H., Piazza M.A., Obayemi A.A., Stein S.C., Malhotra N.R. Quality of Life in Patients Undergoing Spine Surgery: Systematic Review and Meta-Analysis. *Glob Spine J.* 2019;9(1):67-76. doi: 10.1177/2192568217701104.
8. Schroeder G.D., Kurd M.F., Vaccaro A.R. Lumbar spinal stenosis: How is it classified? *J Am Acad Orthop Surg.* 2016;24(12):843-852. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00034.
9. Meyerding H.W. Spondyloptosis. *Surg Gynecol Obstet.* 1932;54:371-377.
10. Черепанов Е.А. Русская версия опросника Освестри: культурная адаптация и валидность. *Хирургия позвоночника.* 2009;3:93-98.
Cherepanov E.A. Russian version of the Oswestry Disability Index: cross-cultural adaptation and validity. *Khirurgiya pozvonochnika.* 2009;3:93-98.
11. Lee S., Lee J.W., Yeom J.S., Kim K.J., Kim H.J., Chung S.K. et al. A practical MRI grading system for lumbar foraminal stenosis. *Am J Roentgenol.* 2010;194(4):1095-1098. doi: 10.2214/AJR.09.2772. PMID: 20308517.
12. Mamisch N., Brumann M., Hodler J., Held U., Brunner F., Steurer J. et al. Radiologic Criteria for the Diagnosis of Spinal Stenosis: Results of a Delphi Survey. *Radiology.* 2012;264(1):174-179. doi: 10.1148/radiol.12111930.
13. Steurer J., Roner S., Gnannt R., Hodler J. Quantitative radiologic criteria for the diagnosis of lumbar spinal stenosis: a systematic literature review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:175. doi: 10.1186/1471-2474-12-175.
14. Schizas C., Theumann N., Burn A., Tansey R., Wardlaw D., Smith F.W. et al. Qualitative Grading of Severity of Lumbar Spinal Stenosis Based on the Morphology of the Dural Sac on Magnetic Resonance Images. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(21):1919-1924. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181d359bd.

15. Barrey C., Roussouly P., Le Huec J.C., D'Acunzi G., Perrin G. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine. *Eur Spine J.* 2013;22 Suppl 6(Suppl 6):S834-S841. doi: 10.1007/s00586-013-3030-z.
16. Barrey C., Jund J., Nosedà O., Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J.* 2007;16(9):1459-1467. doi: 10.1007/s00586-006-0294-6.
17. White A.A., Panjabi M.M. *Clinical Biomechanics of the Spine.* 2nd ed. Philadelphia: J.B. Lippincott; 1990.
18. 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.
19. Климов В.С., Лопарев Е.А., Евсюков А.В., Рзаев Д.А., Амелина Е.В., Саатова Н.Э. и др. Сравнительный анализ результатов лечения пациентов различных возрастных групп с грыжами межпозвоночных дисков. *Хирургия позвоночника.* 2020;17(3):66-80. doi: 10.14531/ss2020.3.66-80.
Klimov V.S., Loparev E.A., Evsyukov A.V., Rzaev D.A., Amelina E.V., Saatova N.E. et al. Comparative analysis of treatment results in patients with disc herniation of different age groups. *Khirurgiya pozvonochnika.* 2020;17(3):66-80. doi: 10.14531/ss2020.3.66-80. (In Russian).
20. Яриков А.В., Шпагин М.В., Мереджи А.М., Перльмуттер О.А., Фраерман А.П. Спинальный поясничный стеноз (анализ литературы и собственные результаты). *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии.* 2021;8:594-613. doi: 10.33920/med-01-2108-03.
Yarikov A.V., Shpagin M.V., Meredzhi A.M., Perlmutter O.A., Fraerman A.P. Spinal lumbar stenosis (analysis of the literature and own results). *Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery.* 2021;8:594-613. (In Russian). doi: 10.33920/med-01-2108-03.
21. Castle-Kirsbaum M.D., Tee J.W., Chan P., Hunn M.K. Obesity in Neurosurgery: A Narrative Review of the Literature. *World Neurosurg.* 2017;106:790-805. doi: 10.1016/j.wneu.2017.06.049.
22. Климов В.С., Евсюков А.В., Халепа Р.В., Рябых С.О., Амелина Е.В., Маркин С.П. Анализ структуры ревизионных вмешательств у пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника. *Нейрохирургия.* 2021;23(1):47-61. doi: 10.17650/1683-3295-2021-23-1-47-61.
Klimov V.S., Evsyukov A.V., Khalepa R.V., Ryabykh S.O., Amelina E.V., Markin S.P. Analysis of the structure of revision interventions in elderly and senile patients with degenerative pathology of the lumbar spine. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2021;23(1):47-61. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2021-23-1-47-61.
23. Chan A.K., Bisson E.F., Bydon M., Glassman S.D., Foley K.T., Potts E.A. et al. Obese Patients Benefit, but do not Fare as Well as Nonobese Patients, Following Lumbar Spendylolisthesis Surgery: An Analysis of the Quality Outcomes Database. *Neurosurgery.* 2020;86(1): 80-87. doi: 10.1093/neuros/nyy589.
24. Fujii K., Kawamura N., Ikegami M., Niitsuma G., Kunogi J. Radiological Improvements in Global Sagittal Alignment After Lumbar Decompression Without Fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(10):703-709. doi: 10.1097/BRS.0000000000000708.
25. Katz J.N., Dalgas M., Stucki G., Katz N.P., Bayley J., Fossel A.H. et al. Degenerative lumbar spinal stenosis diagnostic value of the history and physical examination. *Arthritis Rheum.* 1995;38(9):1236-1241. doi: 10.1002/art.1780380910.
26. Papavero L., Schawjinski K., Ali N., Oehm J., Pietrek M., Schoeller K. Lumbar Spinal Stenosis: Ipsilateral Facet-sparing Unilateral Laminotomy for Bilateral Decompression: Technical Note and Preliminary Results. *J Minim Invasive Spine Surg Tech.* 2021;6(2):147-156. Available from: <http://www.jmisst.org/journal/view.php?doi=10.21182/jmisst.2021.00255>.
27. Austevoll I.M., Gjestad R., Brox J.I., Solberg T.K., Storheim K., Rekeland F. et al. The effectiveness of decompression alone compared with additional fusion for lumbar spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis: a pragmatic comparative non-inferiority observational study from the Norwegian Registry for Spine Surgery. *Eur Spine J.* 2017;26(2):404-413. doi: 10.1007/s00586-016-4683-1.
28. Försth P., Michaëlsson K., Sandén B. Does fusion improve the outcome after decompressive surgery for lumbar spinal stenosis? *Bone Joint J.* 2013;95-B(7):960-965. doi: 10.1302/0301-620X.95B7.30776.
29. Park J.H., Hyun S.J., Roh S.W., Rhim S.C. A comparison of unilateral laminectomy with bilateral decompression and fusion surgery in the treatment of grade I lumbar degenerative spondylolisthesis. *Acta Neurochir (Wien).* 2012;154(7):1205-1212. doi: 10.1007/s00701-012-1394-1.
30. Дегенеративные заболевания позвоночника: клинические рекомендации [дата обращения 29.08.2023]. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/727_1.
Degenerative diseases of the spine: clinical guideline [date of access: 29.08.2023]. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/727_1
31. Kreiner D.S., Shaffer W.O., Baisden J.L., Gilbert T.J., Summers J.T., Toton J.F. et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spinal stenosis (update). *Spine J.* 2013;13(7):734-743. doi: 10.1016/j.spinee.2012.11.059.
32. Wiltse L., Spencer C. New uses and refinements of the paraspinous approach to the lumbar spine. *Spine* 1988;13:696-706.
33. Izzo R., Guarnieri G., Guglielmi G., Muto M. Biomechanics of the spine. Part II: Spinal instability. *Eur J Radiol.* 2013;82(1):127-138. doi: 10.1016/j.ejrad.2012.07.023.
34. Крутько А.В., Байков Е.С., Коновалов Н.А., Назаренко А.Г. Сегментарная нестабильность позвоночника: нерешенные вопросы. *Хирургия позвоночника.* 2017;14(3):74-83. doi: 10.14531/ss2017.3.74-83.
Krutko A.V., Baikov E.S., Kononov N.A., Nazarenko A.G. Segmental spinal instability: unsolved problems. *Khirurgiya Pozvonochnika.* 2017;14(3):74-83. (In Russian). doi: 10.14531/ss2017.3.74-83.
35. Lee B.H., Yang J.-H., Kim H.-S., Suk K.-S., Lee H.-M., Park J.-O. et al. Effect of Sagittal Balance on Risk of Falling after Lateral Lumbar Interbody Fusion Surgery Combined with Posterior Surgery. *Yonsei Med J.* 2017;58(6):1177-1185. doi: 10.3349/ymj.2017.58.6.1177.
36. Михайлов В.А., Пташников Д.А., Масевин С.В., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С., Лапаева О.А. и др. Результаты лечения пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративными деформациями и нестабильностью позвоночника. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(2):15-26. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26.

- Mikhaylov V.A., Ptashnikov D.A., Masevnin S.V., Smekalenkov O.A., Zaborovski N.S., Lapaeva O.A. et al. Treatment outcomes in elderly and senile patients with degenerative deformations and instability of the spinal column. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(2):15-26. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26. (In Russian).
37. Lafage R., Schwab F., Challier V., Henry J.K., Gum J., Smith J. et al. Defining spino-pelvic alignment thresholds should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(1):62-68. doi: 10.1097/BRS.0000000000001171.
38. Glassman S.D., Coseo M.P., Carreon L.Y. Sagittal balance is more than just alignment: Why PJK remains an unresolved problem. *Scoliosis Spinal Disord*. 2016;11:1. doi: 10.1186/s13013-016-0064-0.
39. Inui T., Murakami M., Nagao N., Miyazaki K., Matsuda K., Tominaga Y. et al. Lumbar degenerative spondylolisthesis: changes in surgical indications and comparison of instrumented fusion with two surgical decompression procedures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(1):E15-E24. doi: 10.1097/BRS.0000000000001688.
40. Wu A.-M., Chen C.-H., Shen Z.-H., Feng Z.-H., Weng W.-Q., Li S.-M. et al. The Outcomes of Minimally Invasive versus Open Posterior Approach Spinal Fusion in Treatment of Lumbar Spondylolisthesis: The Current Evidence from Prospective Comparative Studies. *Biomed Res Int*. 2017;2017:8423638. doi: 10.1155/2017/8423638.
41. Goh G.S.-H., Tay Y.W.A., Liow M.H.L., Gatot C., Ling Z.M., Fong P.L. et al. Elderly Patients Undergoing Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion May Have Similar Clinical Outcomes, Perioperative Complications, and Fusion Rates As Their Younger Counterparts. *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(4):822-832. doi: 10.1097/CORR.0000000000001054.
42. Dindo D., Demartines N., Clavien P.A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004;240:205-213.
43. Klimov V., Evsyukov A., Amelina E., Ryabykh S., Simonovich A. Predictors of Complications and Unfavorable Outcomes of Minimally Invasive Surgery Treatment in Elderly Patients With Degenerative Lumbar Spine Pathologies (Case Series). *Front Surg*. 2022;9:869345. doi: 10.3389/fsurg.2022.869345.
44. Zileli M., Dursun E. How to Improve Outcomes of Spine Surgery in Geriatric Patients. *World Neurosurg*. 2020;140:519-526. doi: 10.1016/j.wneu.2020.04.060.

Сведения об авторах

✉ Амелина Евгения Валерьевна — канд. физ.-мат. наук
Адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1
<https://orcid.org/0000-0001-7537-3846>
e-mail: amelina.evgenia@gmail.com

Климов Владимир Сергеевич — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9096-7594>
e-mail: vsklimov72@gmail.com

Халепа Роман Владимирович
<https://orcid.org/0000-0003-0046-6612>
e-mail: romkha@mail.ru

Евсюков Алексей Владимирович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>
e-mail: alexevsukov@mail.ru

Кривошапкин Алексей Леонидович — д-р мед. наук, профессор, член-кор. РАН
<https://orcid.org/0000-0003-0789-8039>
e-mail: alkr01@yandex.ru

Рябых Сергей Олегович — д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>
e-mail: rso_mail.ru

Authors' information

✉ Evgeniya V. Amelina — Cand. Sci. (Phys.-Math.)
Address: 1, Pirogova st., Novosibirsk, 630090, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7537-3846>
e-mail: amelina.evgenia@gmail.com

Vladimir S. Klimov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-9096-7594>
e-mail: vsklimov72@gmail.com

Roman V. Khalepa
<https://orcid.org/0000-0003-0046-6612>
e-mail: romkha@mail.ru

Alexei V. Evsukov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>
e-mail: alexevsukov@mail.ru

Alexei L. Krivoshapkin — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-0789-8039>
e-mail: alkr01@yandex.ru

Sergei O. Ryabykh — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>
e-mail: rso_mail.ru



Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Mikhail S. Ryazantsev¹, Aleksei N. Logvinov¹, Dmitrii O. Il'in^{1,2}, Nina E. Magnitskaya¹, Aziz R. Zaripov^{1,2}, Aleksandr V. Frolov^{1,2}, Aleksey P. Afanasyev¹, Andrey V. Korolev^{1,2}

¹ European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

Abstract

Background. Anterior cruciate ligament (ACL) graft rupture has multifactorial causes, with traumatic factors being the most prevalent. Modern literature presents conflicting data regarding the influence of the posterior tibial slope on the risk of traumatic ACL graft rupture.

Aim of the study – to determine if there is a correlation between the posterior tibial slope and ACL graft injury in patients who have previously undergone ACL reconstruction.

Methods. This was a single-center cohort retrospective study that included patients diagnosed with a complete ACL rupture and who had undergone ACL reconstruction using standard techniques without graft rupture at the last follow-up. Inclusion criteria for the first group included a diagnosis of traumatic ACL rupture followed by reconstruction, a graft composed of semitendinosus and gracilis tendons (St+Gr), femoral fixation with a cortical button, tibial fixation with a sleeve and screw, and the absence of graft rupture at the time of the study. This group included 30 consecutive patients (15 males and 15 females) with a mean age of 36.3 years (min 17, max 59). Inclusion criteria for the second group included an indirect traumatic mechanism of ACL graft rupture and subsequent revision ACL reconstruction. This group consisted of 33 patients (23 males and 10 females) with a mean age of 33.0 years (min 19, max 60). The lateral (LPTS) and medial (MPTS) posterior tibial slopes were measured on lateral knee radiographs.

Results. The median time from surgery to the last follow-up in the first group was 65 months (IQR 60; 66), while in the second group, it was 48 months (IQR 9; 84). The median MPTS in the first group was 7.8° (IQR 5.3; 9.4), while in the second group, it was 8.5° (IQR 7.5; 11). The median LPTS in the first group was 9.9° (IQR 8.4; 12.1), whereas in the second group, it was 12.0° (IQR 9; 15.4). There was no statistically significant difference in MPTS and LPTS based on gender in both groups and the entire sample ($p > 0.05$). When comparing LPTS values between both groups, a statistically significant difference ($p = 0.04$) was found, with higher LPTS values in patients in the second group (with ACL graft injury).

Conclusion. Increased posterior tibial slope, particularly LPTS, is identified as a potential predictor of ACL graft rupture. The study demonstrates the impact of LPTS on the risk of ACL graft rupture ($p < 0.05$) in cases of indirect traumatic injury.

Keywords: revision ACL reconstruction, anterior cruciate ligament, posterior tibial slope, ACL graft rupture.

Cite as: Ryazantsev M.S., Logvinov A.N., Il'in D.O., Magnitskaya N.E., Zaripov A.R., Frolov A.V., Afanasyev A.P., Korolev A.V. Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):46-52. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7986>.

✉ Mikhail S. Ryazantsev; e-mail: ryaz.doc@yandex.ru

Submitted: 07.03.2023. Accepted: 01.09.2023. Published online: 07.09.2023.

© Ryazantsev M.S., Logvinov A.N., Il'in D.O., Magnitskaya N.E., Zaripov A.R., Frolov A.V., Afanasyev A.P., Korolev A.V., 2023



Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки

М.С. Рязанцев¹, А.Н. Логвинов¹, Д.О. Ильин^{1,2}, Н.Е. Магнитская¹, А.Р. Зарипов^{1,2},
А.В. Фролов^{1,2}, А.П. Афанасьев¹, А.В. Королев^{1,2}

¹ Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Разрыв аутооттрансплантата передней крестообразной связки (ПКС) имеет многофакторную природу, причем травматический фактор превалирует над остальными причинами. В литературе имеются противоречивые данные относительно влияния заднего наклона большеберцовой кости на риск травматического разрыва трансплантата ПКС.

Цель исследования — определить, существует ли связь между задним наклоном большеберцовой кости и повреждением трансплантата передней крестообразной связки у пациентов, которым уже была проведена реконструкция передней крестообразной связки.

Материал и методы. В моноцентровое когортное ретроспективное исследование вошли пациенты, у которых был диагностирован полный разрыв ПКС и выполнена ее реконструкция по стандартной методике без разрыва аутооттрансплантата на момент последнего осмотра. Критерии включения в первую группу: диагностированный травматический разрыв ПКС с последующей реконструкцией; трансплантат из сложенных пополам полусухожильной и нежной мышц (St+Gr); бедренная фиксация кортикальной пуговицей, большеберцовая фиксация — гильза + винт; отсутствие разрыва трансплантата ПКС на момент проведения исследования. В эту группу были отобраны 30 последовательных пациентов (15 мужчин и 15 женщин), средний возраст 36,3 (min 17, max 59) лет. Критерии включения во вторую группу: непрямой травматический механизм разрыва аутооттрансплантата ПКС, выполненная ревизионная пластика ПКС. В эту группу вошли 33 пациента (23 мужчины и 10 женщин), средний возраст 33,0 (min 19, max 60) года. У всех пациентов измеряли латеральный (LPTS) и медиальный (MPTS) задний наклон большеберцовой кости на рентгенограммах в боковой проекции.

Результаты. Медиана времени, прошедшего с момента операции до последнего контрольного осмотра, в первой группе составила 65 мес. (IQR 60; 66); во второй — 48 мес. (IQR 9; 84). Медиана MPTS в первой группе составила 7,8° (IQR 5,3; 9,4); во второй — 8,5° (IQR 7,5; 11). Медиана LPTS в первой группе — 9,9° (IQR 8,4; 12,1); во второй — 12,0° (IQR 9; 15,4). Не было выявлено статистически значимой разницы между MPTS и LPTS в зависимости от пола в обеих группах и всей выборке в целом ($p > 0,05$). При сравнении значений LPTS в обеих группах получена статистически значимая разница ($p = 0,04$) с большим значением LPTS у пациентов второй группы (с повреждением трансплантата ПКС).

Заключение. Одним из возможных предикторов разрыва аутооттрансплантата ПКС является увеличенный задний наклон большеберцовой кости. Выявлено влияние латерального заднего наклона большеберцовой кости (LPTS) на риск разрыва аутооттрансплантата ПКС ($p < 0,05$) при непрямом механизме травмы.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, ревизионная пластика ПКС, задний наклон большеберцовой кости, разрыв трансплантата ПКС.

Для цитирования: Рязанцев М.С., Логвинов А.Н., Ильин Д.О., Магнитская Н.Е., Зарипов А.Р., Фролов А.В., Афанасьев А.П., Королев А.В. Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):46-52. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7986>.

✉ Рязанцев Михаил Сергеевич; e-mail: ryaz.doc@yandex.ru

Рукопись получена: 07.03.2023. Рукопись одобрена: 01.09.2023. Статья опубликована онлайн: 07.09.2023.

© Рязанцев М.С., Логвинов А.Н., Ильин Д.О., Магнитская Н.Е., Зарипов А.Р., Фролов А.В., Афанасьев А.П., Королев А.В., 2023

BACKGROUND

The number of surgeries for anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction annually increases [1, 2], leading to a rise in revision reconstructions [3, 4]. Literature reports a revision ACL surgery rate of 3.2-3.6% after 5-7 years, with young age being a predisposing factor [3, 5].

Repeat trauma is one of the main causes of autograft rupture. According to R. Magnussen et al., the proportion of traumatic autograft ruptures ranges from 46 to 56% [6].

There is evidence that an increased posterior tibial slope (PTS) may be a predisposing factor for autograft rupture of the ACL in the early postoperative period, especially in women [8], contralateral ACL rupture [7], and medial meniscus rupture (with PTS values $>13^\circ$) in an unstable knee joint [7, 8, 9]. An increased PTS affects rotational stability in patients with ACL rupture and leads to greater translation of the tibia after ligament reconstruction [10, 11]. Reducing the PTS significantly reduces the load on the ACL graft under axial loading by reducing anterior-posterior displacement of the tibia [12, 13].

Aim of the study to determine if there is a correlation between the posterior tibial slope and ACL graft injury in patients who have previously undergone ACL reconstruction.

METHODS

Study design: Single-center retrospective cohort.

The study included patients diagnosed with a complete ACL rupture who underwent ACL reconstruction at the European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO) using standard techniques without autograft rupture at the time of the last examination.

Inclusion criteria for the first group were: diagnosed traumatic ACL rupture followed by reconstruction at the clinic; a graft consisting of half-semi-tendinous and gracilis tendons (St+Gr); femoral fixation with a cortical button, tibial fixation with a sleeve and screw; no ACL graft rupture at the time of the study. Exclusion

criteria consisted of the use of a different graft or a different method of autograft fixation.

Inclusion criteria for the second group were: indirect traumatic mechanism of autograft ACL rupture, revision ACL reconstruction. Exclusion criteria consisted other reasons for instability after ACL reconstruction and the absence of revision ACL reconstruction.

An indirect mechanism of injury was defined as rotation, hyperextension, valgus/varus, or combinations of these single-plane forces in the absence of direct physical impact and external force applied directly to the knee joint.

After applying the inclusion and exclusion criteria, 30 consecutive patients (15 males and 15 females) were selected for the first group, and 33 patients (23 males and 10 females) were selected for the second group.

The lateral (LPTS) and medial (MPTS) posterior tibial slopes were measured on lateral knee radiographs.

Technique for measuring MPTS and LPTS on X-rays

Measurements were conducted using the Radiant DICOM Viewer, v. 2021.2 (Medixant, Poland). To minimize measurement errors, two senior physicians from the department independently performed measurements, and the average value of all measurements was determined.

The posterior tibial slope was determined on lateral-view knee radiographs relative to the anatomical axis of the tibia. This was determined by inscribing two circles on the proximal part of the shin, 5 and 15 cm distal to the joint surface, and drawing a line connecting their centers. The surface of the medial (blue line) and lateral (red line) tibial plateaus was determined (Fig. 1). The angle between the tangent and the central axis of the tibia was measured. MPTS and LPTS were determined using the formula:

$$\text{MPTS and LPTS} = 90^\circ - \text{the angle between the anatomical axis of the tibia and the tangent drawn along each plateau.}$$

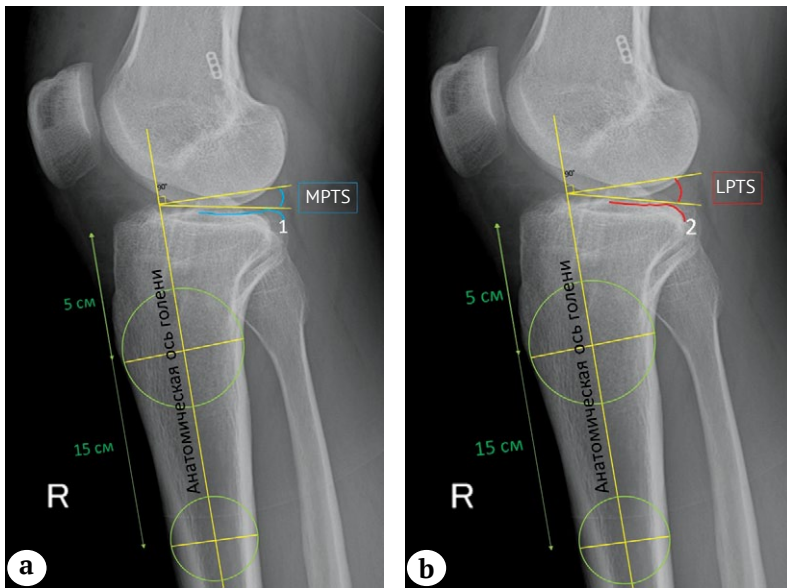


Fig. 1. Determination of the medial and lateral posterior tibial slope on lateral knee X-rays:
 a – medial tibial plateau surface (blue line);
 b – lateral tibial plateau surface (red line)

Statistical analysis

Statistical data analysis was carried out using IBM SPSS Statistics 21 (IBM corp.) and STATISTICA 12.0 (Stat Soft, Inc). Quantitative data are presented as box plots. Normality of distribution was assessed using the Kolmogorov-Smirnov test. For normally distributed data, means with minimum and maximum values are presented; for non-normally distributed data, the median (Me) with interquartile range (IQR) is provided. To compare data between two independent groups, the Mann-Whitney U-test was used, and for data comparison across multiple independent groups, the Kruskal-Wallis test was applied. A critical level of statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

RESULTS

At the time of surgery, the two groups were comparable in all parameters (Table 1). MPTS and LPTS values for both groups of patients are presented in Figure 2.

Upon data analysis, no statistically significant difference was found between MPTS and LPTS based on gender in both groups and in the overall sample ($p > 0.05$). When comparing MPTS values, no statistically significant difference was observed between the groups ($p = 0.2$). However, when comparing LPTS values, a statistically significant difference was observed ($p = 0.04$), with higher values in the second group of patients (with ACL graft damage).

Table 1

Characteristics of patients in both groups

Indicator	First group	Second group
Mean age, years	36.3 (min 17, max 59)	33.0 (min 19, max 60)
Time between surgery and examination, months	37.5 (IQR 62;66)	48.0 (IQR 9;84)
MPTS, °	7.8° (IQR 5.3;9.4)	8.5° (IQR 7.5;11.0)
LPTS, °	9.9° (IQR 8.4;12.1)	12.0° (IQR 9.0;15.4)

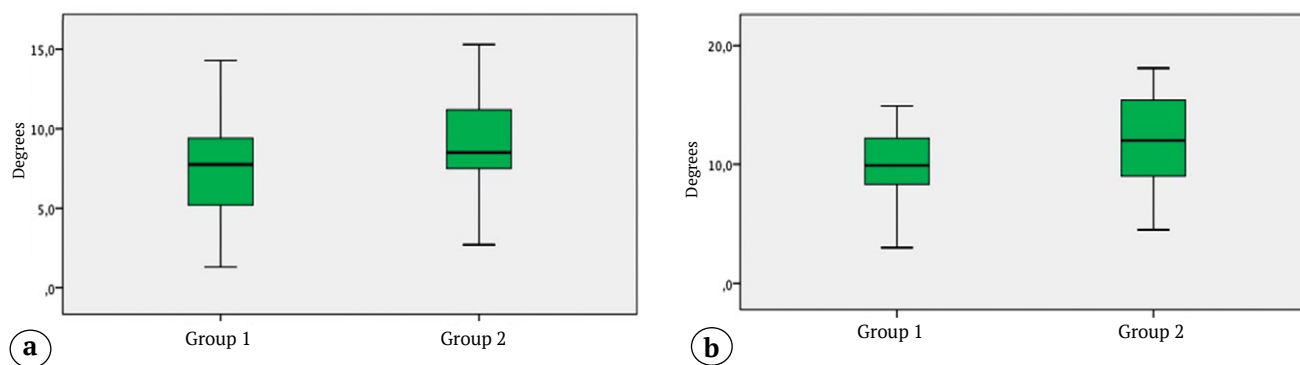


Fig. 2. Posterior tibial slope measurements in two groups of patients based on lateral knee X-rays: a – medial tibial slope; b – lateral tibial slope

DISCUSSION

Reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL) is a reproducible procedure with good long-term outcomes [2]. However, graft rupture leads to the need for revision surgery, increases the risk of additional intra-articular injuries, and revision surgery is technically more challenging for the surgeon with worse outcomes compared to primary ACL reconstruction [4, 14, 15]. The main cause of graft rupture is repeat trauma, with an indirect mechanism of injury predominating (60% of cases) [16].

The potential influence of an increased posterior tibial slope (PTS) on ACL autograft rupture is actively discussed in the literature [7, 10, 12, 17, 18]. There is an opinion that PTS increases the load on the ACL due to an increase in anterior tibial translation [11]. The results of a study by E. Hohmann et al. showed that increasing MPTS and LPTS increases the risk of non-contact ACL graft rupture [17]. K.M. Bojicic et al. identified the influence of PTS on ACL graft rupture regardless of BMI [19]. A study by J. Webb et al. showed that the risk of graft rupture increases when PTS is greater than 12° [18]. However, F. Blanke et al. did not find a relationship between PTS and graft rupture with an indirect mechanism of injury [20].

Different methods for measuring PTS exist: via radiographs, CT, and MRI [21]. This complicates the comparison of results obtained between studies.

Z. Ye et al. assessed PTS on MRI using mechanical (mechanical PTS) and anatomical (anatomical PTS) axes of the tibia and found a significant difference in values between patients with

and without ACL graft rupture: mechanical PTS – $10.7^\circ \pm 2.9^\circ$ vs. $8.7^\circ \pm 1.9^\circ$ ($p = 0.003$) and anatomical PTS – $13.2^\circ \pm 2.8^\circ$ vs. $10.5^\circ \pm 2.5^\circ$ ($p < 0.001$) [22].

In our study, we used the measurement method proposed by R.J. Napier et al. based on lateral-view knee radiographs [7]. This method was chosen due to its good reproducibility and the availability of radiographs in patients with a capture of more than 15 cm of the proximal tibia.

A study by Rahnemai-Azar et al. showed that an increased lateral PTS of the femoral condyle is a predictor of rotational instability in patients with ACL rupture [10]. In our study, a statistically significant difference was found when comparing LPTS values between groups ($p = 0.04$), with higher values in the second group of patients (with ACL graft rupture). The influence of MPTS on the likelihood of graft rupture was not identified. This suggests that the influence of LPTS on graft rupture may be due to greater anterior-posterior displacement of the lateral compartment, creating an additional rotational component that increases the load on the ACL graft.

Study limitations

Our study has limitations related to the complexity of comparing the obtained data with other works due to the large number of techniques for measuring the posterior tibial slope.

CONCLUSION

ACL graft rupture has a multifactorial nature, and one of the possible predictors is an increased posterior tibial slope. In our study, the influence of lateral posterior tibial slope on the risk of ACL

graft rupture ($p < 0.05$) with an indirect mechanism of injury was identified.

Given the contradictory data in the literature regarding the relationship between ACL graft injury and posterior tibial slope, further research with a focus on large samples and standardized measurement methods is needed.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Abram S.G.F., Price A.J., Judge A., Beard D.J. Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and meniscal repair rates have both increased in the past 20 years in England: hospital statistics from 1997 to 2017. *Br J Sports Med.* 2020;54(5):286-291. doi: 10.1136/bjsports-2018-100195.
- Mall N.A., Chalmers P.N., Moric M., Tanaka M.J., Cole B.J., Bach B.R.Jr. et al. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2363-2370. doi: 10.1177/0363546514542796.
- Abram S.G.F., Judge A., Beard D.J., Price A.J. Rates of adverse outcomes and revision surgery after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 104,255 procedures using the National Hospital Episode Statistics Database for England, UK. *Am J Sports Med.* 2019;47(11):2533-2542. doi: 10.1177/0363546519861393.
- MARS Group. Meniscal and Articular Cartilage Predictors of Clinical Outcome After Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(7):1671-1679. doi: 10.1177/0363546516644218.
- Pullen W.M., Bryant B., Gaskill T., Sicignano N., Evans A.M., DeMaio M. Predictors of Revision Surgery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016 Dec;44(12):3140-3145. doi: 10.1177/0363546516660062.
- Magnussen R.A., Trojani C., Granan L.P., Neyret P., Colombet P., Engebretsen L. et al. Patient demographics and surgical characteristics in ACL revision: a comparison of French, Norwegian, and North American cohorts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(8):2339-2348. doi: 10.1007/s00167-014-3060-z.
- Napier R.J., Garcia E., Devitt B.M., Feller J.A., Webster K.E. Increased Radiographic Posterior Tibial Slope Is Associated With Subsequent Injury Following Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(11):2325967119879373. doi: 10.1177/2325967119879373.
- Christensen J.J., Krych A.J., Engasser W.M., Vanhees M.K., Collins M.S., Dahm D.L. Lateral Tibial Posterior Slope Is Increased in Patients With Early Graft Failure After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2015;43(10):2510-2514. doi: 10.1177/0363546515597664.
- Lee J.J., Choi Y.J., Shin K.Y., Choi C.H. Medial Meniscal Tears in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knees: Effects of Posterior Tibial Slope on Medial Meniscal Tear. *Knee Surg Relat Res.* 2011;23(4):227-230. doi: 10.5792/ksrr.2011.23.4.227.
- Rahnemai-Azar A.A., Abebe E.S., Johnson P., Labrum J., Fu F.H., Irrgang J.J. et al. Increased lateral tibial slope predicts high-grade rotatory knee laxity pre-operatively in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1170-1176. doi: 10.1007/s00167-016-4157-3.
- Li Y., Hong L., Feng H., Wang Q., Zhang J., Song G. et al. Posterior Tibial Slope Influences Static Anterior Tibial Translation in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Minimum 2-Year Follow-up Study. *Am J Sports Med.* 2014 Apr;42(4):927-933. doi: 10.1177/0363546514521770.
- Imhoff F.B., Mehl J., Comer B.J., Obopilwe E., Cote M.P., Feucht M.J. et al. Slope-reducing tibial osteotomy decreases ACL-graft forces and anterior tibial translation under axial load. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(10):3381-3389. doi: 10.1007/s00167-019-05360-2.
- Bernhardson A.S., Aman Z.S., Dornan G.J., Kemler B.R., Storaci H.W., Brady A.W. et al. Tibial Slope and Its Effect on Force in Anterior Cruciate Ligament Grafts: Anterior Cruciate Ligament Force Increases Linearly as Posterior Tibial Slope Increases. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):296-302. doi: 10.1177/0363546518820302.
- Salmon L.J., Pinczewski L.A., Russell V.J., Refshauge K. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Hamstring Tendon Autograft: 5- to 9-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* 2006;34(10):1604-1614. doi: 10.1177/0363546506288015.
- Saprykin A.S., Bantser S.A., Rybinin M.V., Kornilov N.N. Current aspects of preoperative planning and selection of surgical techniques for revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopaedic Genius.* 2022;28(3):444-451. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-444-451.
- Agel J., Rockwood T., Klossner D. Collegiate ACL Injury Rates Across 15 Sports: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System Data Update (2004-2005 Through 2012-2013). *Clin J Sport Med.* 2016;26(6):518-523. doi: 10.1097/JSM.0000000000000290.

17. Hohmann E., Tetsworth K., Glatt V., Ngcelwane M., Keough N. Medial and Lateral Posterior Tibial Slope Are Independent Risk Factors for Noncontact ACL Injury in Both Men and Women. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(8):23259671211015940. doi: 10.1177/23259671211015940.
18. Webb J.M., Salmon L.J., Leclerc E., Pinczewski L.A., Roe J.P. Posterior Tibial Slope and Further Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Patient. *Am J Sports Med.* 2013;41(12):2800-2804. doi: 10.1177/0363546513503288.
19. Bojicic K.M., Beaulieu M.L., Imaizumi Krieger D.Y., Ashton-Miller J.A., Wojtys E.M. Association Between Lateral Posterior Tibial Slope, Body Mass Index, and ACL Injury Risk. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(2):232596711668866. doi: 10.1177/2325967116688664.
20. Blanke F., Kiapour A.M., Haenle M., Fischer J., Majewski M., Vogt S. et al. Risk of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries Is Not Associated With Slope and Concavity of the Tibial Plateau in Recreational Alpine Skiers: A Magnetic Resonance Imaging-Based Case-Control Study of 121 Patients. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1508-1514. doi: 10.1177/0363546516632332.
21. Wordeman S.C., Quatman C.E., Kaeding C.C., Hewett T.E. In Vivo Evidence for Tibial Plateau Slope as a Risk Factor for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2012;40(7):1673-1681. doi: 10.1177/0363546512442307.
22. Ye Z., Xu J., Chen J., Qiao Y., Wu C., Xie G. et al. Steep lateral tibial slope measured on magnetic resonance imaging is the best radiological predictor of anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(10):3377-3385. doi: 10.1007/s00167-022-06923-6.

Authors' information

✉ *Mikhail S. Ryazantsev* — Cand. Sci. (Med.)
 Address: 7, Orlovsky lane, Moscow, 129110, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9333-5293>
 e-mail: Ryaz.doc@yandex.ru

Aleksei N. Logvinov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/000-0003-3235-5407>
 e-mail: logvinov09@gmail.com

Dmitrii O. Il'in — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-2493-4601>
 e-mail: ilyinshoulder@gmail.com

Nina E. Magnitskaya — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-4336-036X>
 e-mail: magnitskaya.nina@gmail.com

Aziz R. Zaripov
<https://orcid.org/0000-0003-1282-3285>
 e-mail: azaripov@emcmos.ru

Aleksandr V. Frolov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2973-8303>
 e-mail: frolov1980@gmail.com

Aleksey P. Afanasyev — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2933-5686>
 e-mail: aafanasyev@emcmos.ru

Andrey V. Korolev — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8769-9963>
 e-mail: akorolev@emcmos.ru

Editorial
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-15543>



Editorial Comment on the Article by M.S. Ryazantsev et al. “Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction”

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7986>

Nikolai N. Kornilov

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

Abstract

The failure of ACL reconstruction may occur not only due to repeated injury but also technical errors or biological reasons. The individual patterns of knee morphology addressed in the study of M.S. Ryasantsev et al., particularly tibial slope. Statistically significant difference does not necessarily mean that it leads to clinical impact on the patient. Therefore, all findings should be discussed from the point of minimal clinically relevant difference, especially if the study is underpowered.

Keywords: ACL reconstruction, tibial slope, knee morphology.

Редакционная статья
УДК 616.728.38-089.844-06:616.718.5
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-15543>



Редакционный комментарий к статье М.С. Рязанцева с соавторами «Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки»

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-7986>


Н.Н. Корнилов

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

Реферат


Неудачные исходы реконструкции передней крестообразной связки могут быть обусловлены не только повторной травмой, но и рядом других причин, среди которых все большее внимание уделяется не только техническим ошибкам и осложнениям, но и биологическим факторам, в частности особенностям морфологии коленного сустава, изучению которых и посвящена обсуждаемая статья. С практической точки зрения статистически значимые различия в сравниваемых параметрах следует трактовать только с учетом минимально клинически значимых величин, особенно если статистическая сила исследования недостаточна из-за малой выборки.

Ключевые слова: реконструкция передней крестообразной связки, задний наклон большеберцовой кости, морфология коленного сустава.

 **Cite as:** Kornilov N.N. Editorial Comment on the Article by M.S. Ryazantsev et al. “Influence of Posterior Tibial Slope on the Risk of Recurrence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction”. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):53-55. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15543>.

Для цитирования: Корнилов Н.Н. Редакционный комментарий к статье М.С. Рязанцева с соавторами «Влияние заднего наклона большеберцовой кости на риск рецидива после реконструкции передней крестообразной связки». *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):53-55. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15543>.

 Nikolai N. Kornilov; e-mail: drkornilov@hotmail.com

 Корнилов Николай Николаевич; e-mail: drkornilov@hotmail.com
Submitted: 08.09.2023. Published: 15.09.2023.

Рукопись получена: 08.09.2023. Статья опубликована: 15.09.2023.

© Kornilov N.N., 2023
© Корнилов Н.Н., 2023

The study by M.S. Ryazantsev and colleagues addresses an important aspect of the conceptual shift in the surgical treatment of patients with anterior cruciate ligament (ACL) rupture in modern traumatology and orthopedics. The global research trend in recent decades has shifted from discussing the optimal technical conditions of ACL surgical reconstruction (such as graft selection, specifics of canal positioning, their quantity and formation method, fixation options, etc.) towards a comprehensive assessment of individual anatomical, physiological, and functional patient characteristics that contribute to ACL injury, without diminishing the importance of trauma as the main factor [1].

This shift in focus was prompted by the increasing rate of revisions and re-revisions after primary ACL reconstruction, where atraumatic recurrent ACL ruptures are not uncommon in the etiology. A study by A.S. Saprykin and colleagues, analyzing 257 revision and repeat revision ACL reconstructions, found that 38.9% of cases had no history of traumatic re-injury [2]. While technical errors, infectious complications, and rehabilitation errors are the leading factors, the underestimation of modifiable patient characteristics also increases the risk of complications.

Excessive posterior tibial slope (PTS), primarily the lateral slope, is recognized by many researchers as an important factor contributing to recurrent instability after ACL surgery. This is in addition to frontal limb deformity, the mechanical integrity of other static stabilizers (such as the anterolateral ligament, posterior lateral corner), and the functional condition of lower limb muscles. For instance, the ESSKA consensus on revision ACL surgery recommends performing a corrective osteotomy of the tibia to correct the posterior slope angle when it measures equal to or greater than 12° [3]. Interestingly, even isolated tibial slope correction can provide adequate knee joint stability for some patients, eliminating the need for ACL re-reconstruction.

The main finding of M.S. Ryazantsev and colleagues' work is that only the lateral tibial plateau slope, not the medial slope, significantly differed between the group of patients who underwent revision ACL surgery and the sample of patients who had primary ACL reconstruction.

Extrapolating these findings theoretically to the clinical decision-making process raises the question of the need for isolated lateral tibial plateau osteotomy to correct its pathologic posterior slope in patients with ACL injuries. Such interventions are usually performed in patients with malunion fractures of the lateral tibial plateau because, despite the integrity of all ligaments, they complain of knee joint instability caused by bone morphology [4].

It's worth mentioning another trend in contemporary orthopedic research: the shift from simplifying the interpretation of detected differences from statistically significant to minimally clinically significant differences [5]. A statistically significant difference is merely a mathematical term indicating the unlikelihood of random differences, and this fact is amplified in studies with large sample sizes. However, not every statistically significant difference automatically implies clinical significance [6]. While the authors were able to demonstrate that the differences in the 2.1° slope of the lateral tibial plateau between the groups of patients with primary and revision ACL surgery were statistically significant, whether clinicians should take this into account in their practice when making decisions about the scope of surgical treatment unfortunately remains beyond the scope of this article.

Among other limitations of this study, important for clinicians, the following should be mentioned. Firstly, the study would have been strengthened by comparative radiological and magnetic resonance tomographic evaluation of the slopes of bony and soft tissue structures (cartilage and menisci, respectively). The latter significantly mitigates differences between the medial and lateral compartments of the knee joint, reducing the magnitude of the actual posterior slope [7, 8]. Secondly, increasing the statistical power to an adequate level through a much larger analyzed sample might have allowed for new data to be obtained on other anatomical factors associated with the risk of ACL re-rupture following its reconstruction, including the medial tibial slope.

In conclusion, this publication highlights a relevant shift in the paradigm of modern approach: from treating such patients as a problem of isolated surgical intervention to the analysis

of individual morphological features of the knee joint as an organ in particular and the locomotor unit of the lower limb as a whole. This shift is

expected to aid in making relevant clinical decisions to reduce the frequency of ACL re-ruptures after its reconstruction in the future.

REFERENCES

1. Rilk S., Saithna A., Achtnich A., Ferretti A., Sonnery-Cottet B., Kösters C. et al. The modern-day ACL surgeon's armamentarium should include multiple surgical approaches including primary repair, augmentation, and reconstruction: A letter to the Editor. *J ISAKOS*. 2023;8(4):279-281. doi: 10.1016/j.jisako.2023.03.434.
2. Saprykin A.S., Ryabinin M.V. Kornilov N.N. Trends in Revision ACL Reconstruction: Analysis of 257 Procedures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2022;28(3): 29-37. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-1783.
3. Tischer T., Beaufillis P., Becker R., Ahmad S.S., Bonomo M., Dejour D. et al. Management of anterior cruciate ligament revision in adults: the 2022 ESSKA consensus part I-diagnostics and preoperative planning. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022 Nov 2. doi: 10.1007/s00167-022-07214-w. (Ahead in print).
4. Voronkevich I.A., Tikhilov R.M. Intrajoint osteotomies for posttraumatic deformities of tibial condylar surfaces. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2010;16(3):87-91. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-3-87-91.
5. Bloom D.A., Kaplan D.J., Mojica E., Strauss E.J., Gonzalez-Lomas G., Campbell K.A. et al. The Minimal Clinically Important Difference: A Review of Clinical Significance. *Am J Sports Med*. 2023;51(2):520-524. doi: 10.1177/03635465211053869.
6. Ostojic M., Winkler P.W., Karlsson J., Becker R., Prill R. Minimal Clinically Important Difference: don't just look at the «p-value». *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(10):4077-4079. doi: 10.1007/s00167-023-07512-x.
7. Cinotti G., Sessa P., Ragusa G., Ripani F.R., Postacchini R., Masciangelo R. et al. Influence of cartilage and menisci on the sagittal slope of the tibial plateaus. *Clin Anat*. 2013;26(7):883-892. doi: 10.1002/ca.22118.
8. Lustig S., Scholes C.J., Leo S.P., Coolican M., Parker D.A. Influence of soft tissues on the proximal bony tibial slope measured with two-dimensional MRI. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(2): 372-379. doi: 10.1007/s00167-012-1990-x.

Author's information

✉ Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0001-6905-7900>

e-mail: drkornilov@hotmail.com



Structural Reorganization of the Third Metatarsal Bone Shaft After Autogenous Plasty of the Tibial Portion of the Sciatic Nerve

Nathalia A. Shchudlo, Tatyana A. Stupina, Tatyana N. Varsegova

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

Abstract

Background. Previous research has shown that neurectomy of the sciatic nerve leads to a reduction in bone density in the femur and tibia of laboratory mice and rats. However, the impact of surgeries aimed at restoring nerve innervation on the bones of distal limb parts has not been studied.

Aim of the study – to identify structural changes in the shaft of the third metatarsal bone after primary autogenous plasty of the resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve in rats.

Methods. Autologous neuroplasty of the tibial portion of the sciatic nerve was performed on 16 Wistar rats (aged 8–10 months). The animals were euthanized at 4 and 6 months after the surgery, and a control group of 7 intact rats of similar age was included. Histomorphometric analysis was conducted on a dissected fragment of the forefoot at the level of the metatarsal bones. The ratio of fuchsinophilic and anilinophilic structures of the cortical plate was determined using point-count volumetry on Masson-stained images of transverse sections of the third metatarsal bone shaft. The thickness of the cortical plate, numerical density, area, and diameter of osteons and Haversian canals were measured.

Results. After 4 months, compared to the control group, a 15% decrease ($p = 0.0001$) in the proportion of mineralized structures of the cortical plate and a 12.7% reduction ($p = 0.0184$) in its thickness were observed. Osteolysis signs were present in the osteonal layer, along with decreased numerical density and dimensional characteristics of osteons, and the presence of osteons with dilated Haversian canals. At 6 months, the thickness of the cortical plate did not significantly differ from the norm ($p = 0.2067$), but there was a progressive 33.6% decrease ($p = 0.0001$) in the proportion of mineralized structures. Reduced values of numerical density, area, and diameter of osteons persisted in the osteonal layer, while the diameters of Haversian canals in osteons increased over time.

Conclusion. From 4 to 6 months, the thickness of the cortical layer in the compact bone of the third metatarsal bone shaft was restored. However, changes in the numerical and dimensional composition of osteons, along with decreased mineralization of the extracellular matrix and erosion of the subperiosteal bone layer, continued to progress. The developed experimental 2D model can be used to assess denervation osteopenia in distal limb parts and further explore rehabilitation interventions that enhance and improve reinnervation.

Keywords: rat sciatic nerve, autoneuroplasty, metatarsal bone shaft, denervation osteopenia, histomorphometry.

Cite as: Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N. Structural Reorganization of the Third Metatarsal Bone Shaft After Autogenous Plasty of the Tibial Portion of the Sciatic Nerve. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):56–64. (In Russian).

✉ Tatyana A. Stupina; e-mail: stupinasta@mail.ru

Submitted: 26.01.2023. Accepted: 15.06.2023. Published online: 11.07.2023

© Shchudlo N.A., Stupina T.A., Varsegova T.N., 2023



Структурная реорганизация диафиза III плюсневой кости после аутогенной пластики большеберцовой порции седалищного нерва

Н.А. Щудло, Т.А. Ступина, Т.Н. Варсегова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Реферат

Введение. Из мировой литературы известно влияние нейрэктомии седалищного нерва на снижение костной плотности бедренных и большеберцовых костей лабораторных мышей и крыс, но не изучено состояние костей дистальных отделов конечностей после операций, направленных на восстановление иннервации.

Цель исследования — выявить структурные изменения диафиза III плюсневой кости после первичной аутогенной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва крыс.

Материал и методы. У 16 крыс Wistar (возраст 8–10 мес.) выполнена аутологичная нейропластика большеберцовой порции седалищного нерва. Через 4 мес. ($n = 8$) и 6 мес. ($n = 8$) после операции животных эвтаназируют. Группу контроля (контроль) составили 7 интактных животных в возрасте 14 мес. ($n = 3$) и 16 мес. ($n = 4$) — соответственно возрасту оперированных крыс на момент эвтаназии. Для гистоморфометрического анализа иссекали фрагмент переднего отдела стопы на уровне плюсневых костей. Методом точко-счетной объемометрии в изображениях поперечных срезов диафиза III плюсневой кости, окрашенных по Массону, определяли соотношение фуксинофильных и анилинофильных структур кортикальной пластинки. Измеряли толщину кортикальной пластинки, определяли численную плотность, площадь и диаметр остеонов и гаверсовых каналов.

Результаты. Через 4 мес. эксперимента по сравнению с контролем выявлено снижение доли минерализованных структур кортикальной пластинки на 15% ($p = 0,0001$), уменьшена ее толщина на 12,7% ($p = 0,0184$). В остеонном слое выражены признаки остеолита, снижена численная плотность остеонов, их размерные характеристики, отмечены остеоны с расширенными гаверсовыми каналами. В срок 6 мес. толщина кортикальной пластинки не имела статистически значимых отличий от нормы ($p = 0,2067$), однако прогрессировало снижение доли минерализованных структур — на 33,6% ($p = 0,0001$). В остеонном слое сохранялись сниженные значения численной плотности остеонов, их площади и диаметров. Значения диаметров гаверсовых каналов остеонов продолжали увеличиваться.

Заключение. В период от 4 до 6 мес. восстанавливалась толщина кортикальной пластинки диафиза III плюсневой кости, но прогрессировали изменения численно-размерного состава остеонов, уменьшение минерализации внеклеточного матрикса и эрозирование субпериостального слоя кости. Оценка денервационной остеопении дистальных отделов конечностей в данных условиях эксперимента применима в дальнейших исследованиях реабилитационных воздействий, ускоряющих и улучшающих реиннервацию.

Ключевые слова: седалищный нерв крысы, аутонейропластика, диафиз плюсневой кости, денервационная остеопения, гистоморфометрия.

Для цитирования: Щудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н. Структурная реорганизация диафиза III плюсневой кости после аутогенной пластики большеберцовой порции седалищного нерва. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):56-64.

Ступина Татьяна Анатольевна; e-mail: stupinasta@mail.ru

Рукопись получена: 26.01.2023. Рукопись одобрена: 15.06.2023. Статья опубликована онлайн: 11.07.2023

© Щудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., 2023

BACKGROUND

The study of bone structure changes in peripheral nerve injuries has been ongoing for many years. According to J.A. Gillespie, these changes are a result of muscular atrophy due to inactivity, and there is no evidence of specific trophic effects of nerves on bones [1]. However, as early as the first half of the 20th century, vasomotor nerves of Haversian canals and nerve fibers in the bone matrix were discovered [2]. In the last two decades, research on bone innervation has intensified [3], demonstrating the involvement of peripheral nerves in bone development and repair through neurotransmitters, neuropeptides, axonal growth factors, and neurotrophins [4]. Neural regulation of osteoblast and osteoclast function in both normal and pathological conditions, particularly osteoporosis, has been studied [5, 6, 7]. It has been established that the pathogenesis of "spot" osteoporosis in post-traumatic complex regional pain syndrome (CRPS), previously known as "reflex sympathetic dystrophy" or "causalgia" (in patients with peripheral nerve injuries), involves not only the peripheral but also the central nervous system [8]. Radiologically, spotted osteoporosis is often detected in the wrists and feet, predominantly affecting the subchondral bone. According to some authors, it does not lead to fractures and resolves spontaneously in most cases [9]. However, other specialists argue that the development of therapy aimed at increasing bone density is necessary for such patients [10].

Animal studies have shown a systemic decrease in bone density with chronic constriction of the sciatic nerve [11, 12] and after neurectomy [13, 14]. Separation, anisotropy, disruption of continuity, and reduced trabecular density in the proximal metaphysis of the tibia were more pronounced after sciatic neurectomy than in ovariectomized rats [13]. On the other hand, bone loss in ovariectomized rats was also associated with decreased intracortical innervation [15].

Bone density loss after sciatic neurectomy occurs more intensively in trabecular bone than in compact bone [16]. However, in the cortical plate of the mouse tibia, accelerated bone resorption and decreased bone formation rate were observed as early as 4 weeks after sciatic neurectomy [13]. A similar result was obtained in rats, with a decrease in bone density occurring in a distal-proximal direction [17].

Pharmacological suppression of macrophages [18], low-intensity loading [19], low-frequency electric myostimulation [20], and the use of the flavonoid naringenin [21] have been shown to slow down bone mass loss induced by neurectomy.

However, the available literature does not provide information on changes in the microstructure of bones in the distal parts of the limbs after nerve surgeries aimed at restoring limb innervation.

The aim of the study was to identify structural changes in the diaphysis of the third metatarsal bone after primary autogenous plasty of the resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve in rats.

METHODS

The study was conducted on 23 male Wistar rats aged 8-10 months with a body weight of 360-420 g. Autologous neuroplasty of the tibial portion of the sciatic nerve at the mid-third of the thigh was performed on 16 experimental animals, as described in our previously published article [22] (Fig. 1). At 4 and 6 months after the surgery, the animals were euthanized with an overdose of thiopental after premedication: Rompun 2% (1-2 mg/kg) and Zoletil 100 (10-15 mg/kg). The control group consisted of 7 intact animals aged 14-16 months, corresponding to the age of the operated rats at the time of euthanasia.

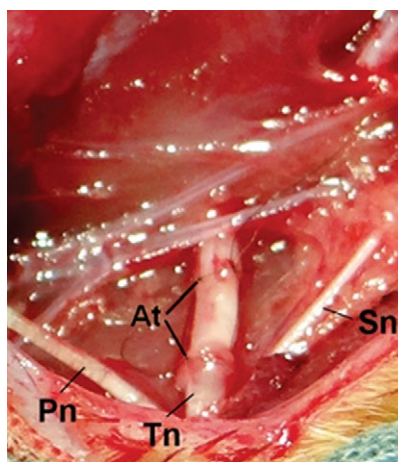


Fig. 1. Tibial portion (Tn) of the sciatic nerve after suturing the autologous graft (At) with 10-0 thread, Pn — peroneal portion of the sciatic nerve, Sn — sural nerve

For histomorphometric analysis, a fragment of the anterior part of the foot at the level of the metatarsal bones was dissected. The specimens were fixed in 10% formalin solution, partially decalcified in a mixture of hydrochloric and formic acid (needle test), dehydrated in ethanol, and embedded in paraffin. Paraffin sections (thickness: 5-7 μm) were prepared using an NM 450 Thermo Scientific microtome (USA), stained with hematoxylin and eosin, and with the trichrome method according to Masson. Light microscopy, digitization, and morphometry were performed using an AxioScope.A1 microscope with an AxioCam digital camera and Zenblue software (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Germany). The object of histomorphometric analysis was the diaphysis of the third metatarsal bone innervated by branches of the tibial nerve.

Using the point-count volumetry method in full-color digital images of transverse sections of the bone diaphysis stained with Masson's trichrome, the percentage (%) of fuchsinophilic (red-stained) and anilinophilic (blue-stained) structures of the cortical plate was determined. The measurements were performed at 400x magnification using the PhotoFiltre 7 program with a test grid of equidistant points with transparent centers [23]. Morphometry was conducted using the Zenblue software (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Germany) with the following parameters: at 40x magnification, the thickness of the cortical plate (h , μm) was measured, and at 400x magni-

fication, the numerical density of osteons (N_a), area of osteons (S , μm^2), diameter of osteons (d , μm), and diameter of Haversian canals (d_c , μm) were determined. 10 to 15 fields of view were analyzed for each case.

Statistical analysis

Data analysis was performed using descriptive statistics. Quantitative characteristics are presented as medians and quartiles (Me, Q1-Q3). Non-parametric Wilcoxon test was used to test statistical hypotheses for differences, and differences were considered statistically significant at $p < 0.05$ (AtteStat software, version 9.3.1).

RESULTS

In the intact group of animals, the cortical plate of the third metatarsal bone exhibited well-defined outer and inner layers of the general plates, with the osteonal layer located between them (Fig. 2a). The osteonal layer showed structurally mature osteons with narrow Haversian canal lumens.

In the experimental group, a similar structure was observed, but there were osteons with dilated Haversian canals (resorptive-type osteons), indicating bone loss due to resorption of compact bone substance around blood vessels (Fig. 2b). The Haversian canals were dilated and filled with erythrocytes. Changes in the extracellular matrix, such as the disruption of clear boundaries of osteons and the architecture of bone plates, were observed.

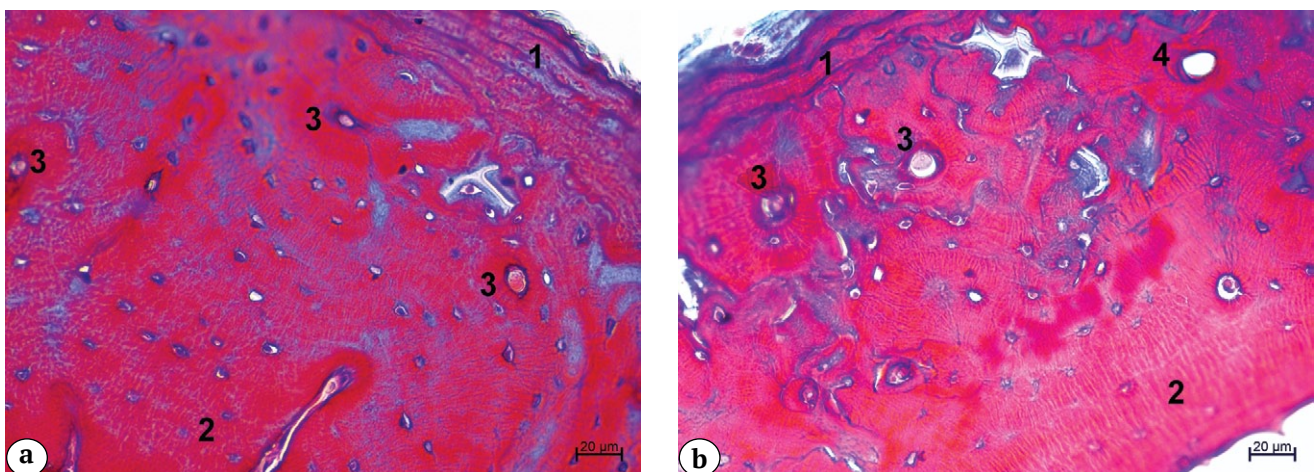


Fig. 2. Fragments of the cortical plate of the third metatarsal bone. Experimental period – 4 months: a – control (intact animals); b – experimental group; 1 – outer layer of the cortical plates; 2 – inner layer of the cortical plates; 3 – mature osteon; 4 – resorptive-type osteon. Cross-section; stained using the Masson's trichrome method. Mag. $\times 400$

At 4 months of the experiment, a decrease in the intensity of red staining in the sections of the cortical plate, particularly in the osteonal layer, was noted compared to the control group. The percentage of fuchsinophilic structures was reduced by 15% compared to the control (Table 1). The frequency of occurrence of osteoclasts was 0-2 per field of view at 400x magnification.

At 6 months of the experiment, visually increased proportions of anilinophilic structures were observed in the Masson's trichrome-stained

sections (Fig. 3). Quantitative analysis revealed a 33.6% decrease in the percentage of fuchsinophilic structures relative to the control (Table 1), indicating progressive reduction in cortical plate mineralization. Signs of periosteal resorption of the cortical plate were detected, and ingrowth of blood vessels and active osteoclasts were observed from the surrounding soft tissues (Fig. 3).

The outer layer of the general plates was thin in most observations, with some areas showing thickening. The osteonal layer exhibited signs of osteolysis, with reduced size of osteons and ex-

Table 1

Ratio of mineralized and non-mineralized structures in the cortical plate during the experimental stages, Me (Q1–Q3)

Parameter	Mineralized structures (%)	Non-mineralized structures (%)
Control	77.28 (74.93–79.06)	22.71 (19.89–24.51)
<i>4 months experiment</i>		
Experiment	65.33 (64.51–68.48)	34.66 (31.52–34.56)
p	$p^{k-o} = 0.0001$	$p^{k-o} = 0.0001$
<i>6 months experiment</i>		
Experiment	51.25 (46.25–58.66)	48.75 (41.33–51.33)
p	$p^{k-o} = 0.0001$; $p^{4-6} = 0.0018$	$p^{k-o} = 0.0001$; $p^{4-6} = 0.0018$

Wilcoxon test was used, and differences were considered statistically significant at $p < 0.05$; p^{k-o} - comparison between control and experimental groups; p^{4-6} - comparison between experiment durations.

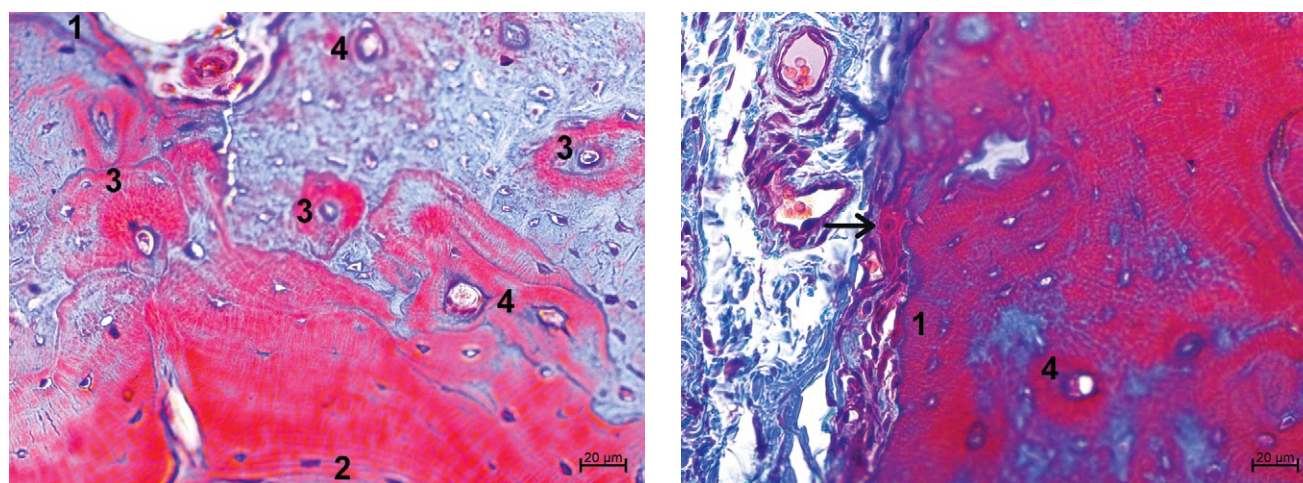


Fig. 3. Fragments of the cortical plate of the third metatarsal bone. Experimental period – 6 months: 1 – vascular invasion and osteoclast (arrow) in the outer layer of the bone plates; 2 – inner layer of the cortical plates; 3 – mature osteon; 4 – resorptive-type osteon. Cross-section; stained using the Masson's trichrome method. Mag. $\times 400$

panded Haversian canals with irregular contours (Fig. 3). The intensity of the resorption process was indicated by an increase in the frequency of occurrence of osteoclasts from 2 to 5 per field of view at 400x magnification.

In the histomorphometric analysis, the thickness of the cortical plate was significantly decreased in the experimental group compared to the control at 4 months of the experiment ($p = 0.0184$), but at 6 months, there were no significant differences compared to the intact group ($p = 0.2067$).

Throughout the experiment, the osteonal layer showed a decrease in the area and diameter of osteons compared to the control, with the lowest values observed at 4 months. The numerical density of osteons also progressively decreased. There was a statistically significant increase in the diameter of Haversian canals compared to the control ($p = 0.002$), and by the end of the experiment, the values of this parameter continued to increase (Table 2).

Table 2

Quantitative characteristics of the third metatarsal bone, Me (Q1–Q3)

Parameter	h cortical plate, μm	Na osteons	S osteon, μm^2	d osteon, μm	d haversian canal, μm
Control	332.39 (239.2/466.8)	5 (4/6)	1439.36 (629.69/1934.58)	37.48 (21.71/59.63)	5.63 (3.94/11.84)
<i>4 months experiment</i>					
Experiment	289.91 (260.17/302.26)	3.5 (3/4)	613.31 (435.06/954.82)	24.96 (21.14/56.59)	8.83 (7.47/15.26)
p	$p^{k-o} = 0.0184$	$p^{k-o} = 0.017$	$p^{k-o} = 0.008$	$p^{k-o} = 0.0085$	$p^{k-o} = 0.002$
<i>6 months experiment</i>					
Experiment	301.65 (256.80/327.03)	3 (2/3)	680.41 (311.07/987.07)	29.43 (19.18/45.65)	10.88 (7.64/25.29)
p	$p^{k-o} = 0.2067$ $p^{4-6} = 0.2701$	$p^{k-o} = 0.013$ $p^{4-6} = 0.0781$	$p^{k-o} = 0.0357$ $p^{4-6} = 0.9149$	$p^{k-o} = 0.0357$ $p^{4-6} = 0.5934$	$p^{k-o} = 0.0027$ $p^{4-6} = 0.3735$

Wilcoxon test was used, and differences were considered statistically significant at $p < 0.05$; p^{k-o} — comparison between control and experimental groups; p^{4-6} — comparison between experiment durations.

DISCUSSION

The primary end-to-end suture is considered the gold standard for surgical treatment of anatomical nerve injuries. However, complete functional recovery is achieved in only 10% of cases, as reported in a review of publications from 25 countries [24]. The main reasons for unsatisfactory clinical outcomes are believed to be the slow regenerative growth of axotomized neurons, which regenerates at a rate of only one inch per month in humans [25], and the long regenerative path, which predisposes to irreversible denervation changes in the target tissues of the distal extremities even before reinnervation occurs [26]. In particular, the degree of muscle changes can vary widely, reflecting the heterogeneity of the initial parameters of nerve injury and the different rates of atrophic compensatory processes. However, in the long term, the extent of these changes often becomes significantly pronounced [27].

However, not only in clinical practice but also in experiments on small laboratory animals, nerve regeneration parameters are restored slowly and partially. For example, up to 20 weeks after transection and suture of the sciatic nerve in rats, the ratio of peptidergic to non-peptidergic nerve fibers in the epidermis of foot pads remains disrupted [28]. According to other authors, 220 days after the sciatic nerve suture in rats, the average diameter of regenerating myelinated fibers in the distal nerve segment reaches no more than 50% of the corresponding parameter in the intact nerve, and the regenerating nerve contains a large number of thin non-conducting fibers [29].

In our previous experimental model of primary autoplasty of the resection defect of the sciatic nerve with a short autologous transplant, it was found that at 6 months after the surgery, the average diameter of regenerating myelinated fibers of the sciatic nerve at the middle third of the leg

was 52% of the corresponding parameter in the intact nerve. The vascularity index of the interosseous muscles of the sole was halved compared to intact animals, and the median diameter of muscle fibers was reduced by 20.96%, indicating partial reinnervation and reduced muscle vascularity in the foot [22].

In the present study, structural changes in the diaphysis of the third metatarsal bone were investigated for the first time in the long term after primary autoplasty of the sciatic nerve. In addition to the traditional hematoxylin and eosin staining for osteoporosis assessment [30], the Masson's trichrome staining method was used, which allows differentiation between mature mineralized bone and demineralized bone. The former exhibits an affinity for acidic fuchsin and is therefore stained red [31].

At 4 months of the experiment, a 15% decrease in the proportion of mineralized structures in the cortical plate compared to the control was found, and its thickness was reduced by 12.7%. The osteonal layer exhibited signs of osteolysis, decreased numerical density of osteons, and altered dimensional characteristics of osteons, including the presence of osteons with dilated Haversian canals. At 6 months, the thickness of the cortical plate did not show significant differences from the normal value, but there was a progressive decrease in the proportion of mineralized structures by 33.6%. Reduced numerical density, area, and diameter of osteons were observed in the osteonal layer. The diameters of Haversian canals of osteons increased over the course of the observation. The dilated Haversian canals with irregular contours were a result of osteoclastic resorption of bone tissue. By the end of the experiment, pronounced signs of periosteal resorption of the cortical plate were observed, and invasion of blood vessels and osteoclasts was registered from the surrounding soft tissues.

The dynamics of morphometric parameters of compact bone are likely determined by persistent reduction in vascularity of the surrounding soft tissues and the bone itself under conditions of incomplete reinnervation. The progressive increase in the diameter of Haversian canals and the restoration of cortical plate thickness may be related, as the formation of resorptive-type osteons provides a substrate for mineralization of the newly forming matrix.

It is also worth noting that the changes observed in our study are significantly different from disuse-related osteoporosis, which is characterized by a significant reduction in cortical plate thickness predominantly due to endosteal resorption [32], as well as from age-related osteopenia in rats, which is characterized by an increase in the numerical density of osteons and a decrease in the diameter of Haversian canals [33]. The development of age-related osteopenia in mice and humans is also manifested by an increase in cortical plate porosity due to the formation of osteon-like structures [34]. Biomechanical studies have shown that increased bone porosity leads to irreversible changes in shape through layer-by-layer compaction and destruction of the microstructure without fragmentation [35].

CONCLUSION

The results of the conducted study indicate that during the period of 4 to 6 months after autologous grafting of the resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve, the thickness of the cortical plate of the diaphysis of the third metatarsal bone is restored. However, progressive changes in the numerical and dimensional composition of the osteons, decreased mineralization of the extracellular matrix, and erosion of the subperiosteal layer of the bone are observed. The developed experimental 2D model for evaluating denervation osteopenia in the distal parts of the limbs is applicable for further research on rehabilitation interventions that accelerate and improve reinnervation.

DISCLAIMERS

Author contribution

Shchudlo N.A. — study concept and design, writing and drafting the article.

Stupina T.A. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Varsegova T.N. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

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.

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

Ethics approval. 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.

The study was approved by the local ethics committee of National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, protocol No 4 (68), 11.11.2020.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

- Gillespie J.A. The nature of the bone changes associated with nerve injuries and disuse. *Bone Joint Surg.* 1954; 36-B(3):464-473. doi: 10.1302/0301-620X.36B3.464.
- Hurrell D.J. The Nerve Supply of Bone. *J Anat.* 1937; 72(Pt 1):54-61.
- Milovanović P., Đurić M. Innervation of bones: Why it should not be neglected? *Med Podml.* 2018;69(3):25-32. (In Serbian). doi: 10.5937/mp69-18404.
- Wan Q.Q., Qin W.P., Ma Y.X., Shen M.J., Li J., Zhang Z.B. et al. Crosstalk between Bone and Nerves within Bone. *Adv Sci (Weinh).* 2021;10;8(7):2003390. doi: 10.1002/advs.202003390.
- Gkiatas I., Papadopoulos D., Pakos E.E., Kostas-Agnantis I., Gelalis I., Vekris M. et al. The Multifactorial Role of Peripheral Nervous System in Bone Growth. *Front Phys.* 2017;5:44. doi: 10.3389/fphy.2017.00044.
- Tanashyan M.M., Antonova K.V., Mazur A.S., Spryshkov N.E. Neurological Diseases and Osteoporosis. *Effective pharmacotherapy.* 2022;18(19):42-50. (In Russian). doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-19-42-50.
- Eleftheriou F. Impact of the Autonomic Nervous System on the Skeleton. *Physiol Rev.* 2018;98(3):1083-1112. doi: 10.1152/physrev.00014.2017.
- Park G.Y., Im S., Hoon S. Patchy Osteoporosis in Complex Regional Pain Syndrome. *Osteoporosis. InTech;* 2012. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/29181>.
- Atkins R.M. Complex regional pain syndrome. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(8):1100-1106. doi: 10.1302/0301-620x.85b8.14673.
- Hind K., Johnson M.I. Complex regional pain syndrome in a competitive athlete and regional osteoporosis assessed by dual-energy X-ray absorptiometry: a case report. *J Med Case Rep.* 2014;8:165. doi: 10.1186/1752-1947-8-165.
- Suyama H., Moriwaki K., Niida S., Maehara Y., Kawamoto M., Yuge O. Osteoporosis following chronic constriction injury of sciatic nerve in rats. *J Bone Miner Metab.* 2002;20(2):91-97. doi: 10.1007/s007740200012.
- Bosco F., Guarnieri L., Nucera S., Scicchitano M., Ruga S., Cardamone A. et al. Pathophysiological Aspects of Muscle Atrophy and Osteopenia Induced by Chronic Constriction Injury (CCI) of the Sciatic Nerve in Rats. *Int J Mol Sci.* 2023;24(4):3765. doi: 10.3390/ijms24043765.
- Brouwers J.E., Lambers F.M., van Rietbergen B., Ito K., Huiskes R. Comparison of bone loss induced by ovariectomy and neurectomy in rats analyzed by in vivo micro-CT. *J Orthop Res.* 2009;27(11):1521-1527. doi: 10.1002/jor.20913.
- Kodama Y., Dimai H.P., Wergedal J., Sheng M., Malpe R., Kutilek S. et al. Cortical tibial bone volume in two strains of mice: effects of sciatic neurectomy and genetic regulation of bone response to mechanical loading. *Bone.* 1999;25(2):183-190. doi: 10.1016/s8756-3282(99)00155-6.
- Burt-Pichat B., Lafage-Proust M.H., Duboeuf F., Laroche N., Itzstein C., Vico L. et al. Dramatic decrease of innervation density in bone after ovariectomy. *Endocrinology.* 2005;146(1):503-510. doi: 10.1210/en.2004-0884.
- Monzem S., Javaheri B., de Souza R.L., Pitsillides A.A. Sciatic neurectomy-related cortical bone loss exhibits delayed onset yet stabilises more rapidly than trabecular bone. *Bone Rep.* 2021;15:101116. doi: 10.1016/j.bonr.2021.101116.
- Ko H.Y., Chang J.H., Shin Y.B., Shin M.J., Shin Y.I., Lee C.H. et al. Changes of lower-limb trabecular bone density after sciatic nerve transection in immature rats. *Biomed Res.* 2017;28(18):8079-8084.
- Shimada N., Sakata A., Igarashi T., Takeuchi M., Nishimura S. M1 macrophage infiltration exacerbate muscle/bone atrophy after peripheral nerve injury. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):44. doi: 10.1186/s12891-020-3069-z.
- Piet J., Hu D., Baron R., Shefelbine S.J. Bone adaptation compensates resorption when sciatic neurectomy is followed by low magnitude induced loading. *Bone.* 2019;120:487-494. doi: 10.1016/j.bone.2018.12.017.
- Tamaki H., Yotani K., Ogita F., Hayao K., Kirimto H., Onishi H. et al. Low-Frequency Electrical Stimulation of Denervated Skeletal Muscle Retards Muscle and Trabecular Bone Loss in Aged Rats. *Int J Med Sci.* 2019;16(6):822-830. doi: 10.7150/ijms.32590.
- Ma X., Lv J., Sun X., Ma J., Xing G., Wang Y. et al. Naringin ameliorates bone loss induced by sciatic neurectomy and increases Semaphorin 3A expression in denervated bone. *Sci Rep.* 2016;6:24562. doi: 10.1038/srep24562.
- Shchudlo N.A., Kobzyev A.E., Varsegova T.N., Stupina T.A. Histomorphometric assessment of the tibial nerve and small muscles of the foot after internal neurolysis and autogenous plastic surgery of the tibial portion of the sciatic nerve in rats. *Orthopaedic Genius.* 2022;28(6):823-829. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-6-823-829.
- Shchudlo M.M., Stupina T.A., Shchudlo N.A. Quantitative analysis of articular cartilage metachromasia in telepathology. *Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2004;25:17-22. (In Russian).

24. Scholz T., Krichevsky A., Sumarto A., Jaffurs D., Wirth G.A., Paydar K. et al. Peripheral nerve injuries: an international survey of current treatments and future perspectives. *J Reconstr Microsurg.* 2009;25(6):339-344. doi: 10.1055/s-0029-1215529.
25. Höke A. A (heat) shock to the system promotes peripheral nerve regeneration. *J Clin Invest.* 2011;121(11):4231-4234. doi: 10.1172/JCI59320.
26. Scheib J., Höke A. Advances in peripheral nerve regeneration. *Nat Rev Neurol.* 2013;9(12):668-676. doi: 10.1038/nrneurol.2013.227.
27. Grigorovskii V.V., Strafun S.S., Gaiko O.G., Gaiovich V.V., Blinova E.N. Histopathological changes and correlations of the morphological values of limb muscle status and clinical data in patients with the consequences of innervation traumatic disorders. *Orthopaedic Genius.* 2014;(4):49-57. (In Russian).
28. Kambiz S., Duraku L.S., Baas M., Nijhuis T.H., Cosgun S.G., Hovius S.E. et al. Long-term follow-up of peptidergic and nonpeptidergic reinnervation of the epidermis following sciatic nerve reconstruction in rats. *J Neurosurg.* 2015;123(1):254-269. doi: 10.3171/2014.12.JNS141075.
29. Ikeda M., Oka Y. The relationship between nerve conduction velocity and fiber morphology during peripheral nerve regeneration. *Brain Behav.* 2012;2(4):382-390. doi: 10.1002/brb3.61.
30. Şipos R.S., Fechete R., Moldovan D., Sus I. Szasz S., Pávai Z. Assessment of femoral bone osteoporosis in rats treated with simvastatin or fenofibrate. *Open Life Sci.* 2015;10(1):379-387. doi: 10.1515/biol-2015-0039.
31. Zhang C., Yan B., Cui Z., Cui S., Zhang T., Wang X. et al. Bone regeneration in minipigs by intrafibrillarly-mineralized collagen loaded with autologous periodontal ligament stem cells. *Sci Rep.* 2017;7(1):10519. doi: 10.1038/s41598-017-11155-7.
32. Li C.Y., Price C., Delisser K., Nasser P., Laudier D., Clement M. et al. Long-term disuse osteoporosis seems less sensitive to bisphosphonate treatment than other osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 2005;20(1):117-124. doi: 10.1359/JBMR.041010.
33. Singh I.J., Gunberg D.L. Quantitative histology of changes with age in rat bone cortex. *J Morphol.* 1971;133(2):241-251. doi: 10.1002/jmor.1051330208.
34. Piemontese M., Almeida M., Robling A.G., Kim H.N., Xiong J., Thostenson J.D. et al. Old age causes de novo intracortical bone remodeling and porosity in mice. *JCI Insight.* 2017;2(17):e93771. doi: 10.1172/jci.insight.93771.
35. Udinceva M.Ju., Zajcev D.V., Volokitina E.A., Antropova I.P., Kutepov S.M. Investigation of bone tissue mechanical properties in the supra-acetabular region. *Orthopaedic Genius.* 2022;28(4):559-564. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-4-559-564.

Authors' information

✉ Tatyana A. Stupina — Dr. Sci. (Biol.)
Address: 6, M. Ulyanova st., Kurgan, 640014, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>
e-mail: stupinasta@mail.ru

Nathalia A. Shchudlo — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>
e-mail: nshchudlo@mail.ru

Tatyana N. Varsegova — Dr. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>
e-mail: varstn@mail.ru

Original Guide for Minimally Invasive Distal Osteotomy of the First Metatarsal Bone in the Treatment of Hallux Valgus

Aleksei V. Oleinik¹, Igor G. Belenkiy^{1,2}, Gennadii D. Sergeev^{1,2}, Aleksandr Yu. Kochish³, Kseniya V. Razumova¹, Artur E. Binazarov¹, Boris A. Maiorov^{1,2}

¹ St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Background. Minimally invasive surgical interventions are widely used in trauma and orthopedic surgery. Both the surgical technique and the instruments applied are being improved, which contributes to better functional results of patients' treatment.

Aim of the study – to present a new guide tool for minimally invasive surgical correction of acquired hallux valgus.

Guide description. A guide tool intended to be used in minimally invasive surgical interventions for hallux valgus (HV) correction has been developed. It consists of several interconnecting components: the distal bar, the intramedullary guide, the proximal bar, and the wire guide. These components are fixed to each other. At the same time, the distal bar, the proximal bar, and the wire guide are connected with the possibility of adjusting their mutual positioning. The design of the proposed device enables to guide the first guiding wire and to place the cannulated screw in an optimal position. The presented clinical case illustrates the successful application of the described device. The patient underwent minimally invasive distal corrective osteotomy for hallux valgus of medium severity. According to the preoperative X-rays, the first intermetatarsal angle and the first toe deviation angle were 13.5° and 25°, respectively. Six months after the surgery, they were 3° and 7°, respectively. The result of the corrective surgery was considered excellent.

Conclusion. Application of the proposed guide tool decreases surgery duration, reduces soft tissue damage and minimizes radiation exposure of the surgeon and the patient.

Keywords: minimally invasive surgery, valgus deformity of the first toe, hallux valgus, correcting osteotomy, guide tool.

Cite as: Oleinik A.V., Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Kochish A.Yu., Razumova K.V., Binazarov A.E., Maiorov B.A. Original Guide for Minimally Invasive Distal Osteotomy of the First Metatarsal Bone in the Treatment of Hallux Valgus. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):65-72. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8427>.

✉ Igor G. Belenkiy; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Submitted: 18.04.2023. Accepted: 27.07.2023. Published Online: 08.08.2023.

© Oleynik A.V., Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Kochish A.Yu., Razumova K.V., Binazarov A.E., Maiorov B.A., 2023

Научная статья

УДК 617.587-007.56-089.85:615.472

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-8427>

Оригинальный направитель для малоинвазивной дистальной остеотомии первой плюсневой кости при лечении вальгусной деформации первого пальца стопы

А.В. Олейник¹, И.Г. Беленький^{1,2}, Г.Д. Сергеев^{1,2}, А.Ю. Кочиш³, К.В. Разумова¹,
А.Е. Биназаров¹, Б.А. Майоров^{1,2}

¹ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Малоинвазивные хирургические вмешательства широко применяются в травматологии и ортопедии. Совершенствуется как техника операций, так и применяемые инструменты, что способствует улучшению функциональных результатов лечения пациентов.

Цель исследования: представить новый инструмент — направитель для малоинвазивной хирургической коррекции приобретенной вальгусной деформации первого пальца стопы.

Описание инструмента. Разработан направитель, предназначенный для использования при выполнении малоинвазивных оперативных вмешательств для коррекции hallux valgus (HV). Он состоит из нескольких соединяющихся между собой компонентов: дистальная планка, интрамедуллярный направитель, проксимальная планка, шаблон для спицы. Эти детали фиксируются друг с другом. При этом дистальная планка, проксимальная планка и шаблон для спицы соединяются с возможностью регулировки взаимного их расположения. Конструкция предложенного устройства позволяет провести первую направляющую спицу для установки канюлированного винта в оптимальном положении. Представленный клинический случай, иллюстрирует успешное применение описанного устройства. Пациентке выполнена малоинвазивная дистальная корригирующая остеотомия по поводу вальгусного отклонения первого пальца средней степени тяжести. По данным дооперационных рентгенограмм первый межплюсневый угол и угол отклонения первого пальца были равны 13,5° и 25° соответственно, через 6 мес. после операции — 3° и 7°, соответственно. Результат корригирующей операции был признан отличным.

Заключение. Применение предложенного направителя сокращает время операции, уменьшает ее травматичность и минимизирует лучевую нагрузку на хирурга и пациента.

Ключевые слова: минимально инвазивная хирургия, вальгусная деформация первого пальца стопы, hallux valgus, корригирующая остеотомия, направляющее устройство.

Для цитирования: Олейник А.В., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Кочиш А.Ю., Разумова К.В., Биназаров А.Е., Майоров Б.А. Оригинальный направитель для малоинвазивной дистальной остеотомии первой плюсневой кости при лечении вальгусной деформации первого пальца стопы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):65-72. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8427>.

Беленький Игорь Григорьевич; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Рукопись получена: 18.04.2023. Рукопись одобрена: 27.07.2023. Статья опубликована онлайн: 08.08.2023.

© Олейник А.В., Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Кочиш А.Ю., Разумова К.В., Биназаров А.Е., Майоров Б.А., 2023

BACKGROUND

The problem of surgical treatment of hallux valgus (HV) has been a topic of interest to surgeons for almost two centuries [1]. This can be explained not only by the high incidence of this disease, but also by the complexity of its etiopathogenesis [2, 3, 4]. Surgeons' attempts to deal with various pathogenetic factors of HV have resulted in more than 130 variants of surgical interventions described to date [1, 5]. The most modern methods of treatment are minimally invasive corrective osteotomies, which are widely used for mild and moderate HV deformities [6, 7].

In publications dedicated to the surgical treatment of HV, the authors mention three generations of minimally invasive interventions [6, 8]. The first generation includes the Reverdin-Isham procedure, which is a wedge-shaped closed-angle osteotomy at the level of the head of the first metatarsal bone performed via mini-approaches. The second generation is the minimally invasive Bosch osteotomy. It consists of percutaneous transverse distal osteotomy of the first metatarsal bone with fixation of bone fragments with a Kirschner wire. These two generations of HV surgical treatment methods have been criticized in the scientific literature due to the insufficient evidence base for their widespread clinical use and high complication rates [8]. Nowadays, the most popular is the third generation of surgical procedures which is the minimally invasive distal chevron osteotomy of the first metatarsal bone combined with the Akin osteotomy (MICA - minimally invasive chevron Akin), where the bone fragments are fixed using cannulated compression screws [7, 9].

Results of studies published in the previous decade indicate that the functional outcomes of minimally invasive and open corrective surgeries for HV are similar. [10, 11, 12]. However, a meta-analysis of the most recent publications on this topic says for minimally invasive interventions [6]. Advantages of minimally invasive surgeries over open ones include gentler attitude to soft tissues, shorter duration of intervention, shorter rehabilitation time, and more pronounced cosmetic effect [13]. However, there are also some disadvantages. Minimally invasive corrective osteotomies require mandatory intraoperative X-ray imaging at the surgical stages [14]. Closed technique of frag-

ment fixation using cannulated screws leads to greater operating time of the image intensifier and, consequently, increases the radiation exposure of both the patient and the surgeon. Duration of this surgical stage also depends on the surgeon's experience. Incorrect final screw positioning can lead to failure of fixation, pain syndrome in the postoperative period, and patient dissatisfaction with the treatment as a whole. In order to solve these problems, we have developed a universal guide device for insertion of guide wires for cannulated compression screws. This device simplifies the stage of fixation of osteotomized fragments of the first metatarsal bone and minimizes the risk of incorrect placement of screws.

Aim of the study – to present a new guide tool for minimally invasive surgical correction of acquired hallux valgus.

Guide description

The device has been invented at the St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine. This device is designed to be used in minimally invasive surgical interventions for HV correction. It consists of several interconnecting components: the distal bar, the intramedullary guide, the proximal bar, and the wire guide. These parts are fixed to each other, whereby the distal bar, the proximal bar and the wire guide are connected with the possibility of adjusting their mutual positioning (Fig. 1).

The distal and proximal bars are the main parts of the device to which the intramedullary guide and the wire guide are attached, respectively. All parts of the device are assembled using thread locks.

In the intramedullary guide, the part inserted into the medullary canal of the first metatarsal bone with a 2 mm wide slit for the wire guide should be highlighted. A guiding hole is located in the wire guide. The axis of the hole intersects the axis of the intramedullary guide and lies in the same plane as its slit. The position of the wire guide is adjusted along two mutually perpendicular axes due to the mobility of the wire guide and the distal bar. Adjustment accuracy is achieved by the scales on the proximal bar. The scale on the short arm of the proximal bar has a scale division value of 1 mm, on the long arm – 5 mm. The angle of inclination of the axis of the guiding hole of

the wire guide is 102° with $18\text{--}20^\circ$ of deviation of the distal osteotomized part of the first metacarpal bone from the axis of the proximal part of the bone. The angular values as well as the division values of the scales were calculated empirically using computer modeling method. Due to such design of the guide, the guide wire exits the lateral cortical layer of the first metatarsal bone 10 mm proximal to the osteotomy site. This distance is optimal for further fixation. One of the purposes

of the developed device is the ability to keep this point unchanged with different anthropometric data of patients.

The guide is positioned in the medullary canal of the first metatarsal bone so that a wire inserted through the wire guide passes through the medial and lateral cortical layers of the first metatarsal bone. A cannulated screw for fixation of fragments of the first metatarsal bone is inserted using the installed wire as a guide.

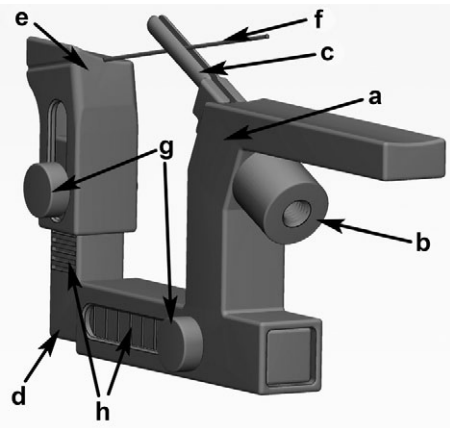


Fig. 1. Guide view (oblique view):

- a – distal bar; b – fixator;
- c – intramedullary guide; d – proximal bar;
- e – wire guide; f – wire;
- g – adjusting screws fixing proximal and distal bars;
- h – adjusting scales

Surgical technique

The patient is placed on the operating table in a supine position. The surgical field is treated with antiseptic solutions and delimited with sterile drape from the tips of toes of the operated foot to the upper third of the lower leg. Using a scalpel, the surgeon makes a 3–4 mm skin incision along the inner surface of the forefoot in the projection of the distal 1/4 of the diaphysis of the first metatarsal bone right up to the bone. The level of the osteotomy is located at a distance of approximately 2.0–2.5 cm from the radiological projection of the articular gap of the first metatarsophalangeal joint. Transverse osteotomy of the diaphysis of the first metatarsal bone is performed with a 2.2–2.9 mm burr. The head of the first metatarsal bone is displaced laterally. The intramedullary guide of the developed device is inserted into the medullary canal of the proximal fragment of the first metatarsal bone through the incision made earlier for osteotomy. The base of the guide is placed against the head of the first metatarsal bone, displacing it laterally and holding it in this position. The degree of outward displacement of the head is determined by the

design of the guide and is not adjusted additionally. Depending on the individual features of the foot, the surgeon adjusts the position of the wire guide.

After setting up the device, a guide wire is inserted with a medical drill percutaneously and transosseously through the hole in the wire guide. The wire passes through the proximal fragment of the first metatarsal bone and then enters the metatarsal head. Position of the wire is assessed using intraoperative X-rays. The drill is detached from the wire. The guide tool is removed from the surgical wound.

To reduce soft tissue damage, 2 mm incisions are made to the sides of the points where the wires enter the skin. Cannulated 2.7 mm drill bit forms a channel for the cannulated screw along the guide wire. Using a cannulated screwdriver, a 3.5 mm cannulated screw is inserted to fix the fragments of the first metatarsal bone. The wire is removed. The second wire is inserted using the free-hand method parallel to the already inserted screw. Then, after the cannulated drill bit has formed a channel along the wire, the second cannulated screw is inserted.

The surgeon controls the stability of fixation of fragments of the first metatarsal bone clinically and radiologically. Next, a burr is used to resect excess bone tissue of the medial part of the proximal and, if necessary, distal fragments of the first metatarsal bone. Surgical wounds are washed with antiseptic solutions and sutured after control of hemostasis.

Clinical case

A case of a 48-year-old female patient with acquired deformity of the left forefoot is presented. At the time of preoperative examination, she complained of pain in the area of deformity. Complaints persisted for a year before the treatment. Load X-rays of the foot were performed (Fig. 2). To assess the degree of deformity correction, the first intermetatarsal angle and the first toe deviation angle were measured and resulted 13.5° and 25°, respectively.

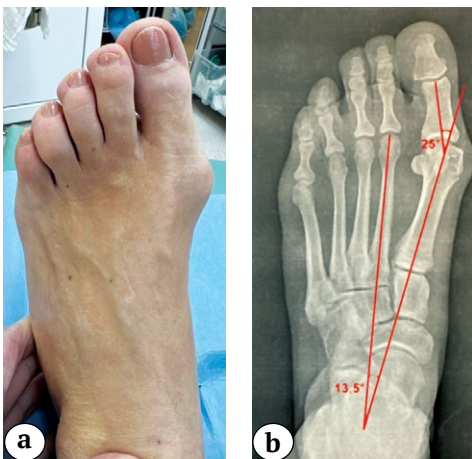


Fig. 2. Foot before surgery:
a — general view;
b — stress X-ray in AP view

The diagnosis was made: combined flat foot; acquired deformity of the left forefoot; moderate hallux valgus deformity of the left foot.

Conservative methods of treatment (shoe fitting and individual orthotic insoles) were ineffective. It was decided to perform surgical treatment. The patient underwent minimally invasive surgical correction of HV deformity of the left foot with the use of the designed guide device according to the technique described above (Fig. 3).

In the X-rays performed on the first day after the surgery, the first intermetatarsal angle was 3°, the valgus deviation angle of the first toe was 4°. The postoperative period was uneventful.

Control examinations with X-rays at 4 and 8 weeks revealed no complications. Signs of bone callus formation were noted in the X-rays performed at 8 weeks.

According to the load X-rays performed 6 months after the surgery, the bone callus is fully formed. The first intermetatarsal angle was 3°, and the valgus deviation angle of the first toe was 7° (Fig. 4). The patient returned to her usual way of life.



Fig. 3. Intramedullary guide inserted into the medullary canal of the first metatarsal bone

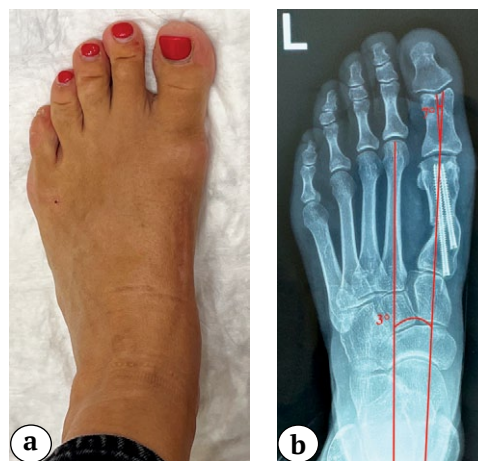


Fig. 4. Six months after surgery:
a — general view of the foot;
b — stress X-ray in AP view: completed bone callus formation

DISCUSSION

Minimally invasive surgery is one of the most advanced areas of traumatology and orthopedics. Many authors have discussed the issues of minimizing traumatic effects of surgeries for acquired forefoot deformities [7, 8, 9]. Minimally invasive corrective osteotomies are technically more complicated compared to open ones, but they have a number of advantages. Due to this reason, orthopedic surgeons all over the world have been using various variants of these minimally traumatic surgical interventions in their clinical practice for more than 30 years [1].

Minimally invasive corrective interventions of the third generation imply fixation of fragments of the first metatarsal bone with screws [7, 9]. Basing on our own experience of surgical treatment of patients with HV, we believe that such fixation allows us to start active rehabilitation from the first day after the surgery. However, in the future we are planning to perform comparative studies to evaluate the effect of the rehabilitation protocol we use on the functional results and patient satisfaction with treatment.

L. Ji et al. concluded in their meta-analysis performed in 2022 that minimally invasive interventions in the treatment of HV were more effective than open interventions. This is evidenced by better clinical and radiologic (degree of correction of the first intermetatarsal angle and valgus deviation angle of the first toe) results of minimally invasive surgeries. The authors also note that the duration of minimally invasive interventions is statistically significantly shorter than that of open surgeries, while the cosmetic effect is more pronounced, the postoperative rehabilitation time is shorter, and the patient's satisfaction with the treatment is higher. It is worth adding that the meta-analysis included publications from 2021. [6]. These findings confirm the fact of successful continuous development of minimally invasive techniques for the treatment of HV.

In addition to improving surgical techniques, surgeons and researchers have focused on developing instruments that simplify minimally invasive corrective interventions and reduce their duration. Mostly, wires, screws, or cannulated screws are used to fix the fragments of the first metatarsal bone after osteotomy [7]. Given the minimally invasive technique of surgical intervention, their insertion without auxiliary guide devices is technically challenging.

Among the proposed instruments there are devices that minimize the possibility of a surgeon's error when performing minimally invasive corrective osteotomies for HV [15, 16, 17]. The use of our guide also enables to reduce the probability of incorrect positioning of fixation screws by simplifying the insertion of guide wires. As a consequence, this reduces surgery duration. In addition, the use of the guide decreases traumatic effects of intervention by reducing the number of attempts for correct insertion of guide wires. This minimizes radiation exposure of the patient and the surgeon, as the operating time of image intensifier is also reduced.

CONCLUSION

Application of the proposed guide tool for minimally invasive surgical interventions for HV deformity enables precise positioning of the guide wire for the cannulated screw and makes it possible to achieve reliable fixation of the fragments of the first metatarsal bone in the position of correction.

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.

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

Ethics approval. Clinical application of the proposed guide tool has been approved by the local Ethics Review Committee of St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, protocol No. 12-3, 13.12.2022.

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

REFERENCES

- Jeyaseelan L., Malagelada F. Minimally Invasive Hallux Valgus Surgery - A Systematic Review and Assessment of State of the Art. *Foot Ankle Clin.* 2020;25(3):345-359. doi: 10.1016/j.fcl.2020.05.001.
- Smyth N.A., Aiyer A.A. Introduction: Why Are There so Many Different Surgeries for Hallux Valgus? *Foot Ankle Clin.* 2018;23(2):171-182. doi: 10.1016/j.fcl.2018.01.001.
- Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Oleynik A.V., Mayorov B.A. Modern Views on Surgical Treatment of Hallux Valgus. *Modern Problems of Science and Education.* 2021;(6):180. doi: 10.17513/spno.31199. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31199>.
- Mursalov A.K., Dzyuba A.M., Shaikevich A.V., Esedov G.I. First metatarsal pronation in hallux valgus deformity: literature review. Department of Traumatology and Orthopedics. 2022;1(47):76-80. doi: 10.17238/2226-2016-2022-1-76-80.
- Usoltsev I.V., Leonova S.N. Problems of Diagnostics and Surgical Treatment of Hallux Valgus (literature review). *Acta Biomedica Scientifica.* 2017;6(118):69-75. doi: 10.12737/article_5a0a869e6b7f52.08755802.
- Ji L., Wang K., Ding S., Sun C., Sun S., Zhang M. Minimally Invasive vs. Open Surgery for Hallux Valgus: A Meta-Analysis. *Front. Surg.* 2022;9:843410. doi: 10.3389/fsurg.2022.843410.
- Singh M.S., Khurana A., Kapoor D., Katekar S., Kumar A., Vishwakarma G. Minimally invasive vs open distal metatarsal osteotomy for hallux valgus - A systematic review and meta-analysis. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(3):348-356. doi: 10.1016/j.jcot.2020.04.016.
- Bia A., Guerra-Pinto F., Pereira B.S., Corte-Real N., Oliva X.M. Percutaneous Osteotomies in Hallux Valgus: A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg.* 2018;57(1):123-130. doi: 10.1053/j.jfas.2017.06.027.
- Holme T.J., Sivaloganathan S.S., Patel B., Kunasingam K. Third-Generation Minimally Invasive Chevron Akin Osteotomy for Hallux Valgus. *Foot Ankle Int.* 2020;41(1):50-56. doi: 10.1177/1071100719874360.
- Lu J., Zhao H., Liang X., Ma Q. Comparison of Minimally Invasive and Traditionally Open Surgeries in Correction of Hallux Valgus: A Meta-Analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2020;59(4):801-806. doi: 10.1053/j.jfas.2019.03.021.
- Radwan Y.A., Mansour A.M. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy Versus Distal Chevron Osteotomy for Correction of Mild-To-Moderate Hallux Valgus Deformity. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(11):1539-1546. doi: 10.1007/s00402-012-1585-5.
- Kaufmann G., Dammerer D., Heyenbrock F., Braitto M., Moertlbauer L., Liebensteiner M. Minimally Invasive Versus Open Chevron Osteotomy for Hallux Valgus Correction: A Randomized Controlled Trial. *Int Orthop.* 2019;43(2):343-350. doi: 10.1007/s00264-018-4006-8.
- Malagelada F., Sahirad C., Dalmau-Pastor M., Vega J., Bhumbra R., Manzaneres-Céspedes M.C. et al. Minimally Invasive Surgery for Hallux Valgus: A Systematic Review of Current Surgical Techniques. *Int Orthop.* 2019;43(3):625-637. doi: 10.1007/s00264-018-4138-x.
- Galois L. History of Surgical Treatments for Hallux Valgus. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(8):1633-1639. doi: 10.1007/s00590-018-2235-6.
- Korman Z., White J., inventors; Wright Medical Technology, Inc., assignee. Targeting Guide and Associated Method. International Patent WO 2021/201916 A1. Publication Date 07.10.2021. Available from: <https://patents.justia.com/patent/20230055767>.
- Marinozzi A., Martinelli N., Ronconi P., Cancilleri F., Papalia R., Denaro V. A New Device for Performing Triplanar Distal Osteotomy for Hallux Valgus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2009;99(6):536-540. doi: 10.7547/0990536.
- Savintsev A.M., Boiko A.A., inventors; LVM AT MEDITSINA, assignee. Device for personalized treatment of valgus deformity of the first toe and method of its use. Patent 2741198 C1 RU. Publication Date 22.01.2021.

Authors' information

✉ Igor G. Belenkiy — Dr. Sci. (Med.)

Address: 3, Budapeshtskaya str., St. Petersburg, 192242, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>

e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Aleksei V. Oleinik

<https://orcid.org/0000-0003-2748-0588>

e-mail: oleynik77@gmail.com

Gennadii D. Sergeev – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8898-503X>
e-mail: gdsergeev@gmail.com

Aleksandr Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2466-7120>
e-mail: auk1959@mail.ru

Kseniya V. Razumova
<https://orcid.org/0009-0004-4436-4356>
e-mail: ksukeks@yandex.ru

Artur E. Binazarov
<https://orcid.org/0009-0006-3690-672X>
e-mail: crazytrain.90@mail.ru

Boris A. Maiorov – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1559-1571>
e-mail: bmayorov@mail.ru -



Эндопротезирование коленного сустава в клинической практике: анализ 36 350 наблюдений из регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена

П.М. Преображенский¹, А.С. Филь¹, Н.Н. Корнилов¹, А.Н. Пантелеев¹, М.С. Гуцаев¹,
А.В. Каземирский¹, Т.А. Куляба¹, А.П. Середа^{1,2}

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

Реферат

Актуальность. На сегодняшний день регистр эндопротезирования коленного сустава НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена (далее — Центр) содержит клинические и статистические данные о более чем 39 000 вмешательствах, что позволяет оценивать тенденции развития данного вида хирургической помощи в Российской Федерации.

Цель исследования — проанализировать тенденции развития первичного эндопротезирования коленного сустава по данным локального регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена.

Материал и методы. Данные получены из регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена за период с 2011 по 2022 г. Сведения по эндопротезированию коленного сустава включали эпидемиологические данные, виды артропластики, типы используемых компонентов эндопротезов и степень их связанности, информацию о протезировании суставной поверхности надколенника, одномышечковом и ревизионном эндопротезировании коленного сустава.

Результаты и обсуждение. С 2011 по 2022 г. в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена было выполнено 36 350 (92,3%) операций первичной артропластики. Количество выполняемых первичных операций увеличилось с 1678 в 2011 г. до 3924 в 2022 г. Аналогичные тенденции прослеживаются в Австралии и Швеции, где число выполняемых вмешательств выросло на 8,2% и 8% в 2021 г. в сравнении с 2020 г. соответственно. Частота использования надколенникового компонента в Центре составила 2,2% за весь период наблюдений, в Австралии данный показатель вырос с 41% в 2005 г. до 76,1% в 2021 г., в Швейцарии — с 24,4% в 2015 г. до 31,9% в 2020 г. Выявлен статистически значимый рост операций частичной артропластики в Центре с 0,3% в 2011 г., до 4,3% в 2022 г. Одномышечковое эндопротезирование в структуре первичных операций составляет в США 4,2%, в Австралии — 6,9%, в Канаде — 9,2%, в Норвегии — 11,9%, в Швеции — 12,8%, в Швейцарии — 18,4%. Доля использования эндопротезов с сохранением задней крестообразной связки в Центре составила 68,3%, в Норвегии — 70,5%, в Новой Зеландии — 75%, в Швеции — 93,5%, в США — 46,5%. Общий койко-день в НМИЦ ТО снизился с 19,6 в 2011 г. до 8,6 в 2022 г. В Канаде средний койко-день составляет 2,3 (тотальная артропластика), в США — 0,8 и 1,7 для частичной и тотальной артропластики соответственно.

Заключение. Анализ данных регистра эндопротезирования коленного сустава НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена позволил выявить тренд к увеличению количества выполняемых первичных и ревизионных операций. Значительно снизилась длительность стационарного лечения после первичного эндопротезирования. Первичное ЭП КС наиболее часто выполняется женщинам пожилого возраста. В абсолютном большинстве случаев причиной выполнения операции является идиопатический остеоартроз. Замена суставной поверхности надколенника выполняется менее чем в 4% случаев, однако выявлен статистически значимый рост частоты частичной артропластики. Наиболее часто используются эндопротезы без замещения задней крестообразной связки. По данным регистра, выявлены четкие тренды к уменьшению интраоперационной кровопотери и длительности оперативного вмешательства.

Ключевые слова: локальный регистр эндопротезирования коленного сустава, эндопротезирование коленного сустава, одномышечковое эндопротезирование.

Для цитирования: Преображенский П.М., Филь А.С., Корнилов Н.Н., Пантелеев А.Н., Гуцаев М.С., Каземирский А.В., Куляба Т.А., Середа А.П. Эндопротезирование коленного сустава в клинической практике: анализ 36 350 наблюдений из регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):73-85. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-9349>.

✉ Преображенский Петр Михайлович; e-mail: Pedrro@yandex.ru

Рукопись получена: 01.05.2023. Рукопись одобрена: 29.08.2023. Статья опубликована онлайн: 11.09.2023.

© Преображенский П.М., Филь А.С., Корнилов Н.Н., Пантелеев А.Н., Гуцаев М.С., Каземирский А.В., Куляба Т.А., Середа А.П., 2023

Current State of Knee Arthroplasty in Russia: Analysis of 36,350 Cases from the Register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Petr M. Preobrazhensky¹, Alexey S. Fil¹, Nikolai N. Kornilov¹, Alexander N. Pantelev¹, Maksim S. Guatsaev¹, Alexander V. Kazemirsky¹, Taras A. Kulyaba¹, Andrey P. Sereda^{1,2}

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

Abstract

Background. Nowadays the knee arthroplasty register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (hereinafter referred to as the Vreden Center) contains clinical and statistical data on more than 39,000 primary and revision knee replacements, that mimics current state of this kind of surgery in Russia.

Aim of the study – to analyze the last decade trends in primary knee arthroplasty in largest Russian arthroplasty center.

Methods. Data were obtained from the register of the Vreden Center for the period from 2011 to 2022. Information on knee arthroplasty included epidemiologic and numerous peri-operative data including type of surgery and implant, degree of constrain, primary patella resurfacing etc.

Results and discussion. From 2011 to 2022, 36,350 (92.3%) primary arthroplasties performed at the Vreden Center. The number of interventions increased more than twice: from 1,678 in 2011 to 3,924 in 2022. Similar trends observed in Australia and Sweden, where the number of knee arthroplasties increased by 8.2% and 8% in 2021 compared to 2020, respectively. The frequency of primary patellar resurfacing at the Vreden Center was 2.2% over the entire period of observation. On the contrary, the rate of patella replacement increased from 41% in 2005 to 76.1% in 2021 in Australia and from 24.4% in 2015 to 31.9% in 2020 in Switzerland. The partial knee arthroplasty showed enormous growth – more than 14 times: from 0.3% in 2011 to 4.3% in 2022 at the Vreden Center. Worldwide unicompartmental knee replacement is still less popular than total and its number widely varies: 4.2% in the USA, 6.9% in Australia, 9.2% in Canada, 11.9% in Norway, 12.8% in Sweden, and 18.4% in Switzerland. Posterior cruciate ligament (PCL) retaining total knee arthroplasties (TKA) prevailed at the Vreden Center: 68.3%, while in other countries it utilize even more widely: 70.5% in Norway, 75% in New Zealand and 93.5% in Sweden.

The total length of hospital stay (LOS) decreased dramatically from 19.6 in 2011 to 8.6 in 2022 at the Vreden Center. Nevertheless, there are still opportunities to improve it: by the way in Canada the average LOS for TKA is 2.3 and the USA – 0.8 and 1.7 for partial and total arthroplasty, respectively.

Conclusion. The main current trends of knee arthroplasty in Russia are the following: increase the number of surgeries, reduced LOS, TKA without patella resurfacing and with PCL retention, finally the growth of partial knee arthroplasties.

Keywords: knee, arthroplasty register, total knee replacemet, partial knee arthroplasty.

Cite as: Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., Pantelev A.N., Guatsaev M.S., Kazemirsky A.V., Kulyaba T.A., Sereda A.P. Current State of Knee Arthroplasty in Russia: Analysis of 36,350 Cases from the Register of the Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):73-85. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-9349>.

✉ Petr M. Preobrazhensky; e-mail: Pedro@yandex.ru

Submitted: 01.05.2023. Accepted: 29.08.2023. Published online: 11.09.2023.

© Preobrazhensky P.M., Fil A.S., Kornilov N.N., Pantelev A.N., Guatsaev M.S., Kazemirsky A.V., Kulyaba T.A., Sereda A.P., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Сбор данных и их систематизация являются неотъемлемым инструментом совершенствования лечебной деятельности в любой отрасли медицины, в том числе в травматологии и ортопедии. Местные, региональные и национальные регистры сыграли важную роль в развитии эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. Так, регистр артропластики клиники Мейо, созданный в 1969 г. Марком Ковентри и являющийся старейшим из действующих, наряду с регистром артропластики Харриса в Массачусетской больнице общего профиля внесли важный вклад в развитие технологий эндопротезирования путем выявления неэффективных имплантатов и методов лечения в США. Шведский регистр эндопротезирования коленного сустава (ЭП КС) является старейшим национальным регистром в мире в данной области, успешно функционируя с 1975 г. [1]. Все перечисленные информационные системы создали механизмы анализа и отчетности, которые позволили другим странам впоследствии разработать и внедрить свои собственные национальные регистры.

Эндопротезирование крупных суставов нижних конечностей стало широко выполняться в Национальном медицинском исследовательском центре травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена (далее — Центр) с 1991 г. после создания Республиканского центра эндопротезирования, а в XXI в. произошел экспоненциальный рост числа ежегодно выполняемых операций по замене суставов. Накопление клинического материала побудило создать соответствующие регистры эндопротезирования (тазобедренного и коленного суставов) с целью анализа поступающих огромных массивов данных. Первоначально созданный регистр эндопротезирования тазобедренного сустава велся на бумажных носителях, однако с 2011 г. была запущена электронная версия [2].

Постоянно совершенствовались как содержательная, так и техническая части регистра ЭП КС. Для уменьшения времени заполнения и минимизации ввода ошибочных данных в 2021 г. был реализован их автоматический импорт в регистр из медицинской информационной системы «Медиалог». Новые тенденции в ортопедии, такие как оценка результатов лечения с использованием балльных систем оценки функции КС, заполняемых пациентами, появление новых технологий и имплантатов, потребовали обновления отдельных разделов регистра. Были добавлены такие дополнительные параметры, как анкета пациента, данные Оксфордского опросника оценки функции КС (Oxford Knee Score — OKS) в модификации Центра [3]. Дополнения также затронули такие интраоперационные особенности, как доступ, тип первично-

го и ревизионного эндопротезирования, причины ревизионного эндопротезирования, описание синовиальной оболочки, дополнительные манипуляции, импорт имплантатов из протокола операции (размеры, аугменты, использование роботизированных технологий, индивидуальных резекторных блоков).

На сегодняшний день регистр эндопротезирования Центра содержит клинические и статистические данные о более чем 39 000 выполненных в Российской Федерации операций ЭП КС, что позволяет оценивать его тенденции не только в отдельном лечебном учреждении, но и в стране в целом.

Цель исследования — проанализировать тенденции развития первичного эндопротезирования коленного сустава по данным локального регистра в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена за период с 2011 по 2022 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Из регистра Центра были взяты следующие данные: эпидемиология, вид эндопротезирования, тип используемых компонентов эндопротезов и степень их связанности, информация о протезировании суставной поверхности надколенника, одномышечковом и ревизионном эндопротезировании коленного сустава.

Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы данные анализировали с использованием программы STATISTICA 10 (StatSoft). Сопоставление частотных характеристик (пол, тип ППИ, коморбидность, тип спейсера и исход) качественных показателей проводили с помощью непараметрических методов χ^2 , χ^2 Пирсона, критерия Фишера. Сравнение количественных параметров (возраст, длительность стационарного лечения, длительность операции и объем кровопотери) в исследуемых группах осуществляли с использованием критерия Манна–Уитни. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ) и стандартного квадратичного отклонения (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Начиная с 2011 г. произошел двухкратный рост операций первичного и ревизионного ЭП КС. В 2022 г. выполнено наибольшее число операций — 4263, при этом соотношение первичных (92%) и ревизионных (8%) вмешательств в последние годы остается практически неизменным (рис. 1).

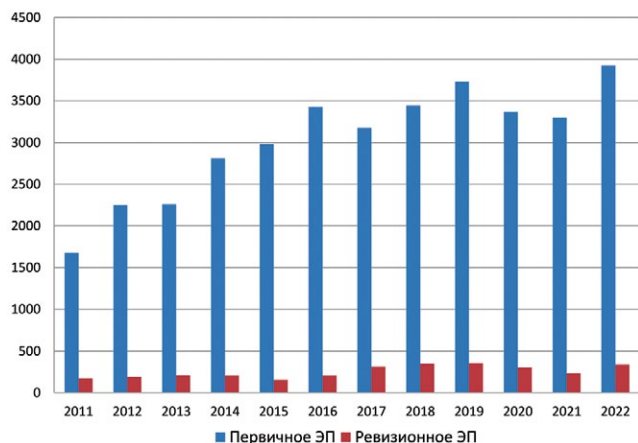


Рис. 1. Соотношение числа выполненных первичных и ревизионных операций эндопротезирования коленного сустава в 2011–2022 г.

Fig. 1. Ratio of the number of primary knee arthroplasties to revision arthroplasties performed in 2011–2022

Возраст пациентов, которым было выполнено первичное ЭП КС, находился в интервале от 18 до 92 лет, эта же закономерность прослеживалась и в период с 2011 по 2021 г. (рис. 2). Возраст самого молодого пациента, прооперированного в 2022 г., составил 25 лет, самого пожилого — 89 лет (средний возраст — 64,8). Все показатели не имеют статистически значимых различий за весь период работы регистра Центра (табл. 1).

Традиционно ЭП КС чаще выполняется женщинам, что отражается и в данных регистра Центра (рис. 3).

По данным X. Yang с соавторами, за последние 25 лет количество людей на планете с ожирением (ИМТ более 30 кг/м²) удвоилось и приблизилось к 500 млн [4]. Такая же закономерность установлена и по данным регистра Центра. Но хотя доля пациентов с ИМТ 30,0–39,9 и более 40 в последние 10 лет неуклонно увеличивалась, в 2022 г. доля этих двух групп пациентов несколько снизилась: с 58,3% и 12,0% в 2020 г. до 57,2% и 11,1% в 2022 г. (рис. 4).

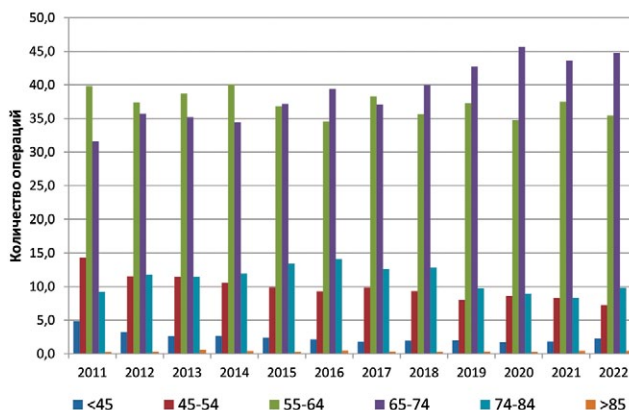


Рис. 2. Возрастные категории пациентов при первичном эндопротезировании в 2011–2022 г.

Fig. 2. Age groups of patients for primary arthroplasty in 2011–2022

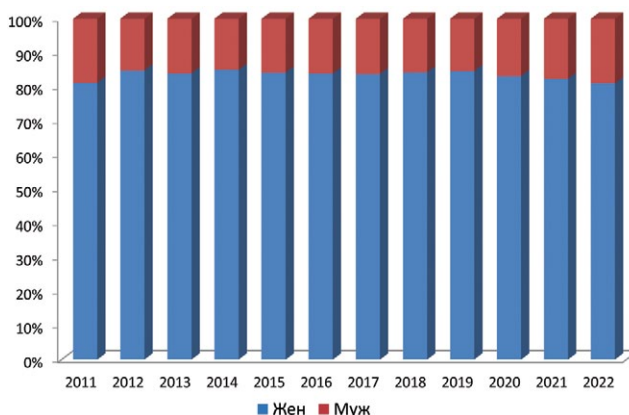


Рис. 3. Гендерный состав пациентов, которым было выполнено первичное эндопротезирование коленного сустава

Fig. 3. Gender of patients who underwent primary knee arthroplasty

Таблица 1

Статистические показатели возрастных характеристик пациентов, которым выполнялось первичное эндопротезирование в НИИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в 2011–2022 гг., лет

Стат. показатель	Год											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Min	21	19	19	19	22	19	18	23	21	22	18	25
Max	89	88	91	92	92	89	88	91	88	89	95	89
M	61,68	63,23	63,5	63,64	63,3	64,5	64,03	64,56	64,3	64,7	64	64,8
SD	10,98	10,01	10,1	9,36	9,4	9,4	9,06	8,96	9,5	8,7	8,4	8,4

SD — стандартное отклонение.

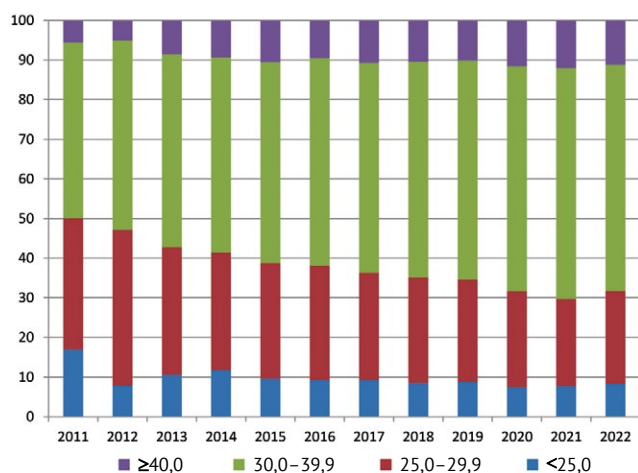


Рис. 4. Распределение пациентов, перенесших первичное эндопротезирование коленного сустава, по индексу массы тела

Fig. 4. Distribution of patients after primary knee arthroplasty by body mass index

Модернизация регистра в 2021 г. позволила получать более детальные данные и сделала статистический анализ более простым. В силу технических особенностей затруднительно выполнить сравнение ИМТ у пациентов, которые были прооперированы до 2021 г. Поэтому мы приводим результаты сравнения ИМТ у пациентов, которым было выполнено первичное тотальное, первичное одномышцелковое и ревизионное ЭП КС в 2021–2022 гг. (табл. 2).

Анализ показал, что ИМТ не отличался между группами пациентов с первичным тотальным и первичным одномышцелковым эндопротезированием, а также между группами ревизионного и первичного одномышцелкового эндопротезирования. Однако в группе первичного тотального эндопротезирования ИМТ оказался статистически значимо большим, чем при ревизионном протези-

ровании. Этот результат вызывает некоторое удивление, так как традиционно считается, что высокий ИМТ является фактором риска разнообразных осложнений. Этот факт заслуживает отдельного анализа, выходящего за рамки этой работы.

Регистр Центра позволяет получить подробную информацию о наличии у пациента сопутствующей патологии, которая в дальнейшем может быть использована для анализа причин различных осложнений, возникающих после первичного и ревизионного ЭП КС. К наиболее часто встречающейся патологии относятся заболевания желудочно-кишечного тракта — 3280 пациентов (83,6%), сердечно-сосудистой системы — 3207 (81,7%), эндокринная патология — 1051 (26,8%).

Наиболее частой причиной первичного ЭП КС, по данным регистра Центра, остается остеоартроз различной этиологии (идиопатический, посттравматический, вторичный) — 96% в структуре всех причин в 2022 г. Этот показатель остается стабильным начиная с 2015 г., когда стала постепенно снижаться доля воспалительных артритов. С 2011 г. число пациентов с системными заболеваниями, которым проводится эндопротезирование, значительно снизилось, что отражает успехи отечественных ревматологов в совершенствовании алгоритмов ранней диагностики и неоперативного лечения данной категории больных (рис. 5).

В первые три года работы регистра эндопротезирования продолжительность операции чаще всего составляла от 90 до 180 мин. (70–73% всех первичных вмешательств). Начиная с 2014 г., по мере накопления хирургами опыта, совершенствования хирургической техники и тактики периоперационного ведения пациентов доля операций длительностью менее 90 мин. стала неуклонно расти и в 2022 г. достигла 81,7%. В последние три года первичные операции ЭП КС продолжительностью более 180 мин. составляют не более 0,5% (рис. 6).

Таблица 2

Сравнительный анализ средних значений ИМТ у пациентов, которым было выполнено первичное тотальное, первичное одномышцелковое и ревизионное эндопротезирование коленного сустава в 2021–2022 гг.

Группы сравнения (1 vs 2)	M		SD		p
	Гр 1	Гр 2	Гр 1	Гр 2	
Первичное тотальное (Гр 1; n = 6511) vs первичное одномышцелковое (Гр 2; n = 326)	33,2	32,3	10,5	9,1	0,11
Первичное тотальное (Гр 1; n = 6511) vs ревизионное (Гр 2; n = 275)	33,2	31,3	10,5	6,4	0,003
Ревизионное (Гр 1; n = 275) vs первичное одномышцелковое (Гр 2; n = 326)	31,3	32,3	6,4	9,1	0,15

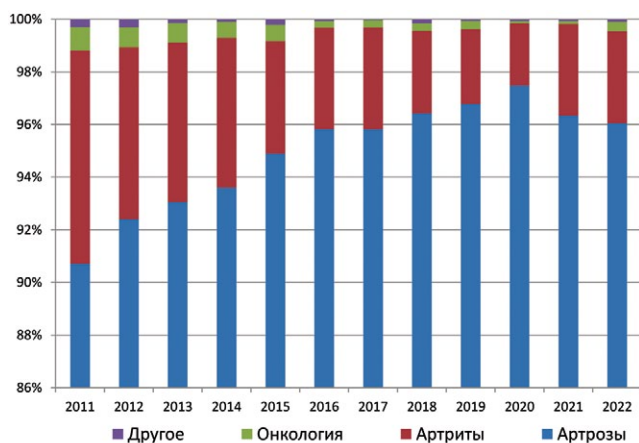


Рис. 5. Структура исходной патологии, послужившей причиной первичного эндопротезирования коленного сустава, %

Fig. 5. Structure of initial pathology that led to primary knee arthroplasty, %

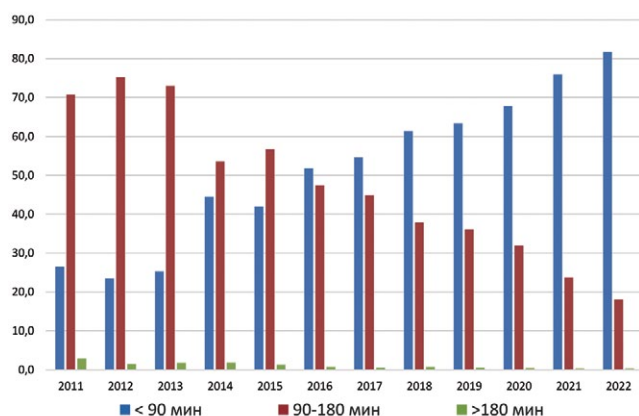


Рис. 6. Продолжительность операций первичного эндопротезирования коленного сустава, мин.

Fig. 6. Surgery duration of primary knee arthroplasty, min

Периоперационное применение ингибиторов фибринолиза, использование управляемой гипотонии, а также снижение времени оперативного вмешательства привело к тому, что в 2022 г. в подавляющем большинстве случаев (97,3%) объем интраоперационной кровопотери составил менее 500 мл. В 2011 г. у более чем 21,2% пациентов объем интраоперационной кровопотери колебался в интервале 500–1000 мл, однако к 2014 г. этот показатель снизился в 4 раза (рис. 7).

Методика первичного ЭП КС с сохранением суставной поверхности надколенника, по данным регистра Центра, была приоритетной за весь период наблюдений. В 2019 г. наблюдался некоторый спад, по всей видимости, обусловленный ростом популярности одномыщелкового эндопротезирования с 0,3% в 2011 г. до 6,4% в 2019 г. К 2022 г. доля этого

вида эндопротезирования достигла 94,5% уже за счет снижения доли эндопротезирования с замещением суставной поверхности надколенника — с 2,8% в 2019 г. до 1,2% в 2022 г. (рис. 8).

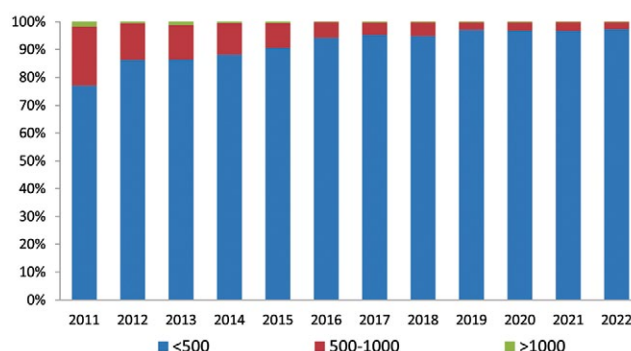


Рис. 7. Структура интраоперационной кровопотери при первичном эндопротезировании коленного сустава, %

Fig. 7. Intraoperative blood loss during primary knee arthroplasty, %



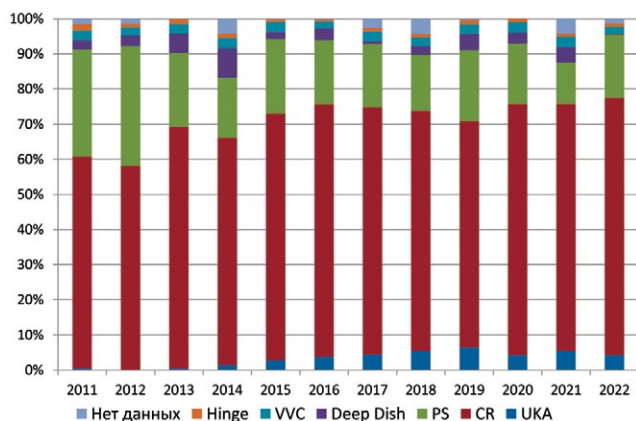
Рис. 8. Варианты первичного эндопротезирования коленного сустава

Fig. 8. Types of primary knee arthroplasty

Эндопротезы с сохранением задней крестообразной связки (ЗКС) традиционно являются наиболее часто имплантируемыми в Центре, их доля превышает 70% начиная с 2016 г. После незначительного спада в 2018–2019 гг. доля имплантации таких конструкций вновь начала расти, достигнув к 2022 г. 73,2%. Этот факт может быть связан с освоением методики ЭП КС начинающими специалистами, учитывая технические сложности сохранения ЗКС в некоторых клинических ситуациях. Сейчас частота имплантации задне-стабилизированных конструкций находится на минимальном уровне за последние 7 лет (18,1%). При этом в предыдущие годы дефицит ЗКС хирурги могли компенсировать путем имплантации эндопротезов с ультраконгруэнтным вкладышем, в настоящий момент практически отсутствующих

в клинике. Доля полусвязанных и шарнирных конструкций при первичном ЭП КС находится на стабильном уровне с 2011 г., составляя в 2022 г. 2,0% и 1,0% соответственно (рис. 9).

Наиболее часто на протяжении последних 8 лет устанавливается протез Zimmer Biomet NexGen®, далее следует Zimmer Biomet AGC со значимым ростом доли имплантаций по сравнению



с 2021 г. Третье место делят Johnson & Johnson DePuy и Synthes SIGMA™ Knee System с такой же динамикой роста имплантаций, как и AGC по сравнению с предыдущим годом, а также Smith&Nephew Anthem с прогрессирующей долей начиная с 2017 г. Что же касается одномыщелкового ЭП КС, популярность которого отображает частота имплантации системы Zimmer Biomet Oxford® Partial Knee, то при планомерном увеличении доли установок с 2011 по 2019 г. с 0,4% до 5,9% далее последовал некоторый спад, и в 2022 г. этот показатель составлял 3,9%, как и в 2017 г. (табл. 3).

Рис. 9. Распределение различных моделей первичных эндопротезов коленного сустава по степени связанности, %

Fig. 9. Distribution of different models of primary knee prostheses by the constrain type, %

Таблица 3

Доля использованных моделей эндопротезов коленного сустава при первичном эндопротезировании в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в 2011–2022 гг., %

Модель	Год											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Zimmer Biomet NexGen	26,4	24,5	28,6	28,5	36,0	37,1	36,9	31,9	29,9	25,9	27,6	23,1
Zimmer Biomet Persona	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
J&J DePuy Synthes PFC Sigma	41,7	42,3	35,2	27,3	9,5	17,9	20,8	14,6	14,0	17,5	10,9	15,1
Zimmer Biomet AGC	23,8	17,7	16,5	12,6	18,2	12,4	9,2	10,9	9,2	19,2	11,9	17,6
Zimmer Biomet Vanguard	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,6	1,9	1,6	2,0	1,7	2,5	3,8
Aesculap Columbus	3,9	10,6	12,3	11,2	12,2	13,1	9,8	7,6	6,4	11,1	9,8	6,2
J&J DePuy Synthes LCS	2,3	2,0	2,9	7,2	0,1	0,7	0,7	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
Zimmer Biomet Oxford	0,4	0,1	0,4	1,2	2,5	3,4	4,0	4,7	5,9	3,7	5,0	3,9
Zimmer Biomet OSS	0,8	0,7	0,8	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1
Smith&Nephew Genesis II	0,0	0,0	0,2	3,8	4,3	3,2	2,7	2,6	3,3	2,3	2,6	3,3
Stryker Scorpio NRG	0,0	0,0	0,1	5,4	11,5	8,6	8,4	4,0	3,3	1,9	0,8	0,3
Stryker Triathlon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	8,4	6,4	5,2	8,0	6,8
Smith&Nephew Uni	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3
Smith&Nephew Anthem	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	8,7	12,8	5,5	12,0	15,1
Microport Wright Advance	0	0	0	0	0	0	0	1,8	4,3	3,0	2,0	0,2
Maxx Orthopedics Freedom	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,2	1,3	2,2	2,3
Другое	0,7	2,8	4,2	3,6	4,0	0,9	0,7	0,9	1,3	2,0	6,2	4,2
Всего	100,0	100,0	96,9	100,0	97,8	99,6	100,0	99,6	100,0	100,0	100,0	98,2

Имплантация модульных большеберцовых компонентов является приоритетной, что доказывают данные регистра за весь период наблюдений — их доля в 2022 г. составила 65,9%. Также прослеживается тренд к сохранению популярности моноблоковых большеберцовых компонентов, причем как металлических, так и полностью полиэтиленовых (All Poly). Клиническая и экономическая рациональность применения такого типа конструкций подтверждается данными мета-анализов и клинических исследований, сообщающих о по меньшей мере сопоставимой, а зачастую и лучшей выживаемости такого типа компонентов по сравнению с модульными большеберцовыми, в том числе среди пациентов средних возрастных групп [5, 6, 7]. Испытав спад в 2019 и в 2021 гг., доля моноблоковых большеберцовых компонентов приблизилась в 2022 г. к 30%, что сопоставимо с аналогичными показателями в остальные годы работы регистра (рис. 10).

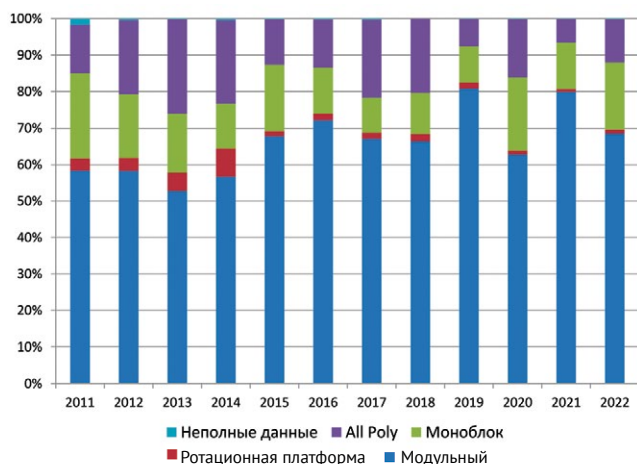


Рис. 10. Структура типов имплантируемых большеберцовых компонентов эндопротезов при первичном эндопротезировании коленного сустава

Fig. 10. Structure of types of implanted tibial prosthetic components in primary knee arthroplasty

Благодаря автоматическому внесению в базу регистра Центра каждого имплантированного компонента эндопротеза есть возможность косвенно судить о доле пациентов с выраженными деформациями ($>20^\circ$), относящимися к сложным случаям первичного эндопротезирования [8].

В 2022 г. у 70 (1,8%) пациентов при первичном ЭП КС использовался один модульный металлический блок, который в подавляющем большинстве случаев применялся для компенсации остаточного костного дефекта медиального или латерального мыщелка большеберцовой кости глубиной более 1 см или занимающего площадь более 2/3 пораженного мыщелка. Модульные ножки, которыми

дополнялась фиксация при использовании толстых полиэтиленовых вкладышей, модульных блоков, костной аллопластики и неудовлетворительном состоянии костной ткани, были имплантированы в 102 (2,6%) случаях.

Продолжительность общего койко-дня неуклонно снижалась (с 19,6 в 2011 г. до 8,6 в 2022 г.) в основном за счет сокращения послеоперационного пребывания пациентов в клинике. Начиная с 2020 г., после оптимизации алгоритмов плановой госпитализации, прослеживается тенденция к снижению и дооперационного койко-дня — в среднем 2,84 в 2022 г. Исключением является 2014 г., в котором общий койко-день составил 23,6 в связи с капитальным ремонтом операционного блока (рис. 11).

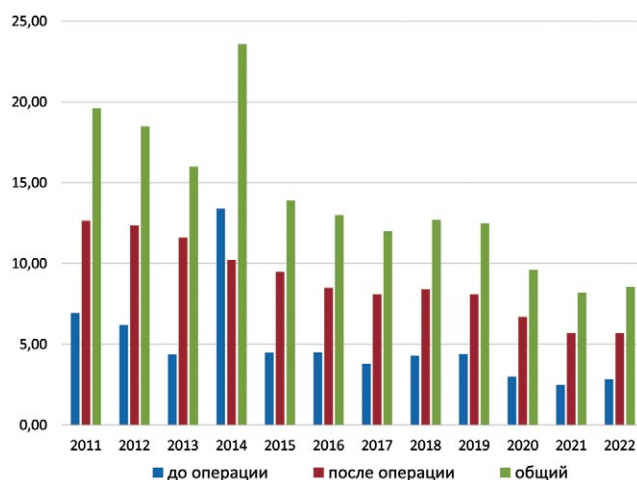


Рис. 11. Продолжительность пребывания пациентов в стационаре при первичном ЭП КС, койко-день

Fig. 11. Duration of hospital stay in primary knee arthroplasty, bed days

ОБСУЖДЕНИЕ

Тезис о постоянном увеличении числа выполняемых операций ЭП КС подтверждают данные регистров Австралии (на 8,2% в 2021 г. в сравнении с 2020 г.) и Швеции (на 8% в 2021 г. по сравнению с 2020 г.) [9, 10]. В то же время, по данным регистра Англии и Уэльса, в 2021 г. прироста числа первичных ЭП КС по сравнению с 2020 г. не было [11]. Аналогичный показатель в Центре в 2022 г. по сравнению с предшествующим годом составил 16,1%, что стало возможным благодаря прогрессивному снижению продолжительности пребывания пациентов в стационаре, оптимизации процессов госпитализации (отмена обязательной сдачи лабораторного минимума после поступления пациента, учет амбулаторных лабораторных исследований, осмотр профильными специалистами в день поступления), а также модификации алгоритма периоперационного ведения пациентов.

Доля первичных вмешательств (92,3%) в Центре соответствует аналогичным показателям ряда зарубежных регистров. По данным австралийского (1999–2021), норвежского (1994–2021), канадского (2020–2021) и новозеландского (1999–2021) регистров, этот показатель составляет 92,7%. Данные других регистров также сопоставимы и не имеют значимых различий: США (2012–2020) — 88,6%, Швеция (2021) — 86,3%, Швейцария — 87,4% (2021). В итоге можно сказать, что структура ЭП КС в Центре соответствует общемировым показателям [9, 12, 13, 14, 15, 16].

В гендерной структуре пациентов, которым выполняется ЭП КС в Центре, сохраняется относительный паритет с незначительным преобладанием пациентов женского пола. По данным регистра Англии и Уэльса за 2021 г., доля женщин составила 56,2%, в Австралии — 56,1% в 2021 г., в Новой Зеландии — 51,5% в 2020 г., в Швеции — 55,4% в 2021 г. [9, 10, 11, 13]. Несколько больший разрыв показателей продемонстрировали отчеты норвежского регистра — 61,6%, регистра Швейцарии — 60,3% и Канады — 57% [12, 14, 15].

В регистре артропластики США данные о гендерной структуре представлены с разделением на возрастные категории. Если среди пациентов старшей возрастной группы (>90 лет) разрыв долей был значительным — 64,5%, то в группе молодых пациентов (<50 лет), он не был столь очевидным — 59% [16]. В Центре пациенты мужского пола составляют абсолютное меньшинство — 19,0% (табл. 4). Эти различия может объяснить тяжелый демографический кризис, преследующий многие страны, в том числе и Россию, в последние десятилетия: недостаточная рождаемость, высокая смертность среди мужского населения страны, медленная динамика увеличения средней продолжительности жизни (0,48 лет для мужчин и 0,31 лет для женщин). Дальнейшие прогнозируемые тенденции говорят лишь об усугублении текущей ситуации [17].

Учитывая, что продолжительность жизни в России несколько меньше, о чем говорилось

выше, незначительно отличается и средний возраст пациентов, проходящих лечение в Центре — 64,8 года. В Великобритании этот показатель составляет 70,0 лет; в Швейцарии — 69,5 лет; в Австралии — 68,5; в Швеции — 68,7; в Новой Зеландии — 68,2, в США — 67,0 лет [9, 10, 11, 13, 14, 16]. Одним из факторов, который потенциально может привести к увеличению среднего возраста в момент обращения пациентов для первичного эндопротезирования, является необходимость изменения парадигмы в диагностике гонартроза с акцентом на выявление пациентов с ранней стадией при помощи более чувствительных, чем рентгенография, методов, в частности МРТ, так как в этом случае своевременное начало консервативных методов лечения более эффективно замедляет прогрессирование заболевания*.

Анализ данных регистра Центра показал, что наиболее частой причиной ЭП КС на протяжении последних 11 лет является гонартроз — 96% в 2022 г. Годовые отчеты иностранных регистров за 2021 г. подтверждают основную роль этой патологии в ЭП КС: 97,4% в регистре Англии и Уэльса; 88,7% — в Швеции, в Австралии — 97,8%; 99,3% — в Канаде [9, 10, 11, 15]. Несколько меньше этот показатель в Новой Зеландии — 94,8%, где, как и в нашем Центре (3,5%), несколько больше по сравнению с другими странами доля ревматоидного артрита — 2,7% [13]. Несколько иначе распределены доли различных патологий в регистре Швейцарии: гонартроз — 88,3%; остеонекроз — 1,4%; артриты — 0,9%; инфекции — 0,2% и остальное — 9,2% [14].

Одним из компонентов зарубежных регистров эндопротезирования является оценка коморбидного фона пациента перед анестезией по классификации Американского общества анестезиологов (ASA). Она не предсказывает периоперационные риски, а является лишь шкалой физического статуса пациента**. При стратификации пациентов на классы по данной шкале учитываются сопутствующие заболевания и вредные привычки, такие как табакокурение и употребление алкоголя, ожире-

Таблица 4

Гендерное распределение пациентов по данным национальных регистров, %

Пол	Канада	Англия и Уэльс	Австралия	Новая Зеландия	Швеция	Норвегия	Швейцария	Япония	НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена
М	43	43,8	43,9	48,54	44,6	39,4	39,7	19	19
Ж	57	56,2	56,1	51,46	55,4	61,6	60,3	81	81

* Клинические рекомендации — Гонартроз — 2021-2022-2023 (03.09.2021) — Утверждены Минздравом РФ. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/667_1.

** ASA Physical Status Classification System, 2020. Available from: <https://www.asahq.org/standards-and-practice-parameters/statement-on-asa-physical-status-classification-system>.

ние, сахарный диабет, артериальная гипертензия. Однако известно, что целый ряд сопутствующих заболеваний как по отдельности, так и в комбинации могут быть факторами риска инфекционных осложнений после эндопротезирования. С высоким уровнем консенсуса соответствие пациента II и более классу по классификации ASA также было отнесено к факторам риска перипротезной инфекции [18]. Регистр Центра содержит информацию о сопутствующей патологии пациентов, что может быть использовано как для анализа коморбидности, так и для определения потенциального риска развития перипротезной инфекции, что является преимуществом перед зарубежными регистрами ЭП, которые предоставляют информацию исключительно о классе ASA и значении ИМТ.

Частота замещения суставной поверхности надколенника при первичном ЭП КС варьирует в разных странах в связи с различными предпочтениями в имплантации тех или иных систем, ряд из которых по методике требует эндопротезирования надколенника, а также с устоявшейся хирургической практикой. В ряде стран доля ЭП с замещением надколенника значимо растет: с 41% в 2005 г. до 76,1% в 2021 г. в Австралии [9], такая же тенденция отмечается и в Швейцарии — с 2015 по 2020 г. доля вышеупомянутых вмешательств увеличилась с 24,4% до 31,9% соответственно [14]. По данным регистра Центра, эндопротезирование надколенника выполняется в 2,8% случаев, что соответствует тенденциям, отображенным в отчетах регистров Швеции и Норвегии за 2021 г. — 4,7% и 7,6% соответственно [10, 12]. Необходимо помнить, что ЭП надколенника далеко не всегда решает проблему возникновения болевого синдрома в феморо-пателлярном суставе вне зависимости

от имплантируемой модели эндопротеза, поскольку важным фактором является корректное ротационное положение бедренного и большеберцового компонентов, а также сохранение естественного уровня линии сустава.

Неоднозначна позиция ортопедов по отношению к эндопротезам различной степени связанности. В Центре эндопротезы с сохранением ЗКС используются в более чем 70% случаев, что сопоставимо с данными регистров Норвегии и Новой Зеландии — 70,5% и 75% соответственно [12, 13]. При этом данные регистров Швеции и США демонстрируют противоречивые показатели — 93,5% и 46,5% соответственно [10, 16]. Такая разнородная статистика может быть продиктована как национальными трендами в приверженности определенным хирургическим концепциям, так и преимущественным использованием эндопротезов тех или иных фирм-производителей.

Вопреки доказанным преимуществам частичной артропластики над тотальной при поражении одного из компартментов коленного сустава, в мировом ортопедическом сообществе отсутствует консенсус относительно ее использования. По данным зарубежных регистров, одномышечковое ЭП в структуре первичных операций составляет в США 4,2%, в Австралии — 6,9%, в Канаде — 9,2%, в Норвегии — 11,9%, в Швеции — 12,8%, в Швейцарии — 18,4% [9, 10, 12, 14, 15, 16].

В таблице 5 представлена информация о наиболее часто используемых моделях эндопротезов по данным годовых отчетов регистров Австралии, Новой Зеландии, Швеции и НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена: на долю 4 крупнейших производителей приходится более 90% от общего количества эндопротезов [9, 10, 13].

Таблица 5

Наиболее популярные модели первичных эндопротезов коленного сустава, устанавливаемые в различных странах

Данные регистров			
Австралия	Новая Зеландия	Швеция	НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена
Triathlon CR 36,3%	Triathlon 38,8%	NexGen MBT 53%	NexGen 23,1%
Persona 25,5%	Attune 27,7%	PFC Sigma MBT 16%	AGC 17,6%
Attune CR 9,2%	Persona 16,3%	Triathlon MBT 15,2%	Anthem S&N 15,1%
GMK Sphere Primary 8,1%	Genesis II 3,9%	Persona 5%	PFC Sigma 15,1%
Attune PS 4,9%	Nexgen 3,5%	Genesis II MBT 2%	Triathlon 6,8%
NexGen CR Flex 3,7%	LCS 3,4%	Legion/Genesis II Pri MBT 2%	Columbus 6,2%
Apex Knee CR 3,6%	PFC Sigma 2,4%	NexGen TM 1,6%	Oxford 3,9%
Legion Oxinium CR 3,5%	Sigma 1,7%	PFC Sigma APT 1,5%	Genesis II 3,3%
Legion Oxinium PS 2,7%	Vanguard 1,2%	Persona TM 1,2%	Freedom 2,3%
Legion CR 2,4%	Balansys 1%	NexGen TM 1,2%	Другие 6,6%

Перспективы развития регистра эндопротезирования НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена

Несмотря на доказанные преимущества национальных регистров, у локальных регистров есть такие сильные стороны, как более высокий уровень детализации, возможность сопоставлять клинические данные с рентгенологическими, а также выполнять перекрестные ссылки с другими клиническими базами данных и индивидуальными картами пациентов, что позволяет разнообразить и сделать более глубоким изучение отдельных специфических вопросов. Так, рентгенография в сочетании с клинико-лабораторными данными позволили провести многоцентровое исследование, продемонстрировавшее низкий уровень износа поперечносвязанного полиэтилена в течение 10 и более лет при тотальном ЭП тазобедренного сустава [19].

Ревизии, выполненные по причине перипротезной инфекции, могут иметь перекрестные ссылки с подробными микробиологическими данными, что позволит составить полный профиль таких пациентов [20, 21], а результаты наблюдения за пациентами, которым установлены мегапротезы (онкологические), могут быть сопоставлены с институциональными локальными базами данных патоморфологических лабораторий. Опубликован ряд работ, основанных на локальных базах данных об использовании высокопористых металлических имплантатов при ревизионной артропластике тазобедренного и коленного суставов, учет использования таких конструкций позволит проанализировать результаты хирургического лечения пациентов с массивными костными дефектами [22, 23, 24].

Несмотря на то, что, помимо Центра, регистры ЭП КС ведутся в федеральных центрах эндопротезирования в Чебоксарах, Барнауле и Смоленске, в настоящее время отсутствует общенациональный регистр эндопротезирования крупных суставов. Именно такой тип регистра является информационно и экономически эффективной системой

оценки результатов данного вида хирургического лечения, позволяющей объективно определять тенденции развития и качество эндопротезирования в конкретной стране. Отсутствие национального регистра является причиной невозможности полноценного анализа выживаемости эндопротезов в масштабах страны, а также существенно ограничивает возможности для проведения объективного сравнительного анализа результатов операций ЭП КС, выполненных в различных лечебных учреждениях и с использованием различных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных регистра эндопротезирования коленного сустава НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена и сравнение его результатов с данными зарубежных национальных регистров позволили выявить тренд к увеличению количества выполняемых первичных и ревизионных ЭП КС, при этом соотношение первичных и ревизионных операций в последние годы остается неизменным. В Центре значительно снизилась длительность стационарного лечения пациентов после первичного ЭП. По данным регистра Центра и большинства зарубежных, первичное ЭП КС наиболее часто выполняется женщинам пожилого возраста. В абсолютном большинстве случаев причиной выполнения операции является идиопатический остеоартроз коленного сустава. Однако в мировом ортопедическом сообществе отсутствует единое мнение относительно необходимости замещения суставной поверхности надколенника и использования одномышечковых имплантатов. При этом в нашем учреждении замена суставной поверхности надколенника выполняется менее чем в 4% случаев, а частота выполнения частичных артропластик имеет статистически значимый рост. В НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена наиболее часто используются эндопротезы без замещения ЗКС. По данным регистра, выявлены четкие тренды к уменьшению интраоперационной кровопотери, длительности оперативного вмешательства.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Преображенский П.М. — концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста статьи.

Филь А.С. — концепция и дизайн исследования, интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста статьи.

Корнилов Н.Н. — концепция и дизайн исследования, интерпретация полученных данных, редактирование текста статьи.

Пантелеев А.Н. — интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста статьи.

DISCLAIMERS

Author contribution

Preobrazhensky P.M. — study concept and design, data analysis and interpretation, statistical analysis of results, writing the article.

Fil A.S. — study concept and design, data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Kornilov N.N. — study concept and design, data analysis and interpretation, drafting the article.

Panteleev A.N. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Гуцаев М.С. — интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста статьи.

Каземирский А.В. — дизайн исследования, интерпретация полученных данных, редактирование текста статьи.

Куляба Т.А. — интерпретация полученных данных, редактирование текста статьи.

Середа А.П. — концепция и дизайн исследования, 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. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный 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.

Guatsaev M.S. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Kazemirsky A.V. — study design, data analysis and interpretation, writing the article.

Kulyaba T.A. — data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Sereda A.P. — study concept and design, drafting the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Malchau H., Garellick G., Berry D., Harris W.H., Robertson O., Kärrholm J. et al. Arthroplasty implant registries over the past five decades: Development, current, and future impact. *J Orthop Res.* 2018; 36(9):2319-2330. doi: 10.1002/jor.24014.
- Чёрный А.Ж., Кувакин В.И., Воронцова Т.Н., Вебер Е.В. Курчиков А.Г. Система учета пациентов, нуждающихся в эндопротезировании тазобедренного и коленного суставов. *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2015;(4):176-182. Cherniy A.J., Kuvakin V.I., Vorontsova T.N., Veber E.V., Kurchikov A.G. Registration of patients with need of hip and knee arthroplasty. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2015;(4):176-182. (In Russian).
- Синецкий А.Д., Билык С.С., Близиуков В.В., Ефимов Н.Н., Коваленко А.Н., Бадмаев А.О. Кросс-культурная адаптация и валидизация русскоязычной версии анкеты Oxford Knee Score для пациентов с гонартрозом, ожидающих выполнения первичного эндопротезирования. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(2). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26312>. doi: 10.17513/spno.26312. Sineckiy A.D., Bilyk S.S., Bliznyukov V.V., Efimov N.N., Kovalenko A.N., Badmaev A.O. Oxford knee score: cross-cultural adaptation and validation of the russian version in patients with osteoarthritis of the knee. *Modern Problems of Science and Education.* 2017;(2). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/article/view?id=26312>. doi: 10.17513/spno.26312.
- Yang X., Bi P., Kuang S. Fighting obesity: When muscle meets fat. *Adipocyte.* 2014;3(4):280-289. doi: 10.4161/21623945.2014.964075.
- Himanen A.K., Belt E.A., Lehto M.U., Hämäläinen M.M. A comparison of survival of moulded monoblock and modular tibial components of 751 AGC total knee replacements in the treatment of rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(5):609-614. doi: 10.1302/0301-620X.89B5.17950.
- Guadnason A., Hailer N.P., W-Dahl A., Sundberg M., Robertsson O. All-Polyethylene Versus Metal-Backed Tibial Components-An Analysis of 27,733 Cruciate-Retaining Total Knee Replacements from the Swedish Knee Arthroplasty Register. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(12):994-999. doi: 10.2106/JBJS.M.00373.
- Kremers H.M., Sierra R.J., Schleck C.D., Berry D.J., Cabanela M.E., Hanssen A.D. et al. Comparative Survivorship of Different Tibial Designs in Primary Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(14):e121. doi: 10.2106/JBJS.M.00820.
- Baldini A., Castellani L., Traverso F., Balatri A., Balato G., Franceschini V. The difficult primary total knee arthroplasty: a review. *Bone Joint J.* 2015;97-B(10 Suppl A):30-39. doi: 10.1302/0301-620X.97B10.36920.
- Australian Orthopaedic Association, National Joint Replacement Registry. Annual Report. 2022:172-281. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/732916/AOA+2022+AR+Digital/f63ed890-36d0-c4b3-2e0b-7b63e2071b16>.
- The Swedish Arthroplasty Register. Annual Report. 2022:125-169. Available from: <https://registercentrum.blob.core.windows.net/refdocs/10.18158/BklrLg8NOo.pdf>
- National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and Isle of Man. 19th Annual Report.2022: 133210. Available from: <https://reports.njrcentre.org.uk/Portals/0/PDFdownloads/NJR%2019th%20Annual%20Report%202022.pdf>.
- Norwegian National Advisory unit on Arthroplasty and Hip Fractures. Annual Report. 2021:71-214. Available from: www.researchgate.net/publication/356998659_Annual_report_2021_Norwegian_National_Advisory_Unit_on_Arthroplasty_and_Hip_Fractures_Norwegian_Arthroplasty_Register_Norwegian_Cruciate_Ligament_Register_Norwegian_Hip_Fracture_Register_Norwegian_Pae. doi: 10.13140/RG.2.2.34266.26566.

13. The New Zealand Joint Registry Twenty-two Year Report January 1999 to December 2020. Annual Report. 2021:78-120. Available from: www.nzoa.org.nz/sites/default/files/NZJR_22_Year_Report_Final.pdf.
14. Swiss National Joint Registry, SIRIS Report 2021. Annual Report. 2021:100-147. Available from: https://www.swiss-medtech.ch/sites/default/files/2021-12/211130_SIRIS-Report%202021_online.pdf
15. Canadian Institute for Health Information, Canadian Joint Replacement Registry. Annual Report. 2022:1-98. Available from: <https://www.cihi.ca/sites/default/files/document/hip-knee-replacements-in-canada-cjrr-annual-report-2020-2021-en.pdf>.
16. 8th AJRR Annual Report. on Hip and Knee Arthroplasty Data. Annual Report. 2021:64-97. Available from: <https://www.aaos.org/registries/publications/ajrr-annual-report/>
17. Рязанцев С.В., Архангельский В.Н., Воробьева О.Д., Гневашева В.И., Доброхлеб В.Г., Иванова А.Е. и др. Демографическое развитие России: тенденции, прогнозы, меры. Национальный демографический доклад. Москва: Объединенная редакция; 2020. 156 с. doi: 10.25629/HC.2020.13.01. Ryazantsev S.V., Arkhangel'skii V.N., Vorob'eva O.D., Gnevasheva V.I., Dobrokhleb V.G., Ivanova A.E. et al. Demographic development of Russia: trends, forecasts, measures. National Demographic Report. Moscow: United Edition LLC; 2020. 156 p. (In Russian). doi: 10.25629/HC.2020.13.01.
18. Parvizi J., Gehrke T., Chen A.F. Proceedings of the International Consensus on Periprosthetic Joint Infection. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11):1450-1452. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.33135.
19. Hussey D.K., Madanat R., Donahue G.S., Rolfson O., Bragdon C.R., Muratoglu O.K. et al. Scoring the Current Risk Stratification Guidelines in Follow-up Evaluation of Patients After Metal-on-Metal Hip Arthroplasty: A Proposal for a Metal-on-Metal Risk Score Supporting Clinical Decision-Making. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(22):1905-1912. doi: 10.2106/JBJS.15.00685.
20. Marculescu C.E., Berbari E.F., Hanssen A.D., Steckelberg J.M., Osmon D.R. Prosthetic joint infection diagnosed postoperatively by intraoperative culture. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;439:38-42. doi: 10.1097/01.blo.0000183091.83509.d8.
21. Trampuz A., Piper K.E., Jacobson M.J., Hanssen A.D., Unni K.K., Osmon D.R. et al. Sonication of removed hip and knee prostheses for diagnosis of infection. *N Engl J Med.* 2007;357(7):654-663. doi: 10.1056/NEJMoa061588.
22. Howard J.L., Kudera J., Lewallen D.G., Hanssen A.D. Early results of the use of tantalum femoral cones for revision total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(5):478-84. doi: 10.2106/JBJS.1.01322.
23. Meneghini R.M., Ford K.S., McCollough C.H., Hanssen A.D., Lewallen D.G. Bone remodeling around porous metal cementless acetabular components. *J Arthroplasty.* 2010;25(5):741-747. doi: 10.1016/j.arth.2009.04.025.
24. Meneghini R.M., Lewallen D.G., Hanssen A.D. Use of porous tantalum metaphyseal cones for severe tibial bone loss during revision total knee replacement. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91 Suppl 2 Pt 1:131-138. doi: 10.2106/JBJS.H.01061.

Сведения об авторах

✉ Преображенский Петр Михайлович

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
 e-mail: Pedro@yandex.ru

Филь Алексей Сергеевич — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-8994-0984>
 e-mail: filalekse@yandex.ru

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

Пантелеев Александр Николаевич
<https://orcid.org/0000-0001-9925-0365>
 e-mail: alex.pant95@mail.ru

Гуацаев Максим Сосланович
<https://orcid.org/0000-0003-1948-0895>
 e-mail: mguatsaev@inbox.ru

Каземирский Александр Викторович — канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru

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

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

Authors' information

✉ Petr M. Preobrazhensky

Address: 8, Akademika Baykova st., St. Petersburg, 195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
 e-mail: Pedro@yandex.ru

Alexey S. Fil — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8994-0984>
 e-mail: filalekse@yandex.ru

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

Alexander N. Panteleev
<https://orcid.org/0000-0001-9925-0365>
 e-mail: alex.pant95@mail.ru

Maksim S. Guatsaev
<https://orcid.org/0000-0003-1948-0895>
 e-mail: mguatsaev@inbox.ru

Alexander V. Kazemirsky — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5652-6541>
 e-mail: Alexkazemir@mail.ru

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

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



Telemedicine Consultations for Children with Musculoskeletal Injuries: Data from the Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics and Trauma Surgery

Vyacheslav I. Zorin^{1,2}, Sergey A. Lukyanov¹

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

Abstract

Background. Currently, the mortality rate of pediatric patients due to injuries surpasses mortality from other causes worldwide. The selection and timely transfer of the injured to specialized clinics are crucial elements of the healthcare system. Telemedicine consultations (TMC) are considered by several authors as an effective means to enhance the quality of trauma care and optimize patient routing processes.

Aim of the study was to analyze the results of urgent and emergent telemedicine consultations and hospitalizations based on telemedicine consultations for children with musculoskeletal injuries.

Methods. TMC requests from 2020 to 2022 were analyzed. When evaluating TMC requests, attention was given to the type of request (planned, urgent, emergent), the region from which the request originated, and the correspondence of the request's urgency category to the patient's diagnosis. The study also involved an analysis of the injury structure, its severity according to the Injury Severity Score (ISS) at the time of trauma, and the timelines for requesting and transferring to the federal clinic from the moment of injury.

Results. From 2020 to 2022, a total of 3745 requests for TMC were received. Among them, there were 572 urgent and emergent requests. A threefold increase in the number of TMC requests was observed over the span of three years. In the same period, 78 patients were transferred to the clinic. For 36 patients with combined and multiple injuries, the severity of trauma was assessed using the ISS scale. The average score was 31 (min 9; max 57). The average time for regional institutions to send a request from the moment of the patient's hospitalization was 6.7 days. Hospitalization in the center's clinic from the moment of injury was 10.3 days (min 1, max 58).

Conclusion. The study revealed the following issues that need to be addressed through further organizational steps: a high percentage of mismatch between the type of request and the actual clinical picture, delayed consultations, prolonged medical evacuation, and organizational aspects of medical evacuation.

Keywords: telemedicine, children, injuries of musculoskeletal system, medical evacuation, emergency care, trauma center, disaster medicine.

Cite as: Zorin V.I., Lukyanov S.A. Telemedicine Consultations for Children with Musculoskeletal Injuries: Data from the Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics and Trauma Surgery. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):86-93. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11175>.

✉ Sergey A. Lukyanov; e-mail: Sergey.lukyanov95@yandex.ru

Submitted: 18.05.2023. Accepted: 17.08.2023. Published Online: 01.09.2023.

© Zorin V.I., Lukyanov S.A., 2023

Анализ телемедицинских консультаций детям с повреждениями опорно-двигательного аппарата по данным НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера

В.И. Зорин^{1,2}, С.А. Лукьянов¹

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

Реферат

Актуальность. В настоящее время смертность пациентов детского возраста от травм превышает смертность от прочих причин во всем мире. Отбор и своевременный перевод пострадавших в специализированную клинику является важным элементом работы медицинской системы. Телемедицинские консультации (ТМК) рассматриваются рядом авторов как один из эффективных способов повышения качества травматологической помощи и оптимизации процессов маршрутизации пациентов.


Цель — провести анализ результатов экстренных и неотложных телемедицинских консультаций и госпитализации по телемедицинским консультациям у детей с травмами опорно-двигательного аппарата.


Материал и методы. Были проанализированы запросы на проведение ТМК в 2020–2022 гг. При оценке уделяли внимание типу запроса (плановый, экстренный, неотложный), региону, из которого поступил запрос, а также соответствию категории срочности запроса диагнозу пациента. В ходе исследования проведен анализ структуры повреждений, их тяжести по шкале Injury Severity Score (ISS) на момент травмы, а также сроков формирования запроса и перевода в федеральную клинику с момента получения травмы.

Результаты. За 2020–2022 гг. поступило 3745 запросов на проведение ТМК, из них экстренных и неотложных 572. В динамике отмечен рост количества запросов на ТМК более чем в три раза за 3 года. За 2020–2022 гг. в клинику были переведены 78 пациентов. У 36 пациентов с сочетанными и множественными повреждениями проведена оценка тяжести травмы в соответствии со шкалой ISS, средний балл — 31 (min 9; max 57). Средний срок отправки запроса региональным учреждением с момента госпитализации пострадавшего составил 6,7 сут. Госпитализация в клинику Центра от момента получения травмы составила 10,3 сут. (min 1; max 58).

Заключение. Были выявлены следующие проблемы, на решение которых должны быть направлены дальнейшие организационные шаги: высокая доля несоответствия типа запроса истинной клинической картине, отсроченные обращения за консультацией, длительность медицинской эвакуации и вопросы ее организации.

Ключевые слова: телемедицина, дети, травмы опорно-двигательной системы, медицинская эвакуация, экстренная помощь, травмацентр, медицина катастроф.

 **Для цитирования:** Зорин В.И., Лукьянов С.А. Анализ телемедицинских консультаций детям с повреждениями опорно-двигательного аппарата по данным НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):86-93. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11175>.

 Лукьянов Сергей Андреевич; e-mail: Sergey.lukyanov95@yandex.ru

Рукопись получена: 18.05.2023. Рукопись одобрена: 17.08.2023. Статья опубликована онлайн: 01.09.2023.

© Зорин В.И., Лукьянов С.А., 2023

BACKGROUND

According to data from the WHO and EuroSafe (European Association for Injury Prevention and Safety Promotion), injuries constitute the leading cause of death and disability among patients aged 1 to 19 years^{1,2,3}.

As early as the 1990s, predictions were made that traumatic injuries, particularly those caused by road traffic accidents, would become the main cause of child mortality by 2020, surpassing mortality from infectious diseases³. This epidemiological shift reflects the progress achieved in preventing and treating pediatric infections, as well as the absence of highly effective programs focused on trauma prevention and treatment. Some studies reveal that residents of sparsely populated regions face risks of both traumatic injuries and high mortality due to trauma, often resulting from insufficient access to medical care. This issue is not specific to the Russian Federation alone.

Research indicates that treatment outcomes for trauma patients, especially children, are significantly better when conducted promptly in specialized centers equipped with trained personnel and modern resources. Due to socioeconomic constraints, this provision is challenging in remote regions. Compared to patients injured in urban areas, patients from rural areas have fewer chances of receiving treatment at trauma centers, and their risk of fatality is twice as high [5, 6, 7, 8].

Possible reasons for patients with traumatic injuries not promptly accessing appropriate specialized care include delays in notifying or transporting emergency medical services, significant distances between the injury site and the nearest trauma center, difficulties in determining treatment strategies by regional medical professionals, patients' preference to stay close to their families, and several other factors [5, 9]. Limited human and technological resources can lead to delays in diagnosis and necessary treatment, misguided tactics, and an increase in inter-institutional transfers before a patient is eventually admitted to a specialized department [10].

In recent years, one of the potential solutions to address some of these issues has been the widespread adoption of real-time telemedicine consultations (TMC) or consultations within regulated time frames. This approach aims to enhance the quality of trauma care [11, 12, 13].

Therefore, the question of digital consultative interaction between institutions of different levels that provide emergency and urgent care, particularly for pediatric trauma patients, taking into account the geographical features of the Russian Federation, is extremely relevant.

Aim of the study is to analyze the outcomes of urgent and emergent telemedicine consultations and subsequent hospitalizations based on telemedicine consultations for children with musculoskeletal injuries.

METHODS

Study design:

the study employed a retrospective, single-center design with a retrospective depth spanning from 2022 to 2020.

In accordance with the Russian Ministry of Health Order No. 965n "On the Approval of the Procedure for the Organization and Provision of Medical Assistance Using Telemedicine Technologies," a telemedicine system for remote consultations at federal and regional levels was established in the Russian Federation (<http://tmk.minzdrav.gov.ru/>). The order outlined three forms of telemedicine consultations (TMC):

- Emergency form: for sudden acute illnesses, conditions, exacerbation of chronic illnesses posing a threat to the patient's life. Response time: 30–120 minutes from the time of the request.
- Urgent form: for acute conditions, exacerbation of chronic illnesses without evident life-threatening signs. Response time: 3–24 hours from the time of the request.
- Planned form: for preventive measures, diseases and conditions not accompanied by a threat to the patient's life, not requiring emergency or urgent medical care. Initiating TMC according to this normative document is the responsibility of the attending physician.

¹ Child Safety Report Card 2009: Europe Summary for 24 Countries. Published online 2009. https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20101212/20101212_d1-00_oth_en_ps.pdf. Accessed January 15, 2023.

² CDC Injury fact book. Published online 2006. Available from: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/11438>. Accessed January 15, 2023.

³ The Global burden of disease : a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020 : summary / ed. by Ch.J.L. Murray, A.D. Lopez. Available from: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/418643>.

Since 2020, the Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery has been participating in consultative activities through the aforementioned system.

A comprehensive analysis of requests in the telemedicine system for remote consultations at federal and regional levels was conducted, followed by a selection based on the following inclusion criteria:

- Diagnosis according to ICD-10 nomenclature corresponding to class XIX: injuries, poisonings, and certain other consequences of external causes (S00-T98).
- Pediatric age (up to 18 years).
- Consultation profile: "pediatric traumatology and orthopedics."
- Type of request: planned, urgent, emergency.
- Availability of complete information for consultation (medical documentation, radiological archive).

Furthermore, when evaluating requests in the system, attention was given to the region, the correspondence of the urgency of the request to the patient's diagnosis, the localization of injuries, an assessment of the severity using the Injury Severity Score (ISS) at the time of trauma, and the time intervals from injury to request formation and transfer to the Federal Center.

Statistical analysis

The obtained data were analyzed using StatTech v. 3.1.6 software (StatTech, Russia) and Microsoft Excel. Categorical variables were described with absolute values and percentages. Comparison of groups based on quantitative variables was performed using the Mann-Whitney U test. Comparison of percentage distributions in the analysis of multinomial contingency tables was conducted using Pearson's χ^2 test.

RESULTS

During the period of 2020–2022, a total of 3745 requests for TMC were received, including 572 urgent and emergent requests (Table 1).

Upon analyzing the number of TMC requests by year, a cumulative threefold increase was observed over the span of three years, including a twofold increase in urgent and emergent conditions. It's worth noting that while the total number of requests continued to rise in 2022, the

count of urgent and emergent requests slightly decreased. However, an analysis of this category of requests revealed a substantial frequency of mismatch between the content of the request and its urgency category. The regression of this mismatch was observed in 2022.

Requests not matching the urgency category pertained to planned conditions related to long-standing orthopedic pathologies of the musculoskeletal system without signs of acute progression or significant deterioration in the patient's condition.

The structure of TMC requests, matching the urgency criteria, based on the location of the injury is presented in Table 2.

Table 1
Structure of telemedicine consultation requests in 2020-2022

Type of consultation request	2020	2021	2022
Planned	465	999	1709
Urgent mismatch to request type, n / %	56 22/39.3	162 74/45.6	133 39/29.3
Emergent mismatch to request type, n / %	48 21/43.8	90 45/50	83 25/30.1
Total TMC including urgent + emergent	569 18.3%	1251 20.1%	1925 11.2%

Table 2
Structure of requests based on injury localization in patients with trauma

Injury localization	Number of patients, n (%)
Multiple and combined injuries	65 (18.7)
Maxillofacial trauma	6 (1.8)
Extremity injuries	199 (57.6)
Pelvic injuries	17 (4.9)
Spinal injuries	59 (17.0)

The geography of regional specialist consultations with the labels of urgent and emergent requests (351 and 221, respectively) covered 78 regions. Notably, a significant number of requests came from relatively sparsely populated regions. Table 3 provides the regions of the Russian Federation from which the highest number of urgent and emergent TMC requests were received.

The structure of request causes encompassed combined and multiple injuries as well as isolated injuries.

Table 3

Russian regions with the highest number of telemedicine consultation requests in "urgent" and "emergent" categories

Region	Number of requests
Kamchatka krai	36
Kursk region	25
Yamalo-Nenets autonomous okrug	23
Lipetsk region	20
Chechen republic	18
Kaliningrad region	18
Voronezh region	17
Republic of Bashkortostan	14
Krasnodar krai	14
Penza region	13

Starting from 2021, the Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery established a service for providing assistance to children and adolescents with musculoskeletal injuries requiring high-tech medical care, as well as consultative support for regional specialists on various types of musculoskeletal injuries, operating around the clock daily. Based on the results of urgent and emergent telemedicine consultations during the period of 2021–2022, 78 patients were hospitalized at the center (46 in 2021, 32 in 2022). The average age of the patients was 13.2 years (min 4, max 17). For patients with combined injuries (36 children), an evaluation using the ISS scale was

performed, with an average score of 31 (min 9, max 57). Additionally, the hospitalized patients' types of trauma were analyzed (Figure 1). Cases of attempted suicide among children and adolescents were categorized as domestic injuries. Statistical analysis revealed a significant difference between patients with isolated and combined injuries ($p = 0.019$) — domestic injuries, primarily suicide attempts (self-inflicted injuries), were more prevalent among patients with combined injuries.

The structure of injuries based on their localization among patients admitted to the Center as a result of TMC is presented in Table 4.

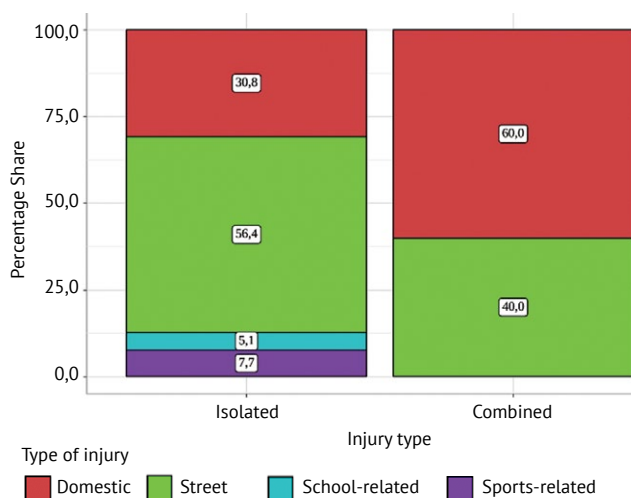


Fig. 1. Analysis of injury type in patients with isolated and combined injuries admitted to the Center.

Table 4

Structure of injuries in patients hospitalized at the center

Injury localization	Number of patients, n (%)
Multiple and combined injuries	28 (36)
Maxillofacial trauma	3 (4)
Chest injuries	1 (1)
Pelvic injuries	5 (7)
Spinal injuries	15 (19)
Extremity injuries	26 (33)

The average time between the occurrence of trauma and urgent or emergent TMC requests was 6.7 days (min 1, max 45; Q1–Q3 = 1–8). Notably, the average time for TMC requests related to isolated injuries was 5.5 days (min 1, max 45; Q1–Q3 = 2–5), while for multiple and combined injuries, it was 7.8 days (min 1, max 38; Q1–Q3 = 1–10). Although statistical analysis did not reveal significant differences in TMC request times between patients with isolated and combined injuries ($p = 0.624$), there was a noteworthy dissociation between the complexity of the clinical situation and the timing of the consultation request, including the determination of the rational patient management approach.

The average time between trauma and admission to the Center was 10.3 days (min 1, max 58; Q1–Q3 = 2–12). Out of the 78 patients, 42 (54.4%) were medically evacuated by local medical organizations. For the remaining 36 patients (45.6%), transportation was organized by relatives, with the delivery distance exceeding 500 km in 23 cases. A comparative analysis of admission times to the Center between patients with isolated and combined injuries did not reveal significant differences ($p = 0.976$) (Figure 2). This could possibly indicate organizational factors that may override or outweigh clinical considerations.

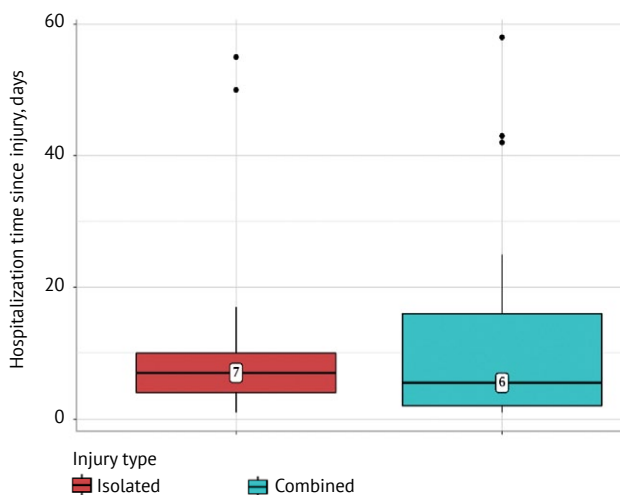


Fig. 2. Time interval between injury and admission to the Center clinic

DISCUSSION

Over a span of three years, more than 3000 TMC (Telemedicine Consultation) requests were received, and their numbers continue to rise. These data provide insight into the demand for the system within regional institutions specializing in "pediatric traumatology and orthopedics." This mode of operation is relatively novel. This might account for the significant number of false urgent and emergent TMC requests. Additional potential reasons could include the regional specialists' desire to obtain conclusions in the shortest possible time, even for planned pathological conditions, or their lack of awareness about the operational protocols of the telemedicine system. With the passage of time, this operation is gradually being streamlined, but their incidence remains substantial – around 30%.

The geography of urgent and emergent consultations covered virtually the entire country (78 regions). The Kamchatka Krai emerges as the leader in urgent and emergent TMC requests, likely due to several factors such as demographic (low population density), workforce availability, geographical isolation from other regions, and the absence of direct overland communication.

In the analysis of patients admitted to the center based on TMC results, the significance of this format for patients with multiple and combined injuries, constituting half of the hospitalized cases, was established.

Attention is drawn to the prolonged time intervals for generating requests from the moment of trauma, which, in our perspective, do not significantly correlate with the severity and complexity of the injuries. This aspect holds importance in the treatment of skeletal injuries in children, where early surgical intervention is optimal before active consolidation processes occur in a malposition, thus increasing the trauma associated with surgical procedures.

Data indicate the absence of significant differences in the hospitalization periods between patients with combined and isolated injuries. For certain injuries (complicated spinal, pelvic, and sacral injuries), delayed surgical treatment is less effective and less safe in terms of the risks of various complications.

Based on the data obtained, no objective reasons explaining the extended time frames for seeking consultation were identified. It seems logical that complex clinical situations would require early collective discussions. However, the average time for generating requests for children with injuries, according to our data, was 6.7 days. Presumably, this question of transferring to a specialized center for surgical treatment arises as the patient's condition stabilizes. In our opinion, an optimal model for resolving tactical and clinical issues within a unified system is preferable, implemented in a timely manner rather than sequentially, which overall prolongs the timeframe for providing assistance.

According to specialists experience reflected in scientific research, the application of telemedicine technologies facilitating rapid interaction between regional institutions and clinical specialized trauma centers helps reduce the number of transfers between institutions, the overall duration of hospitalization, and the number of non-essential diagnostic procedures [13,14]. Furthermore, unwarranted delays in transfer significantly deteriorate treatment outcomes [15, 16]. Considering the obtained data and literature findings, the enhancement of TMC services for urgent and emergent conditions should be pursued jointly with the development of regulated routing algorithms and patient transportation between institutions, ultimately forming a coordinated system for providing assistance to patients with trauma, considering the geographic conditions of the region and the country as a whole [14, 17, 18].

In summary, the implementation of the TMC system in the domain of "pediatric traumatology and orthopedics," as evidenced by the analysis, has demonstrated its demand, progressively increasing quantitatively from year to year. It has facilitated prompt interaction between specialized centers and all regional institutions across the country. Nonetheless, certain pertinent issues have emerged:

Improving the quality of formulated consultative requests (matching the category, providing a comprehensive amount of information: radiographic archive, medical documentation).

Extended time frames for generating requests for injuries requiring high-tech treatment, including within specialized centers.

The problem of organizing transportation and medical evacuation of patients to a specialized center is identified as the ultimate element of consultation effectiveness.

CONCLUSION

The telemedicine consultation system, as proven by practical experience, is a widely sought-after and effective element of operational collaboration between federal and regional institutions in providing assistance to children with musculoskeletal pathologies. This aspect is particularly crucial considering Russia's vast geography and overall plays a positive role in enhancing the efficiency and quality of specialized urgent assistance, including high-tech assistance, to the pediatric population in the domain of "traumatology and orthopedics." The analysis conducted has outlined certain challenges related to the quality of requests, the timing of their submission, and the process of patient transfer and transportation. Evidently, these matters lie within the interests and responsibilities of the professional community and are also within the realm of organizational decisions, including at the interdepartmental level.

DISCLAIMERS

Author contribution

Zorin V.I. — study concept and design, data collection and processing, writing and drafting the article.

Lukyanov S.A. — literature search and analysis, data collection and processing, writing the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

REFERENCES

1. Peek-Asa C., Zwerling C., Stallones L. Acute traumatic injuries in rural populations. *Am J Public Health*. 2004;94(10):1689-1693. doi: 10.2105/ajph.94.10.1689.
2. Leff M., Stallones L., Keefe T.J., Rosenblatt R., Reeds M. Comparison of urban and rural non-fatal injury: the results of a statewide survey. *Inj Prev*. 2003;9(4):332-337. doi: 10.1136/ip.9.4.332.
3. Tiesman H., Zwerling C., Peek-Asa C., Sprince N., Cavanaugh J.E. Non-fatal injuries among urban and rural residents: the National Health Interview Survey, 1997-2001. *Inj Prev*. 2007;13(2):115-119. doi: 10.1136/ip.2006.013201.
4. Rogers F.B., Ricci M., Caputo M., Shackford S., Sartorelli K., Callas P. et al. The use of telemedicine for real-time video consultation between trauma center and community hospital in a rural setting improves early trauma care: preliminary results. *J Trauma*. 2001;51(6):1037-1041. doi: 10.1097/00005373-200112000-00002.
5. Fleet R., Bussi eres S., Tounkara F.K., Turcotte S., L egar e F., Plant J. et al. Rural versus urban academic hospital mortality following stroke in Canada. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191151. doi: 10.1371/journal.pone.0191151.
6. Lapointe L., Lavallee-Bourget M.H., Pichard-Jolicoeur A., Turgeon-Pelchat C., Fleet R. Impact of telemedicine on diagnosis, clinical management and outcomes in rural trauma patients: A rapid review. *Can J Rural Med*. 2020;25(1):31-40. doi: 10.4103/CJRM.CJRM_8_19.
7. Pai P.K., Klinkner D.B. Pediatric trauma in the rural and low resourced communities. *Semin Pediatr Surg*. 2022;31(5):151222. doi: 10.1016/j.sempedsurg.2022.151222.
8. Kohler J.E., Falcone R.A. Jr., Fallat M.E. Rural health, telemedicine and access for pediatric surgery. *Curr Opin Pediatr*. 2019;31(3):391-398. doi: 10.1097/MOP.0000000000000763.
9. Newgard C.D., Fu R., Bulger E., Hedges J.R., Mann N.C., Wright D.A. et al. Evaluation of Rural vs Urban Trauma Patients Served by 9-1-1 Emergency Medical Services. *JAMA Surg*. 2017;152(1):11-18. doi: 10.1001/jamasurg.2016.3329.
10. Bergeron C., Fleet R., Tounkara F.K., Lavall e-Bourget I., Turgeon-Pelchat C. Lack of CT scanner in a rural emergency department increases inter-facility transfers: a pilot study. *BMC Res Notes*. 2017;10(1):772. doi: 10.1186/s13104-017-3071-1.
11. Mohr N.M., Vakkalanka J.P., Harland K.K., Bell A., Skow B., Shane D.M., Ward M.M. Telemedicine Use Decreases Rural Emergency Department Length of Stay for Transferred North Dakota Trauma Patients. *Telemed J E Health*. 2018;24(3):194-202. doi: 10.1089/tmj.2017.0083.
12. Wibbenmeyer L., Kluesner K., Wu H., Eid A., Heard J., Mann B. et al. Video-Enhanced Telemedicine Improves the Care of Acutely Injured Burn Patients in a Rural State. *J Burn Care Res*. 2016;37(6):e531-e538. doi: 10.1097/BCR.0000000000000268.
13. Duchesne J.C., Kyle A., Simmons J., Islam S., Schmiege R.E. Jr., Olivier J. et al. Impact of telemedicine upon rural trauma care. *J Trauma*. 2008;64(1):92-97. doi: 10.1097/TA.0b013e31815dd4c4.
14. Moya M., Valdez J., Yonas H., Alverson D.C. The impact of a telehealth web-based solution on neurosurgery triage and consultation. *Telemed J E Health*. 2010;16(9):945-949. doi: 10.1089/tmj.2010.0044.
15. Uhrenfeldt L., Aagaard H., Hall E.O., Fegran L., Ludvigsen M.S., Meyer G. A qualitative meta-synthesis of patients' experiences of intra- and inter-hospital transitions. *J Adv Nurs*. 2013;69(8):1678-1690. doi: 10.1111/jan.12134.
16. Ward M.M., Jaana M., Natafqi N. Systematic review of telemedicine applications in emergency rooms. *Int J Med Inform*. 2015;84(9):601-616. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2015.05.009.
17. Mohr N.M., Harland K.K., Chrischilles E.A., Bell A., Shane D.M., Ward M.M. Emergency Department Telemedicine Is Used for More Severely Injured Rural Trauma Patients, but Does Not Decrease Transfer: A Cohort Study. *Acad Emerg Med*. 2017;24(2):177-185. doi: 10.1111/acem.13120.
18. Sorensen M.J., von Recklinghausen F.M., Fulton G., Burchard K.W. Secondary overtriage: the burden of unnecessary interfacility transfers in a rural trauma system. *JAMA Surg*. 2013;148(8):763-768. doi: 10.1001/jamasurg.2013.2132.

Authors' information

✉ Sergey A. Lukyanov

Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8278-7032>

e-mail: Sergey.lukyanov95@yandex.ru

Vyacheslav I. Zorin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>

e-mail: zoringlu@yandex.ru



Human Immunodeficiency Virus in the Focus of Bone Tissue Destruction in Patients With Aseptic Osteonecrosis of the Femoral Head: Two Case Reports

Evgeny O. Peretsmanas, Tatiana E. Tyulkova, Vladimir S. Zubikov, Ilya A. Gerasimov, Grigory D. Kaminsky

National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Osteonecrosis of the femoral head is significantly more common in HIV-positive patients than in the general population. The etiology and pathogenesis of this process are not fully understood. In some studies, suggestions have been made about the possible direct pathological action of the virus on bone tissue cells. No studies dedicated to the identification of the virus directly in the foci of osteonecrosis were found in available literature sources.

The aim of the study – to present the first clinical cases of patients with aseptic osteonecrosis of the femoral head in whom HIV RNA was found in the focus of bone necrosis.

Case presentation. Patients aged 54 and 38 years, suffering from HIV infection, were admitted to the clinic due to aseptic osteonecrosis of the femoral head. For diagnostic purposes, the patients underwent trephine biopsy of the osteonecrosis sites in the femoral head and unaltered bone tissue of the greater trochanter. The biological material was studied using PCR, microbiological, and histological methods. As a result of the PCR study, HIV RNA was detected in the foci of osteonecrosis in the femoral head. In the blood plasma of both patients, viral load was undetectable. In the bone tissue of the greater trochanter in the 54-year-old patient, the viral load was not determined, while in the 38-year-old patient, the viral load in the greater trochanter was significantly lower than in the necrosis focus of the femoral head.

Conclusion. The obtained data may indicate the possibility of direct involvement of the virus in the pathogenesis of arthropathy and cast doubt on the aseptic nature of osteonecrosis in HIV-positive patients.

Keywords: HIV, human immunodeficiency virus, osteonecrosis, aseptic necrosis.

Cite as: Peretsmanas E.O., Tyulkova T.E., Zubikov V.S., Gerasimov I.A., Kaminsky G.D. Human Immunodeficiency Virus in the Focus of Bone Tissue Destruction in Patients With Aseptic Osteonecrosis of the Femoral Head: Two Case Reports. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):94-101. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7989>.

✉ e-mail: peretsmanas58@mail.ru

Submitted: 13.03.2023. Accepted: 24.04.2023. Published Online: 31.07.2023.

© Peretsmanas E.O., Tyulkova T.E., Zubikov V.S., Gerasimov I.A., Kaminsky G.D., 2023

Вирус иммунодефицита человека в очаге деструкции костной ткани при асептическом некрозе головки бедренной кости: клинические наблюдения

Е.О. Перецманас, Т.Е. Тюлькова, В.С. Зубиков, И.А. Герасимов, Г.Д. Каминский

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат


Актуальность. Остеонекроз головки бедренной кости значительно чаще встречается у ВИЧ-больных, чем в общей популяции. Механизм этиологии и патогенеза этого процесса до конца не изучен. В единичных исследованиях высказываются предположения о возможном прямом патологическом действии вируса на клетки костной ткани. Исследования, посвященные нахождению вируса непосредственно в очагах остеонекроза, в доступных литературных источниках не найдены.


Цель — представить первые клинические наблюдения больных с асептическим некрозом головки бедренной кости, протекающим на фоне ВИЧ-инфекции, у которых выявлена РНК ВИЧ в очаге костного некроза.

Описание клинических случаев. Пациенты 54 и 38 лет, больные ВИЧ-инфекцией, госпитализированы в клинику по поводу асептического некроза головки бедренной кости. Пациентам с целью диагностики выполнена трепанобиопсия участков остеонекроза в головке бедренной кости и неизменной костной ткани большого вертела. Биологический материал изучен при помощи ПЦР, микробиологическими и гистологическими методами. В результате ПЦР-исследования в очагах остеонекроза в головке бедренной кости обнаружена РНК вируса иммунодефицита человека. В плазме крови у обоих пациентов — неопределяемая вирусная нагрузка. В костной ткани большого вертела у пациента 54 лет вирусная нагрузка не определена, у пациента 38 лет вирусная нагрузка в большом вертеле была значительно ниже, чем в очаге остеонекроза головки бедренной кости.

Заключение. Полученные данные могут свидетельствовать о возможности прямого участия вируса в патогенезе артропатии и ставят под сомнение асептическую природу остеонекроза у больных ВИЧ-инфекцией.

Ключевые слова: ВИЧ, вирус иммунодефицита человека, остеонекроз, асептический некроз.

 **Для цитирования:** Перецманас Е.О., Тюлькова Т.Е., Зубиков В.С., Герасимов И.А., Каминский Г.Д. Вирус иммунодефицита человека в очаге деструкции костной ткани при асептическом некрозе головки бедренной кости: клинические наблюдения. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):94-101. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7989>.

 **Евгений Оркович Перецманас;** e-mail: peretsmanas58@mail.ru

Рукопись получена: 13.03.2023. Рукопись одобрена: 24.04.2023. Статья опубликована онлайн: 31.07.2023.

© Перецманас Е.О., Тюлькова Т.Е., Зубиков В.С., Герасимов И.А., Каминский Г.Д., 2023

BACKGROUND

Aseptic necrosis, or osteonecrosis, is a condition characterized by ischemic death of subchondral bone due to disruption of arterial blood supply [1]. According to various sources, the incidence of aseptic necrosis among HIV-infected patients is 2.5 to more than 100 times higher than in the general population [2, 3]. The most common location of aseptic necrosis in patients infected with the human immunodeficiency virus (HIV) is the femoral heads [4, 5, 6]. Osteonecrosis of the femoral head in HIV-infected individuals was first registered in 1990 [7]. Recent publications report that aseptic necrosis of the femoral head is the most common cause of disease among HIV-infected individuals [3, 8].

Many assumptions have been made about the etiology and pathogenesis of aseptic necrosis in HIV patients. Factors contributing to the development of necrosis in chronic viral infection include necrotizing vasculitis and hyperlipidemia [3]. Some authors consider antiretroviral therapy (ART), especially protease inhibitors, to be the main link in the pathogenesis [9]. However, reports of aseptic necrosis in this category of patients were registered even before the era of ART (antiretroviral therapy), necessitating the search for other causal factors [2].

The cited studies dictate the need to continue studying the role of the human immunodeficiency virus in the etiology and pathogenesis of necrosis of the femoral head in HIV patients in clinical practice.

The aim of the study is to demonstrate clinical cases of patients with aseptic necrosis of the femoral head, occurring against the background of HIV infection, in whom HIV RNA was found in the focus of bone necrosis.

METHODS

The subject of the study is patients admitted to the bone and joint pathology department of the National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases with the referral diagnosis of "aseptic necrosis of the femoral head, associated with HIV infection". Data from PCR, microbiological, and histological diagnostics of biological material from destruction foci in the femoral head were analyzed, as

well as PCR diagnostics data of biological material from the greater trochanter obtained during trephine biopsy.

To determine HIV RNA from the obtained biomaterial, a commercial kit "Extraction 100" (Vector-Best, Russia) was used in accordance with the manufacturer's instructions. Quantitative determination of viral RNA was carried out by PCR-RV method using a commercial kit "Realbest RNA HIV quantitative" (Vector-Best, Russia). Microbiological examination for Mycobacterium tuberculosis (MTB), nonspecific flora and fungi was performed according to standard methods. A parallel histomorphological study of samples from the same bone destruction foci was carried out. Upon admission to the hospital, data from medical history were examined, a clinical examination was performed with a description of the local status, radiological and laboratory studies were conducted.

Clinical case 1

A 54-year-old patient presented with complaints of pain in the left hip joint that worsened sharply during movements. The pain had been present since March 2021 after a fracture of the left femoral neck, which was treated with internal fixation. The patient had limited weight-bearing on the joint (used crutches) for 8 months. After radiologically confirmed fracture union, the patient resumed full weight-bearing, but in February 2022, he noticed an increase in pain. In August 2022, MRI revealed a diagnosis of post-traumatic aseptic necrosis of the left femoral head. HIV infection was diagnosed in 2016, transmitted through intravenous drug use. The patient had been on a consistent antiretroviral therapy (ART) regimen, including etravirine, lamivudine, and phosphazide, since the diagnosis of HIV. Throughout the years of follow-up, undetectable viral load was registered. In the same year, the patient was diagnosed with pulmonary tuberculosis and received chemotherapy for two years. In April 2018, the patient underwent thoracoplastic osteoplasty. He was discharged from medical supervision in 2019. The patient was admitted to the National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases in September 2022 due to increasing pain in the left hip joint.

On admission, the local status revealed a pain syndrome (6 points according the VAS) aggravated by active and passive movements. The patient used a crutch for walking and exhibited significant limping. There was a relative shortening of the left lower limb by 2 cm. No redness or swelling was observed in the left hip joint area, and local temperature was not elevated. Thigh muscle atrophy was present, measuring 3 cm compared to the contralateral side. The patient reported temporary relief from non-steroidal anti-inflammatory drugs. X-rays, CT, and MRI showed signs of stage 3B (late) aseptic necrosis of the left femoral head according to the ARCO classification (Fig. 1, 2).

Biochemical and complete blood count results were within the reference values. CD4 count upon admission was 1747 cells/ μ L, and the viral load in the blood was undetectable. ART was continued.

Under fluoroscopic control, the patient underwent diagnostic trepanobiopsy of the presumed necrotic focus in the left femoral head and a control biopsy from the greater trochanter area. Pathological examination of the biopsy material from the femoral head described a zone of bone tissue necrosis, lysis of bone trabeculae, signs of diffuse lymphocytic infiltration, and moderate edema. Focally, bone trabeculae with signs of resorption and diffuse lymphohistiocytic infiltration were observed. No signs of granulomatous inflammation were detected (Fig. 3).

PCR analysis of the material from the femoral head identified HIV RNA at 7900 copies per mL, while no viral load was detected in the control material from the greater trochanter. Microbiological examination (cultures on nutrient media) did not reveal any pathogenic flora.



Fig. 1. Clinical case 1. X-ray of the pelvis in frontal projection: osteonecrosis of the left femoral head — stage 3B (late) according to the ARCO classification

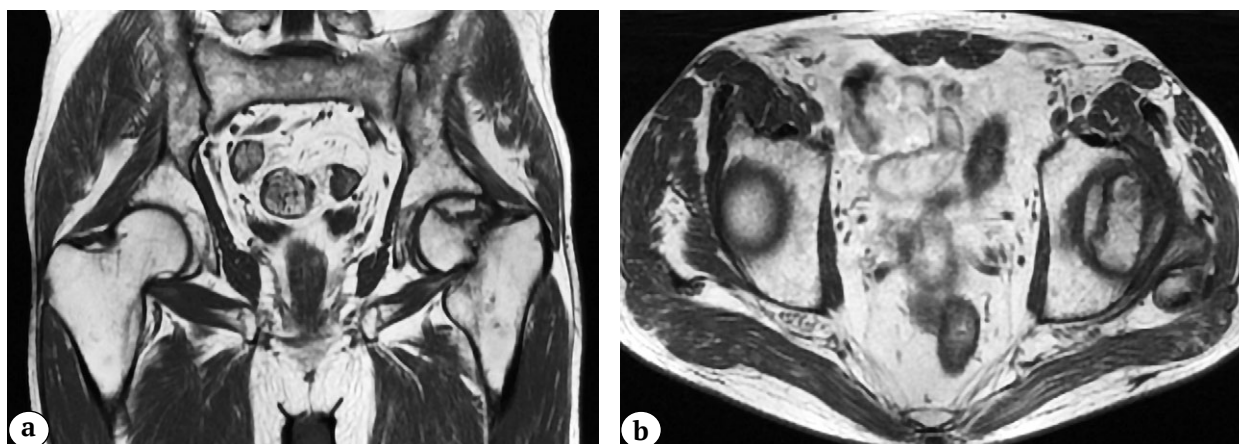


Fig. 2. Clinical case 1. MRI in frontal (a) and axial (b) projections: osteonecrosis of the left femoral head — stage 3B (late) according to the ARCO classification

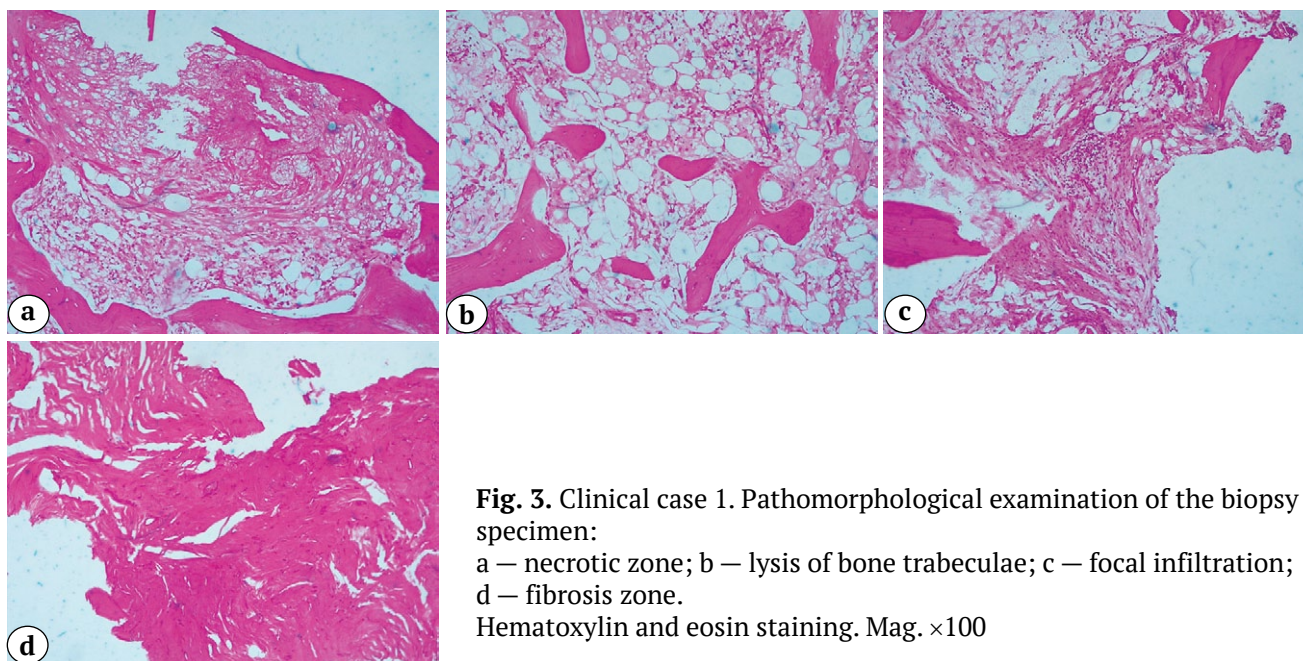


Fig. 3. Clinical case 1. Pathomorphological examination of the biopsy specimen:
a — necrotic zone; b — lysis of bone trabeculae; c — focal infiltration;
d — fibrosis zone.
Hematoxylin and eosin staining. Mag. $\times 100$

Therefore, in a patient with HIV infection suffering from post-traumatic aseptic necrosis of the left femoral head while receiving antiretroviral therapy and having undetectable viral load in the blood, HIV RNA was detected in the bone necrotic focus in the femoral head.

Clinical case 2

A 38-year-old patient presents with complaints of constant pain in both hip joints, more severe on the right side. The patient has considered himself unwell since 2019. He was treated conservatively by a neurologist in his area of residence with a diagnosis of "spinal osteochondrosis," but to no avail. For arthralgia, he sought medical attention again only at the beginning of 2022. Radiographic examination led to a diagnosis of "aseptic necrosis of the femoral head." He was referred to the National Medical Research Center for Phthisiopulmonology and Infectious Diseases hospital for planned hip arthroplasty.

HIV infection was detected in 2005. The patient has been receiving antiretroviral therapy (ART) since 2011, with a regimen of lamivudine, abacavir, and lopinavir/ritonavir. According to the patient, the infection occurred through sexual transmission. HIV RNA was not detected in the blood during the observation period. In 2016, the patient was hospitalized and treated for "Pneumocystis pneumonia and esophageal can-

didiasis." During the hospitalization, disseminated pulmonary tuberculosis was discovered. The patient was treated in hospital for eight months, but did not continue outpatient treatment, although he was observed at the tuberculosis dispensary in his place of residence. He was examined at the tuberculosis dispensary in July 2022. Sputum culture results from 06.07.22 did not reveal mycobacterium tuberculosis growth, and the tuberculin skin test was negative. A CT scan of the chest from 13.07.22 showed no pathological changes. Conclusion: clinical recovery from disseminated pulmonary tuberculosis. Other comorbidities: chronic pancreatitis, gastroduodenitis, pyelonephritis. Unhealthy habits: has smoked since the age of 12, currently up to one and a half packs of cigarettes per day.

Upon admission, there were no visual signs of swelling or redness of the skin in the area of the hip joints. On palpation, there was local and axial tenderness in the projection of the right femoral head. The range of motion in the right hip joint was limited — external abduction 10° . Pain on the VAS was 5-6 points. The left hip joint was painless, with a full range of motion. There was a shortening of the right lower extremity by 2.0 cm. X-rays and CT scans showed signs of bilateral aseptic necrosis of the femoral heads, more pronounced on the right — stage 3B-4 according to ARCO (Fig. 4, 5). In blood tests, the ESR was ac-

celerated to 58 mm/hr., other results were within reference values.

Immune status CD4 from 23.05.2022: 23% - 627 cells/ μ L, HIV RNA was not detected in the blood.

Infectious disease specialist's conclusion: HIV infection, stage 4B, remission phase with ART.



Fig. 4. Clinical case 2. CT scan of the pelvis, axial reconstruction – bilateral osteonecrosis of the femoral heads: right – stage 3B (late) according to ARCO, left – stage 3A (early) according to ARCO



Fig. 5. Clinical case 2. X-ray in frontal projection – bilateral aseptic osteonecrosis of the femoral heads: right – stage 3B (late) according to ARCO

Under fluoroscopic control, the patient underwent diagnostic trepanobiopsy of the presumed necrotic lesions in the left femoral head and a control trepanobiopsy from the greater trochanter area. Pathological examination of the biopsy material from the femoral head revealed bone trabeculae with signs of resorption and diffuse lymphohistiocytic infiltration, along with focal fibrosis. There were no signs of granulomatous inflam-

mation. PCR testing of the femoral head biopsy material detected HIV RNA at a concentration of 22,000 copies/mL, while the control material from the greater trochanter had a lower concentration of 9,400 copies/mL. According to PCR and cultural analysis (cultures on nutrient media), no pathogenic flora was detected.

In the presented clinical case, HIV RNA was detected in the bone biopsies from the necrotic lesions in both femoral heads of HIV-positive patients undergoing antiretroviral therapy, despite undetectable viral load in the blood. The concentration of HIV RNA in the femoral head lesions was significantly higher in one patient compared to the other. Considering the fact that viral load was undetectable in the blood of both patients at the time of hospitalization, the presence of HIV RNA in the necrotic lesions may indirectly indicate the involvement of HIV in the development of local destructive processes in the hip joints.

DISCUSSION

Currently, there is increasing attention to orthopedic problems in HIV-infected patients. However, there is a lack of clear understanding regarding the etiology and pathogenesis of necrotic processes involving the joint-forming bone structures, including the commonly observed femoral head necrosis in these patients.

The majority of patients are admitted to hospitals with a diagnosis of "aseptic (avascular) necrosis" established solely based on radiographic findings. Without in-depth etiological diagnostics, these patients undergo standard procedures for joint replacement. However, some authors have noted a higher incidence of suppurative complications and revision surgeries in HIV-infected patients with this pathology compared to the general population [1, 3, 5, 10, 11]. The lipid metabolism disorders and decreased bone mineral density referenced by authors do not always fully correlate with the occurrence of complications [1, 3, 5].

Since R.H. Withrington and colleagues reported the isolation of HIV from synovial fluid in a patient with HIV-associated oligoarthritis in 1987 [12], there have been grounds to suspect a direct inflammatory effect of the immunodeficiency virus on the bone-joint system. S.L. Lamers et al. reported in 2016 that HIV DNA is often present in pathological tissues obtained

during autopsies of patients with undetectable viral loads who received combined antiretroviral therapy [13], indirectly confirming the possibility of viral deposition in bone tissue.

New evidence supporting the hypothesis of direct inflammatory effects of HIV on the bone-joint system includes the detection of p24 antigen, HIV DNA, and tuboreticular inclusions in the synovial fluid of affected joints [13], which may indicate a viral etiology of inflammation. Notably, p24 antigen was found in joints at levels ten times higher than in serum [10]. B. Raynaud-Messina et al. provided the first experimental evidence in 2018 that osteoclasts serve as a reservoir for HIV. Their studies on laboratory animals demonstrated the direct destructive effects of HIV-1 on the structure and function of osteoclasts [14].

In our observations, HIV RNA was detected in the bone tissue of both patients with HIV infection and bone destruction lesions. During the same period, viral load in the blood and control biopsy from the greater trochanter either could not be detected or was significantly lower. This selective deposition of the virus in the site of destruction suggests a direct viral impact on the inflammatory mechanism, which is consistent with the views of some authors [11, 15].

The assumption of direct contact between the immunodeficiency virus and bone tissue, in our opinion, could provide a new perspective on the problem and help establish diagnostic and treatment algorithms. With proven viral "deposition" in the necrotic zone, it is evident that we should consider it as viral arthritis and adopt appropriate treatment strategies, potentially including two-stage joint replacement techniques. The facts we have presented regarding the detection of HIV RNA directly in the area of bone necrosis, due to the small sample size, do not allow for definitive conclusions about the frequency of intra-articular viral localization. However, they advocate for further investigation of the spectrum of infectious agents using preoperative invasive methods in HIV-infected patients.

CONCLUSION

The observations conducted in this study demonstrated the presence of HIV RNA in the bone destruction lesions of patients with HIV infection and aseptic necrosis of the femoral head, de-

spite the absence or significant decrease of the virus in anatomically adjacent bone structures (greater trochanter) and undetectable viral load in the blood. This suggests the influence of the immunodeficiency virus on the development of local inflammatory processes in the joint, which, in turn, may affect the outcomes of joint replacement surgery. The findings of this study emphasize the need for further research on the role of HIV in the etiology and pathogenesis of various musculoskeletal disorders in HIV-infected patients in clinical practice.

It should be noted that the presence of HIV in the affected bone area poses certain risks for the surgical team during surgical interventions, despite the undetectable viral load in the blood.

DISCLAIMERS

Author contribution

Peretsmanas E.O. — study concept and design, data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Tyulkova T.E. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Zubikov V.S. — data collection and processing, drafting the article

Gerasimov I.A. — data collection and processing, literature search and analysis.

Kaminsky G.D. — study concept and design, data analysis and interpretation.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases, protocol No 17, 25.08.2022.

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

Authors' information

✉ *Evgeny O. Peretsmanas* — Dr. Sci. (Med.)
Address: 4, st. Dostoevsky, Moscow, 127473, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7140-3200>
e-mail: peretsmanas58@mail.ru

Tatiana E. Tyulkova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2292-1228>
e-mail: tulkova@urniif.ru

Vladimir S. Zubikov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2211-8400>
e-mail: zubikovvladimir@gmail.com

Ilya A. Gerasimov
<https://orcid.org/0000-0003-4388-155X>
e-mail: gerial36@yandex.ru

Grigory D. Kaminsky — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-3016-6920>
e-mail: kaminskigd@nmrc.ru



Reconstruction of Acetabular and Femoral Bone Defects with Impaction Bone Grafting in Revision Hip Arthroplasty: A Case Report

Vadim N. Golnik¹, Vladimir A. Peleganchuk¹, Yuriy M. Batrak¹, Vitaliy V. Pavlov², Irina A. Kirilova²

¹ Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, Barnaul, Russia

² Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. For many years, the main reasons for revision surgeries after hip arthroplasty remain aseptic loosening and osteolysis, which lead to formation of bone defects of various size and localization. Given the relatively young age of patients undergoing revision, the methods of biological restoration of the bone tissue, such as impaction bone grafting (IBG), are of particular interest.

Aim of the report — to demonstrate the delayed outcome of impaction bone grafting using compacted morselized bone allograft.

Case presentation. Complicated clinical case of a 62-year-old patient with Paprosky type IIA bone deficiency in the acetabulum and Paprosky type II bone defect in the proximal femur with aseptic loosening of the acetabular and femoral components of the hip prosthesis is presented. During revision arthroplasty with cemented components, IBG of the acetabulum and femur was performed with a reconstructive mesh augmentation of the acetabulum using Stryker X-Change technology. Bone allograft prepared with the heat disinfection method served as an osteoplastic material. Follow-up period was 4 years. Control X-rays demonstrate restoration of the center of rotation of the hip, presence of bone masses in the areas of pelvic and femoral bone defects, absence of osteoplastic material resorption and migration of implants during the follow-up period. Clinical assessment shows an improvement of the Harris Hip Score from 34 to 85 points.

Conclusion. Obtained results showed the efficacy of impaction bone grafting with the bone allograft prepared with the use of heat disinfection method in the mid-term period.

Keywords: impaction bone grafting, revision hip arthroplasty, bone defect, bone allograft, osteoplastic material.

Cite as: Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Batrak Yu. M., Pavlov V.V., Kirilova I.A. Reconstruction of Acetabular and Femoral Bone Defects with Impaction Bone Grafting in Revision Hip Arthroplasty: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):102-109. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8008>.

✉ Irina A. Kirilova; e-mail: irinakirilova71@mail.ru

Submitted:08.04.2023. Accepted: 16.05.2023. Published Online: 04.08.2023.

© Golnik V.N., Peleganchuk V.A., Batrak Yu. M., Pavlov V.V., Kirilova I.A., 2023

Замещение дефектов вертлужной впадины и бедренной кости с использованием импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: клинический случай

В.Н. Гольник¹, В.А. Пелеганчук¹, Ю.М. Батрак¹, В.В. Павлов²,
И.А. Кирилова²

¹ ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, г. Барнаул, Россия

² ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

Реферат


Актуальность. Основными причинами ревизионных вмешательств после эндопротезирования тазобедренных суставов в течение многих лет остаются асептическое расшатывание и остеолит, которые приводят к образованию дефектов костной ткани различной протяженности и локализации. С учетом относительно молодого возраста пациентов, подвергающихся ревизии, особый интерес представляют методы биологической реставрации костной ткани, например импакционная костная пластика.

Целью сообщения является демонстрация отсроченного результата импакционной костной пластики при замещении дефектов вертлужной впадины и бедренной кости в ходе ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава.

Описание случая. Представлен сложный клинический случай лечения пациента 62 лет с дефицитом костной ткани в области вертлужной впадины ПА типа по Paprosky и проксимального отдела бедренной кости типа II по Paprosky с асептическим расшатыванием ацетабулярного и бедренного компонентов эндопротеза. В ходе ревизионного эндопротезирования с использованием компонентов эндопротеза цементной фиксации выполнена импакционная костная пластика вертлужной впадины и бедренной кости с аугментацией реконструктивной сеткой наацетабулярного массива по технологии Stryker X-Change. В качестве костнопластического материала использована аллокость, заготовленная с помощью метода термодезинфекции. Срок наблюдения составил 4 года. Контрольные рентгенограммы демонстрируют восстановление центра ротации тазобедренного сустава и костного массива в области дефектов тазовой и бедренной костей, отсутствие резорбции костнопластического материала и миграции эндопротеза. При кинической оценке состояния по шкале Harris отмечено улучшение с 34 до 85 баллов.

Заключение. Среднесрочные результаты показали эффективность импакционной костной пластики с использованием аллокости, заготовленной методом термодезинфекции.

Ключевые слова: импакционная костная пластика, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, костный дефект, аллокость, костнопластический материал.

 **Для цитирования:** Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В., Кирилова И.А. Замещение дефектов вертлужной впадины и бедренной кости с использованием импакционной костной пластики при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):102-109. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8008>.

 Кирилова Ирина Анатольевна; e-mail: irinakirilova71@mail.ru

Рукопись получена: 08.04.2023. Рукопись одобрена: 16.05.2023. Статья опубликована онлайн: 04.08.2023.

© Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Батрак Ю.М., Павлов В.В., Кирилова И.А., 2023

BACKGROUND

The number of revision hip arthroplasties is increasing annually. This type of intervention is characterized by a higher cost compared to primary hip replacement as it requires a large stock of various implants, an appropriate instrumental support, the use of additive technologies, bone grafting, and the need for specialists experienced in revision arthroplasty, which ultimately affects expenses [1, 2]. This trend is typical both for countries with intensive development of primary arthroplasty and those without significant growth. In the former case, despite the low growth rate of revision arthroplasties, the total number of these surgeries is increasing annually [3]. In the latter case, the increase of number of revision interventions is significantly higher than that of primary surgeries [1]. Long-term results of revision surgeries are characterized by a higher complication rate than primary surgeries. Five-year survival rates after various revision surgeries range from 67.0 to 84.8% [4]. Aseptic loosening and osteolysis have been the main causes of revision interventions after hip arthroplasty for many years, leading to bone defect formation of various size and localization [1, 3, 5, 6, 7, 8]. Given the relatively young age of patients undergoing revision, the methods of biological restoration of the bone tissue, such as impaction bone grafting (IBG), are of particular interest [9].

The aim of the report is to demonstrate the delayed outcome of impaction bone grafting using compacted morselized bone allograft.

CASE PRESENTATION

A 62-year-old patient was admitted with complaints of pain in the left hip, significant restriction of movements, shortening of the left leg and lameness.

Status localis. The patient walks on his own using crutches. The distance he is able to walk does not exceed 300 m. Examination revealed a relative shortening of the left lower limb by 2 cm. The Harris hip score is 34 points.

Anamnesis. Left hip replacement with W. Link cemented prosthesis was performed 13 years ago. In the postoperative period there were dislocations of the femoral component, for which a revision surgery with replacement of the pelvic component was performed. Pain in the left hip joint has been disturbing the patient periodically

for 11 years and has been gradually progressing. Restriction of movement and shortening developed. Two years ago, due to severe pain syndrome and prevalent dysfunction, the right hip replacement with SL-Plus/R3 (Smith&Nephew) prosthesis was performed for aseptic necrosis of the femoral head.

Secondary diagnosis. Stage 3 essential hypertension, drug-controlled 1st grade arterial hypertension, cardiovascular risk 4, functional class 2 of the stage 1 CHF. CHD: artificial pacemaker (2017). Transitory atrioventricular block grade 1. Lower extremity varicose vein disease, CVD grade 1, postthrombophlebitic syndrome of the left iliofemoral segment, the right popliteotibial segment, complicated by PATE. Condition after implantation of permanent inferior vena cava filter (2011).

Preoperative X-rays dated 30/07/2018 showed (Fig. 1):

- pelvic prosthetic component loosening, Paprosky type IIA defect [10];
- femoral component loosening and subsidence, Paprosky type II defect of the femur [11];
- varus remodeling of the left femoral intramedullary canal;
- Brooker stage 3 heterotopic ossification of the left hip joint;
- right hip arthroplasty.

In the preoperative period, the left hip arthrocentesis was performed, followed by cytologic and microbiologic studies of synovial fluid aspirate. No data indicating the presence of infectious process in the joint were obtained.



Fig. 1. Plain pelvis X-ray before revision of the left hip (explanation in the text)

On 02.08.2018, the left hip revision arthroplasty using Stryker Exeter prosthesis and IBG of the acetabulum and proximal femur with bone allograft and augmentation of the supraacetabular bone mass with reconstructive mesh were performed.

The approach was performed along the old postoperative scar on the anteroexternal surface of the thigh. The anterior portion of the gluteus medius muscle was isolated, cut off and retracted using instruments. The bone bed and the components of the prosthesis were separated from the scar tissues and bony overgrowths. On revision of the components, the stem and the acetabular component of the prosthesis were completely unstable. The femoral component was exteriorized and removed. The acetabular component was removed without technical difficulties. Tissue examination did not reveal any significant inflammatory changes. The acetabulum and the

femoral intramedullary canal were cleared of scar tissue, granulations, and fibrous membrane. On examination, a segmental defect of the posterior edge of the acetabulum was detected, but in general, the limitation was preserved. The defect was classified as type III according to the AAOS classification [13]. It was repaired using a reconstructive mesh fixed with two screws.

In order to replace the bone defect, bone grafting material from the hospital bone bank was prepared in the form of allogeneic bone chips of 8-10 mm in diameter for the acetabular plasty and 5-6 mm for the femoral IBG (Fig. 2). The size and the quality of bone chips are important for the early mechanical stability of the impacted bone allograft. The particles should be of the largest size that can be impacted between the acetabular bone walls and the impactor.

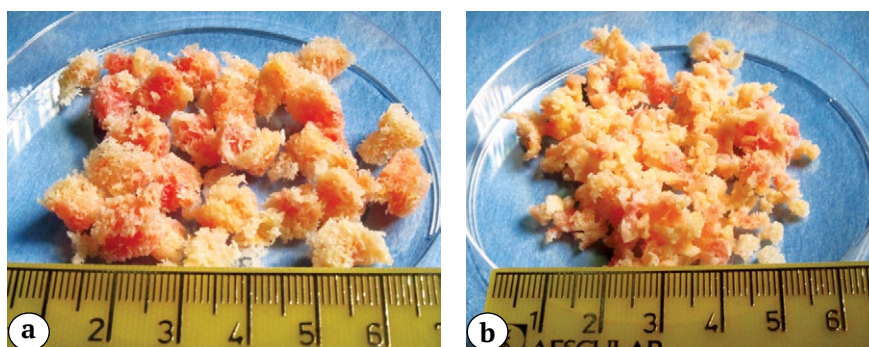


Fig. 2. Production of bone chips: a – for acetabular IBG; b – for femoral IBG prepared with a bone mill

IBG of the acetabulum was performed using Stryker X-Change revision instruments. After cement-based volume restoration, a 58 mm Stryker Contemporary acetabular component was implanted. Using Stryker X-Change revision instruments, impaction grafting of the femur was performed with impactor No. 4 with offset 44. Reduction test with head -4 (32 mm) was performed. Joint stability test showed no dislocation. Stryker Exeter stem was implanted into the prepared cement-based bed. The head -4 (32 mm) was permanently fixed to the neck of the femoral component after cement hardening. Prosthesis was assembled in the wound. Surgical wound was sutured layer by layer, aseptic dressing was applied.

In the control X-ray dated 03.08.2018 after revision arthroplasty, acetabular reconstruction with mesh and IBG and proximal femoral reconstruction with IBG using Stryker Exeter cement stem, the bone grafting material filled the acetabulum evenly (Fig. 3 a). The posterior edge of the acetabulum is augmented with a reconstructive mesh, the femoral component is positioned correctly, parallel to the femoral axis, the osteoplastic material fills the femoral intramedullary canal evenly, with the same intensity in all zones. Radiolucent lines at the osteoplastic material-cement interface are not observed.

In the postoperative period, the patient was ambulated; the 1st stage of rehabilitation was performed. No complications were observed.

* https://www.bizwan.com/_mydoc/stryker/Hip/049%20X-change%20Revision%20Instruments%20Surgical%20Technique%20-%20Femur%20and%20Acetabulum.pdf

The patient was discharged on the 14th day after the surgery with the recommendation of limited weight bearing on the operated limb for 12 weeks.

The results of revision surgery after 4 months and 4 years are shown in Figures 3 b and 3 c, respectively.

On physical examination, the patient has no complaints of pain. There is a slight lameness. The patient moves on his own without any means of support, uses a cane occasionally during long walks, does not experience serious social and everyday restrictions. The HHS is 85 points.

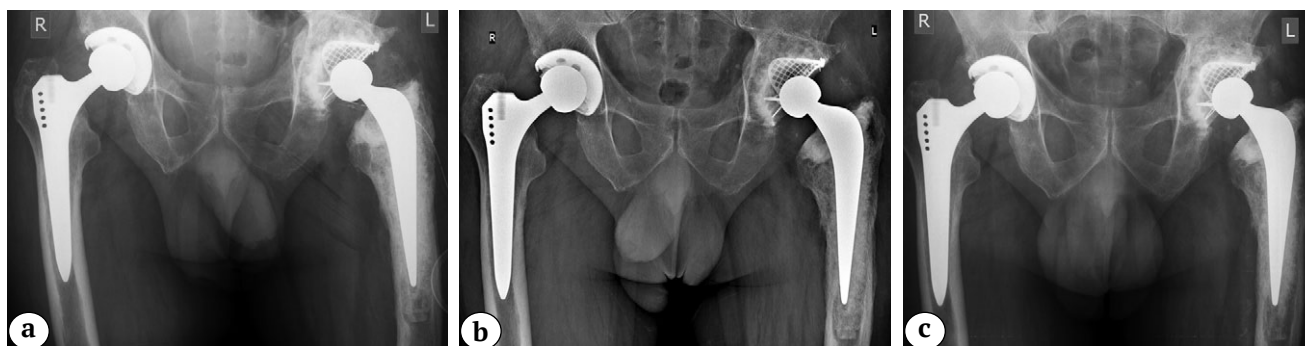


Fig. 3. Plain pelvis X-rays after the left hip revision:

a – control X-ray immediately after the surgery (02.08.2018): even distribution of osteoplastic material, restoration of the center of rotation of the joint;

b – 4 months after the surgery (24.12.2018): position of components remains unchanged, no migration of the acetabular and femoral components is observed, the state of osteoplastic material is satisfactory with no signs of resorption; radiolucent lines at the osteoplastic material-cement interface are absent;

c – 4 years after the surgery (24.10.2022): X-ray signs of restructuring of osteoplastic material in the pelvic and femoral bones, radiolucent lines at the osteoplastic material-cement interface are absent, position of components remains unchanged with no signs of migration or subsidence

DISCUSSION

Various methods are currently available to restore the bone deficit, ranging from filling bone defects with bone cement and application of various modular systems with metal augments to the use of patient-specific 3D constructs [14, 15]. It is very important to minimize bone deficiency, especially in young patients, and to try to restore the bone mass. In fact, only one out of many techniques can partially solve this problem, which is IBG using allogeneic bone [16].

The aim of IBG is to achieve stable fixation of the implant using compaction of the morselized allogeneic bone graft and subsequently to provide conditions for reparative regeneration by gradual replacement of allogeneic bone with the patient's own bone. This is a rather attractive technique that allows one to anticipate bone regeneration both structurally and functionally. On the other hand, it is difficult to balance between achieving primary stable fixation of the implant and a long biological process of allogeneic bone remodeling [17, 18, 19, 20].

The outcome of revision arthroplasty was always worse than that after primary arthroplasty. The smooth endosteal surface remaining after removal of the primary implant does not allow to achieve reliable fixation of the bone cement on the surface, which leads to early loosening of the cemented prosthesis. IBG solves this problem, which is confirmed by long-term results [21, 22, 23, 24].

The use of IBG is possible under certain conditions in a bone wound. First, bone allograft must be retained inside the bone defect; second, it must be structural and able to withstand mechanical load; third, it must create conditions for reliable fixation of the cemented pelvic component of the prosthesis. Creation of such conditions is possible in case of a specific form of the acetabular bone defect – the most important criterion is its limitation. In primary pathology, an example of such defects is the acetabular roof protrusion in cases of systemic connective tissue diseases or posttraumatic defects [22, 25, 26].

A prerequisite for IBG is the integrity of the pelvic support structures: anterior and posterior columns (Paprosky types IIA, IIIB defects). At the same time, cavitary bone defects with minor segmental deficit (AAOS type III) can be transformed into completely limited ones with the help of reconstructive meshes. In this case, the use of IBG is also possible [21, 22].

One of the key points of successful bone defect grafting is the high-quality preparation of osteoplastic material [27, 28, 29]. Studies have shown that bone fragments of 8-10 mm in diameter provide the best initial stability [21, 30]. Another advantage of large particles is that they form a more porous and more permeable compacted bone layer. This is important since reduced porosity can impede the neoosteogenesis in compacted bone masses. In addition, comparison of bone ingrowth in compacted material with non-ideal particle size distribution (non-ideal distribution ensures at each level that voids between larger particles are open and not filled by smaller particles) with ideal particle distribution showed increased bone tissue formation [31, 32].

CONCLUSION

The clinical example of impaction bone grafting using osteoplastic material from the allogeneic femoral head prepared by heat disinfection method shows the possibility of bone restoration in case of defects. Bone grafting efficiency has been shown in the mid-term in a rather uncommon case where it was performed both in the acetabular area and in the proximal femur. Further studies are required to confirm the efficacy of impaction bone grafting in revision hip arthroplasty in case of bone deficiency.

DISCLAIMERS

Author contribution

Golnik V.N. — treatment of patient, study concept and design, data collection and processing, the analysis of data, the drafting of the article.

Peleganchuk V.A. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Batrak Yu.M. — data collection and processing, literature search and analysis, writing the article.

Pavlov V.V. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Kirilova I.A. — the literature search and analysis, the analysis and interpretation of data, the drafting of the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

REFERENCES

- Gwam C.U., Mistry J.B., Mohamed N.S., Thomas M., Bigart K.C., Mont M.A. et al. Current epidemiology of revision total hip arthroplasty in the United States: National Inpatient Sample 2009 to 2013. *J Arthroplasty*. 2017;32(7):2088-2092. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.046.
- Kurtz S.M., Lau E.C., Ong K.L., Adler E.M., Kolisek F.R., Manley M.T. Which clinical and patient factors influence the national economic burden of hospital readmissions after total joint arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(12):2926-2937. doi: 10.1007/s11999-017-5244-6.
- Patel A., Pavlou G., Mújica-Mota R.E., Toms A.D. The epidemiology of revision total knee and hip arthroplasty in England and Wales: a comparative analysis with projections for the United States. A study using the National Joint Registry dataset. *Bone Joint J*. 2015;97-B(8):1076-1081. doi: 10.1302/0301-620X.97B8.35170.
- Jafari S.M., Coyle C., Mortazavi S.M., Sharkey P.F., Parvizi J. Revision hip arthroplasty: infection is the most common cause of failure. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(8):2046-2051. doi: 10.1007/s11999-010-1251-6.
- Kummerant J., Wirries N., Derksen A., Budde S., Windhagen H., Floerkemeier T. The etiology of revision total hip arthroplasty: current trends in a retrospective survey of 3450 cases. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(9):1265-1273. doi: 10.1007/s00402-020-03514-3.
- Kerzner B., Kunze K.N., O'Sullivan M.B., Pandher K., Levine B.R. An epidemiological analysis of revision aetiologies in total hip arthroplasty at a single high-volume centre. *Bone Jt Open*. 2021;2(1):16-21. doi: 10.1302/2633-1462.21.BJO-2020-0171.R1.
- Hip Surgery Guide. Ed. by R.M. Tikhilov, I.I. Shubnyakov. St. Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2014. Vol. I. p. 221-256. (In Russian).

8. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Denisov A.O. Classifications of Acetabular Defects: Do They Provide an Objective Evidence for Complexity of Revision Hip Joint Arthroplasty? (Critical Literature Review and Own Cases). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(1):122-141. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-122-141.
9. Colo E., Rijnen W.H., Schreurs B.W. The biological approach in acetabular revision surgery: impaction bone grafting and a cemented cup. *Hip Int*. 2015;25(4):361-367. doi: 10.5301/hipint.5000267.
10. Paprosky W.G., Perona P.G., Lawrence J.M. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. a 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty*. 1994;9(1):33-44. doi: 10.1016/0883-5403(94)90135-x.
11. Valle C.J., Paprosky W.G. Classification and an algorithmic approach to the reconstruction of femoral deficiency in revision total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A Suppl 4:1-6. doi: 10.2106/00004623-200300004-00001.
12. Brooker A.F., Bowennan J.W., Robinson R.A., Riley L.H. Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. *J Bone Joint Surg Am*. 1973;55(8):1629-132.
13. D'Antonio J.A., Capello W.N., Borden L.S., Bargar W.L., Bierbaum B.F., Boettcher W.G. et al. Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(243):126-137.
14. García-Cimbrelo E., García-Rey E. Bone defect determines acetabular revision surgery. *Hip Int*. 2014; 24 Suppl 10:S33-S36. doi: 10.5301/hipint.5000162.
15. Tikhilov R.M., Dzhavadov A.A., Kovalenko A.N., Bilyk S.S., Denisov A.O., Shubnyakov I.I. Standard Versus Custom-Made Acetabular Implants in Revision Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2022;37(1):119-125. doi: 10.1016/j.arth.2021.09.003.
16. van Egmond N., De Kam D.C., Gardeniers J.W., Schreurs B.W. Revisions of extensive acetabular defects with impaction grafting and a cement cup. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(2):562-573. doi: 10.1007/s11999-010-1618-8.
17. Ling R.S., Timperley A.J., Linder L. Histology of cancellous impaction grafting in the femur. A case report. *J Bone Joint Surg Br*. 1993;75(5):693-696. doi: 10.1302/0301-620X.75B5.8376422.
18. Linder L. Cancellous impaction grafting in the human femur: histological and radiographic observations in 6 autopsy femurs and 8 biopsies. *Acta Orthop Scand*. 2000;71(6):543-552. doi: 10.1080/000164700317362154.
19. van der Donk S., Buma P., Verdonschot N., Schreurs B.W. Effect of load on the early incorporation of impacted morsellized allografts. *Biomaterials*. 2002;23(1):297-303. doi: 10.1016/s0142-9612(01)00108-9.
20. Wang J.S., Tägil M., Aspenberg P. Load-bearing increases new bone formation in impacted and morsellized allografts. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;(378):274-281. doi: 10.1097/00003086-200009000-00038.
21. Waddell B.S., Della Valle A.G. Reconstruction of non-contained acetabular defects with impaction grafting, a reinforcement mesh and a cemented polyethylene acetabular component. *Bone Joint J*. 2017;99-B(1 Supple A):25-30. doi: 10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0322.R1.
22. Garcia-Cimbrelo E., Cruz-Pardos A., Garcia-Rey E., Ortega-Chamarro J. The survival and fate of acetabular reconstruction with impaction grafting for large defects. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(12):3304-3313. doi: 10.1007/s11999-010-1395-4.
23. Comba F., Buttarò M., Pusso R., Piccaluga F. Acetabular revision surgery with impacted bone allografts and cemented cups in patients younger than 55 years. *Int Orthop*. 2009;33(3):611-616. doi: 10.1007/s00264-007-0503-x.
24. Busch V.J., Gardeniers J.W., Verdonschot N., Slooff T.J., Schreurs B.W. Acetabular reconstruction with impaction bone-grafting and a cemented cup in patients younger than fifty years old: a concise follow-up, at twenty to twenty-eight years, of a previous report. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(4):367-371. doi: 10.2106/JBJS.I.01532.
25. Schreurs B.W., Luttjeboer J., Thien T.M., de Waal Malefijt M.C., Buma P., Veth R.P. et al. Acetabular revision with impacted morsellized cancellous bone graft and a cemented cup in patients with rheumatoid arthritis. A concise follow-up, at eight to nineteen years, of a previous report. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(3):646-651. doi: 10.2106/JBJS.G.01701.
26. Iwase T., Ito T., Morita D. Massive bone defect compromises postoperative cup survivorship of acetabular revision hip arthroplasty with impaction bone grafting. *J Arthroplasty*. 2014;29(12):2424-2429. doi: 10.1016/j.arth.2014.04.001.
27. Pierannunzi L., Zagra L. Bone grafts, bone graft extenders, substitutes and enhancers for acetabular reconstruction in revision total hip arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2016;1(12):431-439. doi: 10.1302/2058-5241.160025.
28. Fölsch C., Dharma J., Fonseca Ulloa C.A., Lips K.S., Rickert M., Pruss A. et al. Influence of thermoinfection on microstructure of human femoral heads: duration of heat exposition and compressive strength. *Cell Tissue Bank*. 2020;21(3):457-468. doi: 10.1007/s10561-020-09832-5.
29. Anastasieva E.A., Cherdantseva L.A., Tolstikova T.G., Kirilova I.A. Deproteinized Bone Tissue as a Matrix for Tissue-Engineered Construction: Experimental Study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(1):46-59. (In Russian). doi: 10.17816/2311-2905-2016.
30. Voor M.J., Nawab A., Malkani A.L., Ullrich C.R. Mechanical properties of compacted morsellized cancellous bone graft using one-dimensional consolidation testing. *J Biomech*. 2000;33(12):1683-1688. doi: 10.1016/s0021-9290(00)00156-1.
31. Pratt J.N., Griffon D.J., Dunlop D.G., Smith N., Howie C.R. Impaction grafting with morsellized allograft and tricalcium phosphate-hydroxyapatite: incorporation within ovine metaphyseal bone defects. *Biomaterials*. 2002;23(16):3309-3317. doi: 10.1016/s0142-9612(02)00018-2.
32. Verdonschot N., Schreurs B., van Unen J., Slooff T., Huiskes R. Cup stability after acetabulum reconstruction with morsellized grafts is less surgical dependent when larger grafts are used. *Trans Orthop Res Soc*. 1999;24:867.

Authors' information

✉ *Irina A. Kirilova* — Dr. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0003-1911-9741>

e-mail: irinakirilova71@mail.ru

Vadim N. Golnik

<https://orcid.org/0000-0002-5047-2060>

e-mail: vgolnik@mail.ru

Vladimir A. Peleganchuk — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-2386-4421>

e-mail: 297501@mail.ru

Yuriy M. Batrak — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-0489-1480>

e-mail: 297501@mail.ru

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: pavlovdoc@mail.ru



Treatment of Iatrogenic Nerve Injury After Humeral Shaft Fracture Fixation: A Case Report

Dmitry A. Kisel¹, Alexey M. Fain^{1,2}, Kirill V. Svetlov¹, Yuri A. Bogolyubsky¹, Irina B. Aleynikova¹, Mikhail V. Sinkin¹

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia

² A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

Abstract

Background. Iatrogenic neuropathies of the radial nerve following intramedullary nailing of the humerus are observed in 2.9% of patients. In 30% of cases, iatrogenic nerve injury is associated with distal nail locking. Questions about the timing and volume of diagnostic measures to determine the nature of nerve damage, methods of conservative and surgical treatment, and their effectiveness remain relevant.

Aim of the study – to present, through a clinical case, the causes, methods of prevention, diagnosis, and treatment of iatrogenic injuries to the radial nerve in cases of humeral fractures.

Case presentation. A 30-year-old female patient was admitted with a nonunion fracture of the left humerus and iatrogenic radial nerve injury three months after the fracture was fixed with a locking nail. A revision operation was performed: removal of the nail from the left humerus; re-fixation of the left humerus with a plate; revision, neurolysis, and plastic repair of the left radial nerve using autografts from the right sural nerve. Postoperative courses of medication therapy, physiotherapy, and therapeutic exercises were conducted. At 26 months after the surgery, complete range of motion and restoration of strength in active extension of the left wrist and three phalanges, abduction of the first finger, partial extension of the first finger, and restoration of sensitivity on the outer surface of the left forearm and the back of the hand were observed.

Conclusion. Iatrogenic radial nerve injury primarily occurs as a result of incorrect technique when introducing locking screws during intramedullary nailing of humeral shaft fractures. Delayed examination and surgical treatment of patients with injured radial nerve lead to a lack of full functional recovery, potential muscle atrophy, and impairment of their motor function. Surgical treatment aimed at restoring the radial nerve at an early stage after injury, combined with a full range of postoperative rehabilitation for a year, is the only correct treatment approach.

Keywords: iatrogenic injury, radial nerve, humerus fracture fixation.

Cite as: Kisel D.A., Fain A.M., Svetlov K.V., Bogolyubsky Yu.A., Aleynikova I.B., Sinkin M.V. Treatment of Iatrogenic Nerve Injury After Humeral Shaft Fracture Fixation: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):110-117. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7984>.

✉ Dmitry A. Kisel; e-mail: dkis@yandex.ru

Submitted: 06.03.2023. Accepted: 19.06.2023. Published Online: 08.08.2023.

© Kisel D.A., Fain A.M., Svetlov K.V., Bogolyubsky Yu.A., Aleynikova I.B., Sinkin M.V., 2023

Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай

Д.А. Кисель¹, А.М. Файн^{1,2}, К.В. Светлов¹, Ю.А. Боголюбский¹,
И.Б. Алейникова¹, М.В. Синкин¹

¹ ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат


Актуальность. Ятрогенные нейропатии лучевого нерва после остеосинтеза диафиза плечевой кости штифтом с блокированием развиваются у 2,9% пациентов. При этом в 30% случаев ятрогенное повреждение нерва связано с дистальным блокированием штифта. Вопросы о сроках и объеме диагностических мероприятий, направленных на определение характера повреждения нерва, методах консервативного и хирургического лечения, их эффективности остаются актуальными.

Цель — на клиническом примере показать причины возникновения, методы профилактики, диагностики и лечения ятрогенных повреждений лучевого нерва при переломах плечевой кости.

Описание клинического случая. Пациентка 30 лет поступила с несросшимся переломом левой плечевой кости, ятрогенным повреждением лучевого нерва слева спустя 3 мес. после остеосинтеза перелома блокированным штифтом. Выполнена повторная операция: удаление штифта из левой плечевой кости; реостеосинтез левой плечевой кости пластиной; ревизия, невролиз, пластика левого лучевого нерва аутооттрансплантатами из икроножного нерва справа. После операции проводили курсы медикаментозной терапии, физиотерапевтическое лечение, лечебную гимнастику. Через 26 мес. после операции наблюдали полную амплитуду и восстановление силы активного разгибания левой кисти и трехфаланговых пальцев, отведение первого пальца, неполную амплитуду разгибания первого пальца, восстановление чувствительности по наружной поверхности левого предплечья и тыльной поверхности кисти.

Заключение. Ятрогенное повреждение лучевого нерва происходит преимущественно в результате несоблюдения техники введения блокирующих винтов при остеосинтезе переломов диафиза плечевой кости штифтами. Несвоевременное обследование и оперативное лечение пациентов с поврежденным лучевым нервом приводит к невозможности полного функционального восстановления, потенциальной атрофии мышц, угнетению их двигательной функции. Оперативное лечение, направленное на восстановление лучевого нерва в ранние сроки после травмы, в сочетании с полным спектром послеоперационной реабилитации в течение года является единственно верным вариантом лечения.

Ключевые слова: ятрогенное повреждение лучевого нерва, перелом плечевой кости, остеосинтез плечевой кости.

 **Для цитирования:** Кисель Д.А., Файн А.М., Светлов К.В., Боголюбский Ю.А., Алейникова И.Б., Синкин М.В. Лечение пациента с ятрогенным повреждением лучевого нерва после остеосинтеза плечевой кости: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):110-117. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-7984>.

 Кисель Дмитрий Александрович; e-mail: dkis@yandex.ru

Рукопись получена: 06.03.2023. Рукопись одобрена: 19.06.2023. Статья опубликована онлайн: 08.08.2023.

© Кисель Д.А., Файн А.М., Светлов К.В., Боголюбский Ю.А., Алейникова И.Б., Синкин М.В., 2023

BACKGROUND

The problem of iatrogenic injuries to the radial nerve arising from the surgical treatment of humeral fractures remains relevant and significant [1, 2, 3, 4]. Questions regarding the timing and extent of diagnostic measures aimed at determining the nature of nerve injury, methods of conservative and surgical treatment, as well as their effectiveness, continue to be debated [5, 6, 7].

Aim of the study is to present, through a clinical case, the causes, methods of prevention, diagnosis, and treatment of iatrogenic injuries to the radial nerve in cases of humeral fractures.

Case presentation

A 30-year-old female patient sustained a closed diaphyseal fracture of the left humerus in January 2019 due to a fall. She was treated at a clinical hospital in one of the regions of the Russian Federation, where closed osteosynthesis of the left humerus was performed using a nail in the delayed postoperative period. During the early postoperative period, the patient experienced an absence of active extension of the left wrist and fingers. Iatrogenic radial nerve injury on the left side was diagnosed, and the patient underwent conservative treatment without improvement for 2.5 months.

She was subsequently admitted to our medical institution 3 months after the injury, complaining of pain in the left shoulder area and the inability to actively extend the left wrist and fingers.

Upon examination, minor soft tissue swelling was observed in the left shoulder and left wrist areas. Shoulder joint movements were limited due to pain. There was an absence of active extension of the left wrist and fingers (M0), abduction of the thumb (M0), and a sensory disorder along the external surface of the left forearm and hand in the area innervated by the superficial branch of the radial nerve (S0). Blood circulation in the fingers was normal.

X-ray examination revealed a fracture of the left humerus at the level of the middle third of the diaphysis after the osteosynthesis with a blocked nail, with no signs of consolidation. The nail extended 2 cm above the bottom of the medullary canal of the humerus, and the tip of the

nail protruded 3 mm above the surface of the humeral head. Both distal blocking screws were inserted in a medial-to-lateral direction (Fig. 1).

The patient provided an ultrasound examination report of the left radial nerve, which indicated signs of compression and integrity violation of the radial nerve in the lower third of the shoulder in the area of the blocking screw, as well as swelling of the radial nerve trunk. Electroneuromyography (ENMG), including stimulation at the Erb's point, revealed complete functional block of neural conduction along the radial nerve on the left side (Fig. 2).

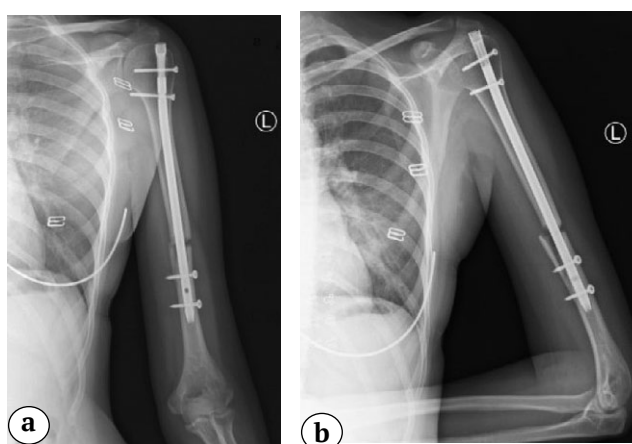
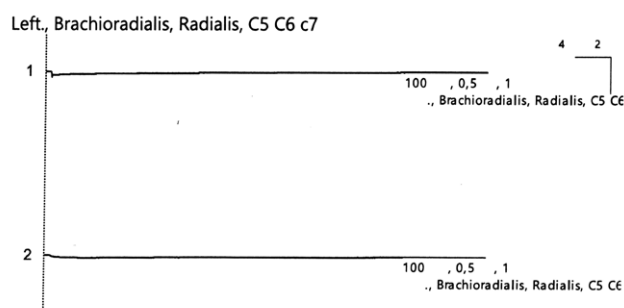


Fig. 1. X-rays after the left humeral bone nailing: a — anteroposterior view; b — lateral view



N	Stim. site	Dist., mm	Lat, ms	Amp mV
Left., Brachioradialis, Radialis, C5 C6 c7				
1	Elbow	60		0
2	Shoulder	100		0

Fig. 2. Preoperative electroneuromyography protocol

Three months after the injury, the patient underwent a repeat operation, which included the removal of the nail from the left humerus, reosteosynthesis of the left humerus with a plate, nerve revision, neurolysis, and repair of the left radial nerve using autotransplantation of the sural nerve from the right side.

During the surgery, it was revealed that the radial nerve in the middle third of the humerus was embedded within scar tissue and interrupted at the contact point with one of the distal blocking screws. There was scar transformation of the nerve over a length of 4.0 cm, with a neuroma at the proximal end (Fig. 3).

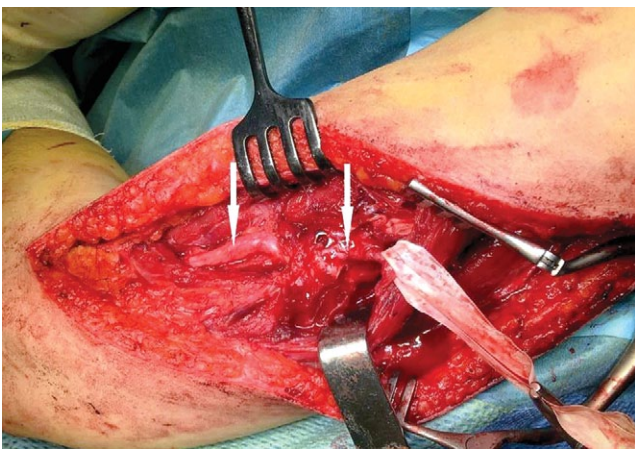


Fig. 3. A break in the radial nerve is identified (indicated by arrows) in the projection of the distal blocking screw; a neuroma at the proximal end of the nerve

The nail was removed, and the fragments were extracted from the scar tissue, refreshed, aligned, and fixed with an extra-articular plate to achieve angular stability with compression (Fig. 4).

The scar-transformed segment of the radial nerve and the neuroma were excised. To repair the nerve defect, a sural nerve autograft was harvested from the right side. Four grafts, each 5 cm in length, were placed into the defect area. Using an operating microscope, an epineural suture was performed using Prolene 9/0 thread (Fig. 5).

The postoperative period was uneventful, and the patient was discharged from the hospital on the 9th day after the operation.

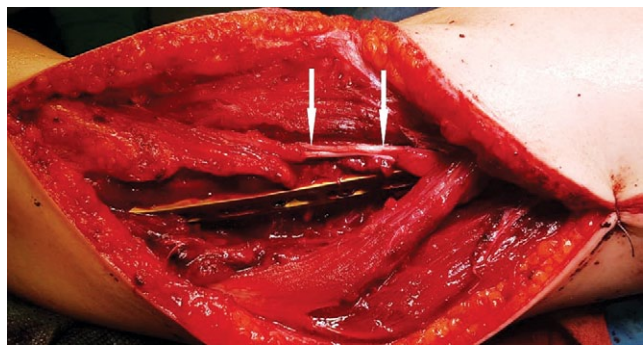


Fig. 5. Plating of the humeral bone, and radial nerve reconstruction using autografts (indicated by arrows)

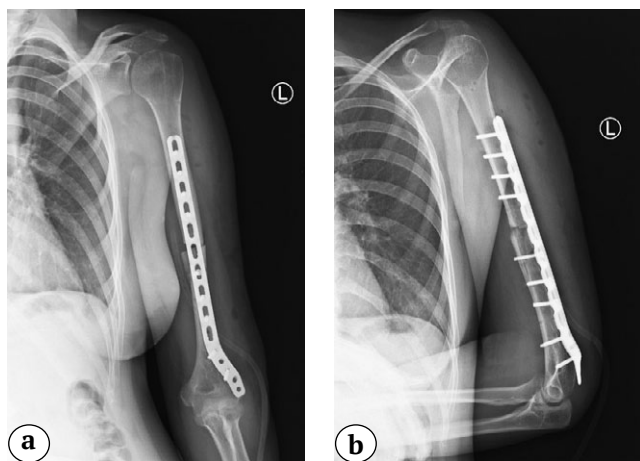


Fig. 4. X-rays after re-fixation of the left humeral bone with a plate; the position of the fragments and metal fixator is satisfactory:
a – anteroposterior view; b – lateral view

During the 11-month outpatient period, the patient received medical therapy and underwent physiotherapeutic treatment, including electromyostimulation, acupuncture, paraffin baths, mud therapy, massage, and therapeutic exercises involving passive and active finger and wrist movements.

According to the patient, positive recovery dynamics of the radial nerve began to appear 10 months after the operation, with the return of sensation in the external surface of the left forearm and dorsal surface of the wrist. After 13 months, the patient reported the ability to actively hold the wrist in a semi-physiological position without the assistance of an orthosis, with a slight amplitude of active extension of the three phalanges of the fingers, which further improved over time, followed by the restoration of active wrist extension. The function of active abduction of the first finger was restored

last, after 15 months. At the 18-month follow-up, the patient noted progressive improvement in fine finger motor skills.

At the 26-month follow-up after the operation, complete amplitude and restoration of strength in active wrist extension and three phalanges of the fingers (M5), as well as abduction of the first finger (M5), were observed. The amplitude of the first finger extension was not complete (M3–4).

ENMG data showed significant positive dynamics, with a low-amplitude M-wave and increased chronodispersion from the extensor indicis muscle and low-amplitude sensory nerve action potential upon stimulation of the superficial radial nerve (Fig. 6).

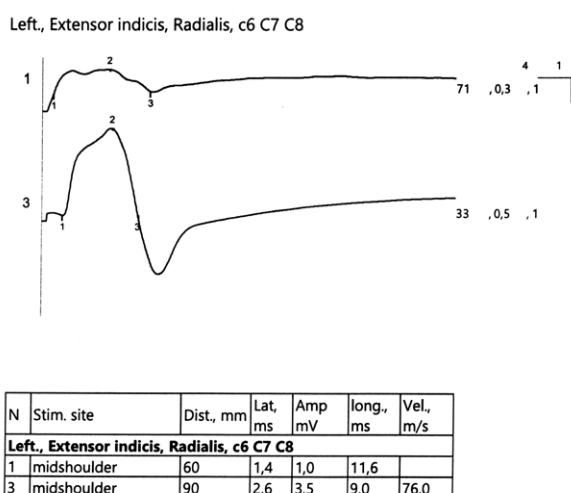


Fig. 6. ENMG protocol after 26 months post-operation

DISCUSSION

According to the analysis of the world literature, the frequency of iatrogenic radial nerve injuries ranges from 2% to 17% [8]. In our study, iatrogenic neuropathies after humeral shaft osteosynthesis with blocking screws developed in 2.9% of patients. In 30% of cases, radial nerve injury was associated with distal screw blocking [9].

In this particular case, the injury resulted from a combination of several technical errors during the osteosynthesis procedure. Firstly, a screw of

insufficient length was selected. On postoperative X-rays, it can be observed that, even with the proximal end of the screw protruding a few millimeters above the head of the humerus, there is a deficit of approximately 2 cm in length. Secondly, despite the presence of a hole for distal blocking in the sagittal plane, both blocking screws were inserted from the outside towards the inside. With the screw being too short, such blocking inevitably occurs over the radial nerve [10]. When soft tissue protection is inadequate, the nerve trunk is highly susceptible to damage during drilling or screw insertion. In some cases, damage caused by the drill's cutting edge leads to a complete nerve disruption, which, evidently, happened in this case.

Timely diagnosis of iatrogenic nerve injuries is crucial. Clinically identifying traumatic neuropathy after anesthesia has worn off is usually straightforward. However, the clinical approach does not provide insight into the nature of the injury since any nerve injury, from contusion to complete anatomical disruption, presents with a comprehensive picture of sensory-motor deficit.

Visualization of the radial nerve through ultrasound examination allows for accurate determination of the level and nature of the injury [1, 3, 6, 7]. Conducting the examination immediately after surgery and confirming nerve trunk disruption would allow for immediate repair of the nerve integrity. In cases of diagnosed complete anatomical disruptions, we perform a revision with nerve integrity restoration. If conflicts with fragments or metal constructs are identified instrumentally in the context of radial nerve neuropathy, we conduct revision and neurolysis. In cases with inconclusive results from instrumental examinations, we perform nerve revision. An active-waiting strategy, in combination with conservative treatment, is chosen when the anatomical disruption or conflicts with metal constructs are not confirmed instrumentally. In the absence of positive progress from conservative treatment within 3-4 months, we perform a nerve revision. Unjustified delay in the results of conservative treatment without verification of the type of nerve injury jeopardizes the possibility of restoring lost upper limb function [1, 2].

In this clinical case, after humeral shaft osteosynthesis, with the clinical symptoms of radial nerve injury in the early postoperative period, the lack of medical vigilance and failure to conduct timely diagnostic verification led to the absence of instrumental diagnosis, which resulted in the late determination of the nerve injury's nature. The patient's initial consultation at our clinic occurred three months after the iatrogenic complication. The absence of clinical improvement and the detected nerve conduction block according to the ENMG data provided the basis for searching for the anatomical cause of the persistent functional impairment. Visualization examination revealed nerve disruption.

The degree of motor function recovery in the upper limb muscles directly depends on the timing of surgical treatment and patient rehabilitation. ENMG data shows that muscle contractility impairment in the form of fibrillation potentials manifests itself within 3 weeks after nerve injury, and motor function inhibition becomes irreversible in the 12-18 month period. Muscle degeneration becomes irreversible within 18-24 months [1]. Literature reports observations confirming that operative treatment performed six months after injury results in significantly poorer nerve recovery [5]. After 10-12 months, the only option for restoring wrist and finger extension function is tendon transposition [1]. The best results have been described after neurolysis, nerve suturing, and grafting using short autografts within 1-2 months [7, 11, 12].

Postoperative treatment is also essential for the quality and timing of limb function recovery. The goal of influencing the damaged nerve is to create conditions for its physiological regeneration [10, 12].

The therapeutic approach aims to accomplish the following tasks:

Restoration of tissue trophism (combatting edema and hypoxia through physiotherapeutic treatment, antihypoxants, and medications improving microcirculation).

Restoration of nerve structure and function (activation of axoplasm movement, maintenance of conditions for axon and myelin regeneration, improvement of nerve impulse conduction and neuromuscular transmission). For this purpose, B-group vitamins, cholinesterase inhibitors, and phospholipid donors are used.

Prevention of atrophy in immobilized and denervated limb tissues (prophylaxis against joint contractures, denervated tissue training). Physiotherapy and myostimulation play a crucial role in this aspect.

We believe that the comprehensive postoperative rehabilitation treatment, which includes medication therapy, therapeutic exercises, and physiotherapy, including electromyostimulation, allowed us to achieve excellent functional results.

CONCLUSION

Iatrogenic radial nerve injury is a common complication of operative treatment for humeral shaft fractures, particularly with screw blocking. A significant portion of such complications is related to nerve injury during distal blocking. Surgical prevention of such complications involves appropriate selection of the fixator and adhering to the technique of inserting blocking screws outside the area of the radial nerve.

Delayed completion of comprehensive examination and lack of early operative treatment in patients with radial nerve injuries lead to the absence of full functional recovery, potential muscle atrophy, and inhibition of motor function. Operative treatment aimed at restoring the radial nerve in the early stages after injury, combined with a full spectrum of postoperative rehabilitation over the course of a year, is the only correct treatment approach. The timing of specialized care for patients with radial nerve injuries plays a significant role in the restoration of upper limb function and the patient's workability.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kisel D.A. — patient treatment, data analysis and interpretation, writing and drafting the article.

Fain A.M. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Svetlov K.V. — data analysis and interpretation, drafting the article.

Bogolyubsky Yu.A. — data analysis and interpretation, writing the article.

Aleynikova I.B. — data analysis and interpretation, writing the article.

Sinkin M.V. — data analysis and interpretation, drafting the article.

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.

Disclosure 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.

REFERENCES

1. Laulan J. High radial nerve palsy. *Hand Surg Rehabil.* 2019;38(1):2-13. doi: 10.1016/j.hansur.2018.10.243.
2. Bumbasirevic M., Palibrk T., Lesic A., Atkinson H.D. Radial nerve palsy. *EFORT Open Rev.* 2017;1(8):286-294. doi: 10.1302/2058-5241.1.000028.
3. Cognet J.M., Fabre T., Durandeu A. Persistent radial palsy after humeral diaphyseal fracture: cause, treatment, and results. 30 operated cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2002;88(7):655-662. (In French).
4. Ljungquist K.L., Martineau P., Allan C. Radial nerve injuries. *J Hand Surg Am.* 2015;40(1):166-172. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.05.010.
5. Rasulić L., Djurašković S., Lakićević N., Lepić M., Savić A., Grujić J. et al. Surgical Treatment of Radial Nerve Injuries Associated With Humeral Shaft Fracture-A Single Center Experience. *Front Surg.* 2021;8:774411. doi: 10.3389/fsurg.2021.774411.
6. Schwaiger K., Abed S., Russe E., Koeninger F., Wimbauer J., Kholosy H. et al. Management of Radial Nerve Lesions after Trauma or Iatrogenic Nerve Injury: Autologous Grafts and Neurolysis. *J Clin Med.* 2020;9(12):3823. doi: 10.3390/jcm9123823.
7. Chang G., Ilyas A.M. Radial Nerve Palsy After Humeral Shaft Fractures: The Case for Early Exploration and a New Classification to Guide Treatment and Prognosis. *Hand Clin.* 2018;34(1):105-112. doi: 10.1016/j.hcl.2017.09.011.
8. Vishnevskiy V.A. Reasons and Diagnostic Errors in Cases of the Peripheral Nerves of Extremities Injuring. *Zaporozhye Medical Journal.* 2014;85(4):50-55. (In Russian).
9. Bogolyubsky Y.A., Fayn A.M., Sachkov A.V., Mazhorova I.I., Vaza A.Y., Titov R.S. et al. Iatrogenic Damage to the Radial Nerve During Osteosynthesis of the Humerus. Prevention, Diagnosis and Treatment. *Russian Sklifosovsky Journal «Emergency Medical Care».* 2020;9(1):51-60. (In Russian). doi: 10.23934/2223-9022-2020-9-1-51-60.
10. Bogolyubsky Y.A., Fain A.M., Vaza A.Y., Gnetetskiy S.F., Mazhorova I.I., Kishinevskiy E.V. et al. Traumatic and iatrogenic lesions of the radial nerve in fractures of humerus diaphysis. *Practical Medicine.* 2022;20(4):109-116.
11. Temiz N.C., Doğan A., Kirik A., Yaşar S., Durmaz M.O., Kutlay A.M. Radial nerve injuries and outcomes: Our surgical experience. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2021;27(6):690-696. doi: 10.14744/tjtes.2020.34576.
12. Kim D.H., Kam A.C., Chandika P., Tiel R.L., Kline D.G. Surgical management and outcome in patients with radial nerve lesions. *J Neurosurg.* 2001;95(4):573-583. doi: 10.3171/jns.2001.95.4.0573.

Authors' information

✉ Dmitry A. Kisel

Address: 3, Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow, 129090, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5187-0669>

e-mail: dkis@yandex.ru

Alexey M. Fain — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8616-920X>

e-mail: finn.loko@mail.ru.

Kirill V. Svetlov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-1538-0515>

e-mail: svetloffkirill@yandex.ru

Yuri A. Bogolyubsky – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-1509-7082>
e-mail: bo_y_an@mail.ru

Irina B. Aleynikova – Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-4937-0400>
e-mail: alejnikova_irina@mail.ru

Mikhail V. Sinkin – Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>
e-mail: mvsinkin@gmail.com



Coracoid Process Fracture Associated With a Distal Clavicle Fracture: A Case Report

Alexander I. Avdeev^{1,2}, Dmitrii G. Parfeev¹, Danil D. Parshin², Ekaterina V. Sinitsyna²

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

² St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Fracture of the distal clavicle fracture associated with a coracoid process fracture is extremely rare in the practice of an orthopedic surgeons. Therefore, there is no common approach to the treatment of patients with this type of bone injuries of the shoulder girdle.

Aim of the study – to demonstrate positive experience of conservative treatment of the coracoid process fracture combined with hook plate fixation for distal clavicle fracture.

Case presentation. We present a rare clinical case of a closed distal clavicle fracture associated with coracoid process fracture. Trauma occurred when the patient fell down the stairs on his abducted upper limb. After examination, the distal clavicle fracture was fixed with a hook plate. Intraoperatively, X-rays showed a satisfactory position of the coracoid process of the scapula. Therefore, it was decided not to fix it additionally. CT scans three months after the surgery showed bone fragments consolidation. Removal of the hook plate and screws from the clavicle was performed.

Conclusion. Presented clinical case illustrates successful treatment result of this type of fractures without fixation of the coracoid process fracture. The hook plating allows to stabilize bone fragments and restore ligament tension, which makes this implant non-alternative for fixation of this type of injuries.

Keywords: acromioclavicular joint injury, distal clavicle fracture, coracoid process fracture, hook plate.

Cite as: Avdeev A.I., Parfeev D.G., Parshin D.D., Sinitsyna E.V. Coracoid Process Fracture Associated With a Distal Clavicle Fracture: A Case Report. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):118-123. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-14793>.

✉ Alexander I. Avdeev; e-mail: spaceship1961@gmail.com

Submitted: 11.07.2023. Accepted: 11.08.2023. Published online: 12.09.2023.

© Avdeev A.I., Parfeev D.G., Parshin D.D., Sinitsyna E.V., 2023

Перелом клювовидного отростка лопатки в сочетании с переломом акромиального конца ключицы: клинический случай

А.И. Авдеев^{1,2}, Д.Г. Парфеев¹, Д.Д. Паршин², Е.В. Сеницына²

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

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия


Реферат


Актуальность. Перелом акромиального конца ключицы в сочетании с переломом основания клювовидного отростка лопатки в практике травматолога-ортопеда встречается крайне редко. В связи с этим отсутствует единый подход к лечению пациентов с повреждениями костей плечевого пояса такого типа. **Целью** данной публикации является демонстрация положительного опыта консервативного лечения перелома клювовидного отростка лопатки в сочетании с остеосинтезом перелома акромиального конца ключицы крючковидной пластиной.

Описание случая. Мы представляем редкий клинический случай закрытого перелома акромиального конца ключицы в сочетании с переломом основания клювовидного отростка лопатки, наступивший в результате падения пациентки с лестницы с опорой на отведенную верхнюю конечность. После обследования было принято решение о фиксации акромиального конца ключицы крючковидной пластиной. Интраоперационно после остеосинтеза акромиального конца ключицы на рентгенограммах отмечалось удовлетворительное положение клювовидного отростка лопатки, в связи с чем было принято решение дополнительно его не фиксировать. Оперативное вмешательство, как и послеоперационный период, протекали без особенностей. При выполнении компьютерной томографии через 3 мес. после операции отмечена консолидация отломков. Выполнено удаление крючковидной пластины с винтами из ключицы.

Заключение. Представленный клинический случай иллюстрирует результат лечения такого типа переломов без фиксации клювовидного отростка лопатки с достижением отличного клинического результата. По нашему мнению, применение крючковидной пластины позволяет стабилизировать костные отломки и восстановить натяжение связок, что делает этот имплантат безальтернативным для фиксации такого типа повреждений.

Ключевые слова: травма акромиально-ключичного сустава, перелом акромиального конца ключицы, перелом клювовидного отростка, крючковидная пластина.

 **Для цитирования:** Авдеев А.И., Парфеев Д.Г., Паршин Д.Д., Сеницына Е.В. Перелом клювовидного отростка лопатки в сочетании с переломом акромиального конца ключицы: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):118-123. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-14793>.

 Авдеев Александр Игоревич; e-mail: spaceship1961@gmail.com

Рукопись получена: 11.07.2023. Рукопись одобрена: 11.08.2023. Статья опубликована онлайн: 12.09.2023.

© Авдеев А.И., Парфеев Д.Г., Паршин Д.Д., Сеницына Е.В., 2023

BACKGROUND

The incidence of distal clavicle injuries in the structure of clavicle fractures varies from 10% to 30% [1, 2, 3]. Fractures of the coracoid process are even less common: 3-16% of all scapula fractures [4]. Cases of combined injury of the distal clavicle and the coracoid process are described only in a few publications, which, in turn, indicates the lack of a unified approach to the treatment of this category of patients [5, 6, 7, 8]. Difficulties in selecting a treatment method for a patient are associated with the determination of reasonable limits of the surgical aggression and require balanced approach for trauma surgeon's part.

Aim of the study — to demonstrate positive experience of conservative treatment of the coracoid process fracture combined with hook plate fixation for distal clavicle fracture.

CASE PRESENTATION

A 45-year-old female patient sustained a right shoulder injury in August 2022 as a result of a fall from a ladder on the abducted upper extremity. Physical examination revealed deformity of the right shoulder area, acute pain in the projection of the right acromioclavicular joint, positive piano key symptom. Range of motion in the shoulder joint was severely limited due to a pronounced pain syndrome. X-ray of the right shoulder

shows radiologic signs of a closed fracture of the distal part of the right clavicle with displacement of fragments associated with a closed fracture of the coracoid process (Fig. 1).

Identical vertical displacement of the central clavicle fragment and the coracoid process allowed to infer indirectly that the coracoclavicular ligaments were intact. In our opinion, the hook plate was and remains the preferred implant for this purpose. On the first day of hospital stay, the patient underwent the surgery: open reduction of fragments, fixation with a hook plate and screws. Based on control X-rays, the final intraoperative decision was made not to fix the coracoid process of the scapula additionally (Fig. 2).

After the reduction of the clavicle fragments and restoration of anatomical relationships in the acromioclavicular joint, anatomical reduction of the coracoid process occurred due to the restoration of the tendon pull balance of the muscles fixed to the coracoid process. Therefore, it was decided not to additionally fix the coracoid process.

Postoperative period was uneventful. The patient was discharged for outpatient treatment on the 5th day after surgery. The right upper extremity was put in a sling for 4 weeks from the date of surgical treatment. Twelve weeks later, the patient underwent a CT scan of the area of surgical intervention, which showed CT signs of bone union of both the distal clavicle and the



Fig. 1. X-ray of the right acromioclavicular (AC) joint in AP view. Signs of closed fracture of the right distal clavicle with displacement of fragments combined with coracoid process fracture



Fig. 2. Fig. 2. Intraoperative X-ray of the right AC joint in AP view after open manual reduction and fixation of the right distal clavicle with a hook plate. Displacement of fragments is eliminated

coracoid process (Fig. 3). Based on clinical tests, instrumental findings, and time elapsed since the surgery, the patient was recommended to have the fixator removed from the right clavicle.

X-rays taken at the time of implant removal also show signs of bone union and absence of subluxation (Fig. 4).

In December 2022, elective removal of the hook plate and screws from the distal part of the right clavicle was performed. Clinical recovery was achieved (Fig. 5).



Fig. 3. Right shoulder CT scan 3 months after surgery. CT signs of bone union of the distal clavicle and coracoid process



Fig. 4. X-ray of the right AC joint in AP view 3 months after surgery. Signs of bone union without subluxation



Fig. 5. X-ray of the right AC joint in AP view after implants removal

DISCUSSION

There are very few publications that are in one way or another related to fracture of the coracoid process [9, 10, 11]. As a consequence, there is no unified approach to the treatment of this type of fracture.

According to A. Iqbal et al., only three cases of isolated fracture of the coracoid process out of nine presented had surgical treatment options, namely, ligament refixation, open reduction with internal fixation, and, finally, percutaneous screw insertion. In all presented clinical cases, patients were able to return to active sports within 3 to 12 months, regardless of the chosen treatment option [12].

Simultaneous fractures of the distal clavicle and coracoid process are even less frequently described. In a similar clinical case presented by W. Zhang et al. in addition to fixation of the acromioclavicular joint with a hook plate, fixation of the coracoid process with a 3.5 mm cannulated screw was performed. Three months after surgery, the shoulder joint function was restored, and the patient had no complaints [13]. Despite the positive result achieved in the presented case, we would like to note the difference in approaches and different degrees of surgical aggression in the treatment of patients with similar pathology.

M.M. Broekman et al. compiled and analyzed the results of treatment of 37 patients with dislocation of the distal part of the clavicle and fracture of the coracoid process. In 22 cases, the preferred treatment option was surgical, and in

12 cases both the acromioclavicular joint and the coracoid process were fixed, in 9 cases only the acromioclavicular joint was fixed, and in one case only the coracoid process was fixed. As a conclusion, the authors note that even though there is a large sample for such a rare pathology, it is impossible to scientifically justify certain recommendations for the treatment of this category of patients [14].

In our opinion, in cases of satisfactory position of the fragments of the coracoid process, it is possible to get along without its additional fixation, which minimizes the risk of intraoperative complications and overall reduces the extent of surgical intervention.

CONCLUSION

Presented clinical case illustrates treatment result of this type of fractures without fixation of the coracoid process of the scapula with excellent clinical outcome. In our opinion, the use of the hook plate allows to stabilize bone fragments and restore ligament tension, which makes this implant non-alternative for fixation of this type of injuries.

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.

Disclosure 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.

REFERENCES

1. Nordqvist A., Petersson C. The incidence of fractures of the clavicle. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;300:127-132.
2. Postacchini F., Gumina S., De Santis P., Albo F. Epidemiology of clavicle fractures. *J Shoulder Elbow Surg.* 2002;11(5):452-456. doi: 10.1067/mse.2002.126613.
3. Robinson C.M. Fractures of the clavicle in the adult. Epidemiology and classification. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80(3):476-484. doi: 10.1302/0301-620x.80b3.8079.
4. Knapik D.M., Patel S.H., Wetzel R.J., Voos J.E. Prevalence and Management of Coracoid Fracture Sustained During Sporting Activities and Time to Return to Sport: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2018;46(3):753-758. doi: 10.1177/0363546517718513.
5. Jettoo P., de Kiewiet G., England S. Base of coracoid process fracture with acromioclavicular dislocation in a child. *J Orthop Surg Res.* 2010;5:77. doi: 10.1186/1749-799X-5-77.
6. Pedersen V., Prall W.C., Ockert B., Haasters F. Non-operative treatment of a fracture to the coracoid process with acromioclavicular dislocation in an adolescent. *Orthop Rev (Pavia).* 2014;6(3):5499. doi: 10.4081/or.2014.5499.
7. Li J., Sun W., Li G.D., Li Q., Cai Z.D. Fracture of the coracoid process associated with acromioclavicular dislocation: a case report. *Orthop Surg.* 2010;2(2):165-167. doi: 10.1111/j.1757-7861.2010.00080.x.
8. Kim K.C., Rhee K.J., Shin H.D., Kim D.K., Shin H.S. Displaced fracture of the coracoid process associated with acromioclavicular dislocation: a two-bird-one-stone solution. *J Trauma.* 2009;67(2):403-405. doi: 10.1097/TA.0b013e3181ac8ef1.
9. Asbury S., Tennent T.D. Avulsion fracture of the coracoid process: a case report. *Injury.* 2005;36(4):567-568. doi: 10.1016/j.injury.2004.11.002.
10. Lee J.H., Kim J.R., Wang S.I. An unusual mechanism of coracoid fracture in a beginner golfer. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(1):76-78. doi: 10.1007/s00167-017-4439-4.
11. Wollstein J., Tegtbur U., Meller R., Hanke A.A., Berndt T., Krettek C. et al. Isolated fracture of the coracoid process in a 14-year-old national water polo player: Case example. *Unfallchirurg.* 2019;122(1):79-82. (In German). doi: 10.1007/s00113-018-0547-y.
12. Iqbal A., Botchu R. Coracoid stress injury: a report of an unusual case and review of literature. *REJR.* 2020;10(3):174-178. doi: 10.21569/2222-7415-2020-10-3-174-178.
13. Zhang W., Huang B., Yang J., Xue P., Liu X. Fractured coracoid process with acromioclavicular joint dislocation: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(39):e22324. doi: 10.1097/MD.00000000000022324.
14. Broekman M.M., Verstift D.E., Doornberg J.N., van den Bekerom M.P.J. Treatment of acromioclavicular dislocations with a concomitant coracoid fracture: a systematic review of 37 patients. *JSES Int.* 2022;7(2):225-229. doi: 10.1016/j.jseint.2022.12.014.

Authors' information

✉ *Alexander I. Avdeev* — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0002-1557-1899>

e-mail: spaceship1961@gmail.com

Dmitrii G. Parfeev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-8199-7161>

e-mail: dgparfeev@rniito.ru

Danil D. Parshin

<https://orcid.org/0009-0002-0010-1437>

e-mail: parshindanil1997@gmail.com

Ekaterina V. Sinitsyna

<https://orcid.org/0009-0002-9798-7886>

e-mail: katerin_tomtit@mail.ru



Травматология и ортопедия в фокусе интеллектуальной собственности


Т.Н. Эриванцева, С.Ю. Тузова, Н.Б. Лысков, Ю.В. Блохина, А.А. Исамова

ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности», г. Москва, Россия

Реферат

Высокий уровень травматизма, заболеваний костно-мышечной системы и соединительной ткани обуславливает спрос на современные высокотехнологичные материалы в области ортопедии и травматологии. Разработка отечественных материалов является крайне актуальной задачей, особенно в условиях ограничения поставок в Российскую Федерацию иностранных продуктов. Создание новых изделий и последующий вывод их на рынок требуют всесторонней охраны воплощенной в продукт уникальной информации о его устройстве, составе или технологии получения/изготовления. Анализ патентования отечественных разработок в области травматологии и ортопедии на территории Российской Федерации показал, что в аспекте коммерциализации отечественных продуктов существует ряд рисков. Так, отечественные разработчики в ряде случаев пренебрегают патентной охраной своих разработок, что ставит успешные разработки под угрозу несанкционированного копирования или предъявления претензий со стороны других рыночных игроков. С другой стороны, стратегия патентования отечественными разработчиками своих продуктов в большинстве случаев содержит ряд ошибок, таких как узкие рамки патентной охраны, обусловленные неверно составленной формулой изобретения. К ним относятся формулировки, которые достаточно легко обойти при наличии коммерческого интереса к продукту, преимущественное патентование режимных технологических процессов, отсутствие комплексной патентной охраны продукта. Указанные ошибки патентования делают разработку непривлекательной для инвесторов и производителей, что приводит к низкой коммерциализуемости российских разработок. Таким образом, российские разработчики, имеющие значительный научный потенциал и компетенции для создания высокоэффективных отечественных продуктов, не реализуют трансфер технологий и не могут вывести свои перспективные и востребованные продукты на рынок.

Ключевые слова: травматология и ортопедия, изобретение, полезная модель, патент, инновация.

 **Для цитирования:** Эриванцева Т.Н., Тузова С.Ю., Лысков Н.Б., Блохина Ю.В., Исамова А.А. Травматология и ортопедия в фокусе интеллектуальной собственности. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):124-135. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15522>.

 Эриванцева Татьяна Николаевна; e-mail: erivantseva@rupto.ru

Рукопись получена: 01.08.2023. Рукопись одобрена: 24.08.2023. Статья опубликована онлайн: 11.09.2023.

© Эриванцева Т.Н., Тузова С.Ю., Лысков Н.Б., Блохина Ю.В., Исамова А.А., 2023



Traumatology and Orthopedics in the Focus of Intellectual Property

Tatyana N. Erivantseva, Svetlana Yu. Tuzova, Nikolay B. Lyskov,
Yulia V. Blokhina, Anna A. Isamova

Federal Institute of Industrial Property, Moscow, Russia

Abstract

High incidence of injuries, diseases of musculoskeletal system and connective tissue leads to a high demand for modern high-tech materials in the area of orthopedics and traumatology. Development of russian materials is an extremely relevant issue, especially under conditions of restricted supply of foreign products to the Russian Federation. Creation of new products and their subsequent launch to the market require comprehensive protection of unique information about the design, composition or production/manufacturing technology of the product. Analysis of patenting domestic solutions for trauma and orthopedic surgery in the Russian Federation has shown that there are various risks associated with the commercialization of national products. For example, russian developers in a number of cases neglect patent protection of their developments, which puts successful developments at risk of unauthorized copying or claims from other market players. On the other hand, patenting strategy of domestic developers for their products in most cases contains a number of errors, such as narrow bounds of patent protection due to incorrectly drafted patent claims. For example, these can be in formulations that can be easily bypassed in case of commercial interest in the product, preferential patenting of technological processes, lack of comprehensive patent protection of the product. Such patenting errors make the development unattractive for investors and manufacturers, which leads to low commercializability of russian inventions. Thus, russian developers, who have significant scientific potential and competencies to create highly effective national products, do not proceed with technology transfer and cannot bring their promising and in-demand products to the market.

Keywords: traumatology, orthopedics, invention, utility model, patent, innovation.

Cite as: Erivantseva T.N., Tuzova S.Yu., Lyskov N.B., Blokhina Yu.V., Isamova A.A. Traumatology and Orthopedics in the Focus of Intellectual Property. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):124-135. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-15522>.

✉ Tatyana N. Erivantseva; e-mail: erivantseva@rupto.ru

Submitted: 01.08.2023. Accepted: 24.08.2023. Published online: 11.09.2023.

© Erivantseva T.N., Tuzova S.Yu., Lyskov N.B., Blokhina Yu.V., Isamova A.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Травматология и ортопедия является одним из наиболее технологичных и наукоемких направлений в современной медицине, поскольку ортопедические материалы и инструменты в большой степени определяют качество оказываемой населению медицинской помощи. Решение проблем хирургического лечения переломов костей и ортопедической патологии зачастую требует использования самых современных хирургических технологий и медицинских изделий (аппаратов, имплантатов), а также инструментария. Быстрое их совершенствование позволяет повысить вероятность благоприятного исхода специализированной медицинской помощи.

В настоящее время в мире отмечается высокий уровень травматизма и заболеваний костно-мышечной системы. Наиболее сильно затронуто такими болезнями население стран с высоким доходом (441 млн человек), далее следуют жители западной части Тихого океана (427 млн человек) и Юго-Восточной Азии (369 млн человек). Болезни костно-мышечной системы занимают ведущее место среди факторов инвалидности в мире¹.

По данным Минтруда, в Российской Федерации (РФ) более 600 тыс. граждан имеют нарушения опорно-двигательного аппарата, ежегодно выполняется более 1 млн 200 тыс. высокотехнологичных операций пациентам травматолого-ортопедического профиля².

Высокая потребность в травматолого-ортопедической помощи обуславливает значительный спрос на современные высокотехнологичные материалы, методики и изделия, что на фоне экономических санкций повышает актуальность использования именно отечественных разработок. Так, в 2022 г. распоряжением Правительства РФ определено, что в ближайшие три года свыше 2,7 млрд рублей будет направлено на модернизацию производств для выпуска медицинских изделий в области ортопедии и травматологии³, а в рамках Государственной программы РФ «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности» посредством реализации про-

екта реконструкции и технического перевооружения ФГУП «ЦИТО» к 2030 г. планируется увеличить долю отечественных изделий для травматологии и ортопедии до 30% и в перспективе полностью заместить импортную продукцию в этом сегменте⁴.

Следует отметить, что в настоящий момент доля импортных медицинских изделий, относящихся к травматологии и ортопедии, зарегистрированных в Государственном реестре медицинских изделий и организаций⁵, все еще превышает долю отечественных примерно в 1,5 раза. Так, в категории «Протезы суставов имплантируемые» российским производителям принадлежит 38% изделий, иностранным — 62% [1]. Таким образом, в свете ограничения поставки в Российскую Федерацию иностранных продуктов отечественные разработки в области травматологии и ортопедии являются весьма востребованными.

ПАТЕНТОВАНИЕ НОВЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Создание новых изделий и последующий вывод их на рынок требуют всесторонней охраны воплощенной в продукт уникальной информации о его устройстве, составе или технологии получения/изготовления [2, 3]. Зачастую средства (в том числе бюджетные), вложенные в разработку сверхконкурентного продукта, могут быть потрачены зря, если ее создатель не оформит свои права на нее, исключив тем самым возможность недобросовестным конкурентам скопировать продукт и производить его под собственными логотипами, а также предотвратив риск нарушения прав лиц, которые данную разработку уже запатентовали. Более того, вывод на рынок новых продуктов сопровождается публикацией охраняющих их патентных документов, и появление новых патентов косвенно свидетельствует о появлении новых разработок как на уровне отдельных компаний, так и страны в целом, демонстрируя уровень национального технологического суверенитета в определенной научно-технологической области. Анализируя патентную активность резидентов и нерезидентов⁶ на территории РФ, можно делать выводы как о проводимых

¹ Заболевания опорно-двигательного аппарата. 2023 г. Всемирная организация здравоохранения. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>.

² Минтруд: более 600 тысяч россиян живут с нарушениями опорно-двигательного аппарата. 30 марта 2021 г. Интерфакс Россия. Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/main/mintrud-bolee-600-tysyach-rossiyan-zhivut-s-narusheniyami-oporno-dvigatel'nogo-apparata>.

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 января 2022 года №24-р. Правительство России. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/138973/>.

⁴ Спектор В.С. Реализация программы импортозамещения в сфере травматологии и ортопедии. Санкт-Петербург, 2020 г. Человек и его здоровье. Режим доступа: <https://congress-ph.ru/common/htdocs/upload/fm/travma/20/prez/004.pdf>

⁵ Государственный реестр медицинских изделий и организаций. 2023 г. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения. Режим доступа: <https://roszdravnadzor.gov.ru/services/misearch>.

⁶ Под резидентами подразумеваются российские патентообладатели патентов Российской Федерации на изобретения и полезные модели, под нерезидентами — иностранные патентообладатели патентов Российской Федерации.

в стране разработках и направлениях технологического развития, так и о заполнении технологических ниш иностранными разработчиками.

Высокая востребованность в ортопедии инновационных материалов и методик обуславливает их активную разработку во всем мире. Травматология и ортопедия, наряду с офтальмологией и кардиологией, занимает одну из лидирующих позиций по количеству зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности среди других областей медицины. Наиболее активно патентуются разработки в области ортопедии и травматологии в США, странах Европы (имеется в виду региональное патентование в рамках европейской патентной организации) и Китае (табл. 1).

Таблица 1
Динамика патентования в мире
в 2003–2022 гг.

Год	Количество патентов, выданных патентными ведомствами					
	США	Европа	Китай	Япония	Корея	РФ
2003	990	535	43	214	85	202
2004	1217	731	70	281	83	190
2005	1217	617	104	270	101	238
2006	1369	725	110	231	161	226
2007	1292	687	147	292	139	253
2008	1280	790	146	407	133	185
2009	1404	758	225	460	161	219
2010	1688	657	182	348	150	164
2011	1761	765	209	315	185	158
2012	2015	837	286	365	210	110
2013	2308	887	298	484	196	123
2014	2610	955	424	488	235	131
2015	2474	942	506	427	207	164
2016	2624	1174	610	475	204	148
2017	2737	1120	732	471	208	117
2018	2642	1127	903	499	190	167
2019	2922	1161	876	453	220	165
2020	2737	1099	1050	457	259	189
2021	2849	1038	1402	475	283	163
2022	2773	929	1323	544	264	85
Всего	40909	17534	9646	7956	3674	3397

Лидером патентования является Китай, в котором количество полученных в 2022 г. патентов в 33 раза превышает количество патентов, полученных в РФ, или в 18 раз, если сравнивать патентную активность за 2019 г. (доковидный период).

Анализ патентования отечественных разработок в области травматологии и ортопедии на территории РФ показал, что в аспекте их коммерциализации существуют следующие риски:

- российские разработчики пренебрегают патентной охраной своих разработок при выводе их на рынок, что создает угрозы получения претензий со стороны других рыночных игроков, своевременно запатентовавших свои продукты, и несанкционированного использования иными лицами упомянутых разработок;

- российские разработчики не формируют стратегию правовой охраны своих разработок, в частности отдается предпочтение только патентованию режимных технологических процессов даже в случае разработки медицинского изделия, что делает запатентованную разработку коммерчески не привлекательной для инвестора либо уязвимой с точки зрения «обхода» такого патента конкурентами.

Разберем подробнее сложившуюся в РФ ситуацию в сфере патентования в области ортопедии и травматологии в аспекте потенциала ее коммерциализации.

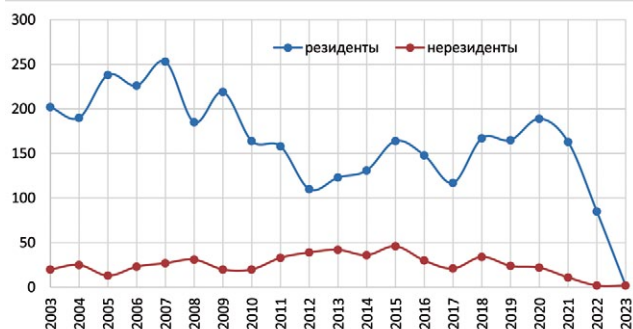
ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ПАТЕНТОВАНИЕМ РАЗРАБОТОК В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В РФ патентование отечественных разработок в области травматологии и ортопедии преобладает над зарубежными: резидентам принадлежит 87% патентов на изобретения и полезные модели (рис. 1).

К сожалению, в большом количестве случаев при выводе собственного продукта на рынок российские разработчики зачастую пренебрегают патентной охраной своих разработок, не уделяя должного внимания стратегии патентования, чем ставят свой продукт под угрозу предъявления претензий со стороны других рыночных игроков, успешно запатентовавших свои продукты. В случае наличия чужого действующего патента, мешающего выпуску отечественного продукта, необходимо иметь в виду, что нарушение чужих прав может привести к гражданско-правовой (ст. 1406.1 ГК РФ) и уголовной (ст. 147 ГК РФ) ответственности.

Таким образом, для своевременного занятия освобожденной рыночной ниши необходимо, прежде всего, оценить степень патентной охраны (на территории РФ) зарубежных продуктов ушедших компаний и статус выявленных охраняемых документов (действует или не действует).

Как известно, поддерживаемый патент (то есть действующий охранный документ) дает право патентообладателю запрещать третьим лицам использовать разработку в коммерческих целях и обратиться в суд с требованием получения компенсации и прекращения ее использования в случае установления факта неправомерного введения в оборот запатентованной разработки.



а



б

Рис. 1. Динамика патентования в области ортопедии и травматологии в Российской Федерации (данные за 2023 г. даны за 5 мес.): а — изобретений; б — полезных моделей

Fig. 1. Dynamics of patenting in orthopedics in the Russian Federation (data for 2023 are given for 5 months): а — inventions; б — utility models

Статус патента РФ является открытой информацией и публикуется на сайте ФИПС в разделе «Открытые реестры»⁷. При анализе патентов важно обращать внимание на правовой статус охранных документов, а также на оставшийся срок поддержания их в силе, если в наличии статус «действует». Статус «действует» свидетельствует

о том, что в рамках патента патентообладатель может воспользоваться всем спектром исключительных прав (статья 1229 ГК, статья 1358 ГК), в том числе запретительной функцией. Статус «не действует» указывает на то, что правовая охрана на запатентованную разработку более не распространяется и разработка перешла в общественное достояние (статья 1364 ГК), то есть ею может пользоваться любое лицо, и это не будет нарушением исключительных прав правообладателя. Так, например, анализ патентных документов за 20 лет показал, что действующим является в среднем каждый третий патент резидентов и каждый второй патент нерезидентов. Это позволяет сделать вывод о том, что нерезиденты больше заинтересованы в поддержке своих патентов ввиду введения в оборот своих разработок и получения временной монополии, в то время как резиденты относятся к получению охранного документа как к формальности, необходимой для составления отчета. Таким образом, поиск патентов на интересные технологии позволяет определить статус и оставшийся срок действия охранных документов, что необходимо для выработки стратегии поведения отечественных разработчиков на российском рынке.

Интересную картину показывает анализ патентования по различным областям травматологии и ортопедии (здесь и далее в анализ были включены только медицинские технологии без учета терапевтических методов лечения и профилактики). Исходя из данных патентной активности, основные разработки в анализируемой области относятся к таким направлениям, как «хирургические способы лечения», «имплантаты и протезы» и «устройства внешней и внутренней фиксации» (табл. 2). У резидентов большая часть патентов имеет статус «не действует», у нерезидентов практически по всем указанным направлениям наблюдается обратная картина: большинство патентов имеют статус «действует».

Всего по данным на 01.06.2023 в сфере травматологии и ортопедии действующими являлись 1282 патента, что составляет порядка 17% от общего количества полученных патентов в этой области за 20 лет. В то же время нерезиденты поддерживают в силе большее количество полученных патентов (54% патентов на изобретения и 60% патентов на полезные модели), чем резиденты (20% и 45% патентов соответственно), что демонстрирует отношение нерезидентов к охраняемым документам как к инструменту управления своими разработками при введении их в оборот (коммерциализации).

⁷ <https://www.fips.ru/registers-web/>

Таблица 2

Патентная активность по изобретениям/полезным моделям в области травматологии и ортопедии за 20 и 10 лет соответственно

Направление	Резиденты		Нерезиденты	
	Действующие патенты	Недействующие патенты	Действующие патенты	Недействующие патенты
Хирургические способы лечения	382/27	1713/79	8/0	17/1
Устройства внешней и внутренней фиксации	171/76	496/165	54/7	80/2
Инструменты для ортопедических операций	15/32	58/43	28/0	48/1
Имплантаты и протезы	28/159	48/77	147/0	83/3
Инструментальная диагностика (например, артроскопы)	0/0	2/0	0/0	0/0
Средства нехирургического лечения (например, корсеты и шины)	32/29	119/62	42/5	14/1
Вспомогательные устройства для передвижения (например, вкладыши в обувь, средства для управления протезами)	4/1	14/3	0/0	0/0

Следует отметить, что доля иностранных патентообладателей в рассматриваемой области на территории РФ составляет лишь 13% от всех зарегистрированных в стране патентных документов, однако, несмотря на активное патентование изобретений российскими разработчиками, картина на рынке абсолютно противоположная: доля российских производителей на рынке медицинских изделий для травматологии и ортопедии порядка 13%, что явно не соответствует отечественной изобретательской активности и демонстрирует высокий интерес иностранных производителей к российскому рынку в области травматологии и ортопедии. Это объясняется тем, что иностранные компании стараются защитить свои разработки патентами не только в той стране, где зарегистрирована компания и выпускается продукт, но и на территории других стран, в которых планируется рынок сбыта продукта, реализуя таким образом стратегию захвата иностранного рынка. Отечественные же разработчики, получив патент, далеко не всегда доводят запатентованную разработку до коммерциализации и тем более не задумываются о реализации стратегии надежной правовой охраны.

Другим важным фактором является принадлежность наибольшего количества патентов российских патентообладателей НИИ и вузам, а в случае иностранных — промышленным компаниям.

Следует отметить, что активное патентование разработок иностранными патентообладателями в чужой стране и продвижение своих товаров на рынок создает угрозу для формирования национального технологического суверенитета в рассматриваемой области и, соответственно, развития национального бизнеса. Это связано с формированием условий блокирования возможности национального патентования отечественных перспективных продуктов, что препятствует выводу их на рынок. Учитывая, что ежегодно в России проводится порядка 1 млн 216 тыс. операций в области травматологии и ортопедии, из которых более 250 тыс. — операции на суставах⁸, российский рынок является крайне привлекательным для зарубежных поставщиков.

При патентовании своей разработки следует помнить, что патент выполняет в том числе рекламную функцию (демонстрирует уникальность продукта и инновационный потенциал компании-патентообладателя) и выступает инструментом извлечения прибыли. Последняя функция обуславливается исключительно умением построения стратегии патентной охраны, которая, по сути, и позволяет использовать патент как инструмент для извлечения прибыли. Такое внимание иностранных компаний к нематериальным активам, которые зачастую определяются именно патентами, обусловлена умением компаний пользоваться

⁸ Невинная Н. Российские импланты помогут увеличить объемы ортопедической помощи. 11.04.2021. Российская газета. Режим доступа: <https://rg.ru/2021/04/11/rossijskie-implanty-pomogut-uvelichit-obemy-ortopedicheskoy-pomoshchi.html?ysclid=ijmko9udn0727263697>

патентом как инструментом по извлечению прибыли из своих разработок. С целью активизации финансовой функции патента и извлечения из этого максимальной прибыли иностранные разработчики и выстраивают стратегию патентования своих продуктов.

Так, нерезиденты преимущественно патентуют изобретения (в 93% случаев), в то время как российские разработчики предпочитают патентовать свои разработки в качестве изобретения только в два раза чаще полезных моделей. Полезную модель часто называют малым изобретением. Традиционно в мире в качестве полезных моделей охраняются разработки, касающиеся несложных с технической точки зрения решений, имеющих краткосрочный коммерческий цикл. При этом процедура рассмотрения заявок на полезные модели в патентных ведомствах проще и быстрее, нежели заявок на изобретения. Полезные модели, по сути, являются надежным объектом охраны для предприятий малого и среднего бизнеса, преимущественно выпускающих незначительно усовершенствованные известные продукты. Ресурсоемкие, инновационные решения охраняются согласно мировой практике в качестве иного объекта патентного права — изобретения.

Кроме того, эффективность стратегии патентной охраны преимущественно зависит от выбора того, как ключевая разработка запатентована. Например, распределение патентов по предметам патентования у резидентов и нерезидентов кардинально различается. У отечественных патентообладателей в 70% случаев объектом изобретений является «способ» (технология получения, технология изготовления, способ лечения/профилактики/диагностики и т.д.), тогда как у иностранных в 92% случаев — «продукт» (состав/материал, конструкция какого-либо устройства/детали и т.д.). Это связано, прежде всего, с тем, что иностранные компании предпочитают патентовать то, что наиболее легко может быть выявлено при отслеживании нарушения исключительных прав, а это «продукт». Например, в случае создания костного имплантата важно запатентовать основной (базовый, всегда используемый) состав костного имплантата и его конструктивные особенности (именно эти объекты позволяют выявить третьих лиц, несанкционированно использующих данную разработку). Безусловно, технологию (способ) получения этого имплантата и его использования также можно патентовать. Но базовой разработкой, первоначально патентуемой, должен быть продукт. При этом особенности, недоступные для выявления третьими лицами, целесообразно охранять в режиме ноу-хау.

При выстраивании стратегии правовой охраны разработки крайне важно осторожно относиться

к формулировкам характеристик продукта или способа. Например, некоторые технологические особенности получения (температурно-временные режимы, растворители и т.д.) или применения (варьируемые в зависимости от индивидуальных особенностей пациента или течения заболевания), которые достаточно сложно выявляются при исследовании продукта, целесообразно сохранить в режиме коммерческой тайны или постараться изложить их на функциональном уровне (при наличии такой возможности), минимизируя тем самым риск «обхода» (создания аналогичного продукта/способа с незначительными изменениями характеристик запатентованной разработки) конкурентами запатентованной разработки.

ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЕЙ РАЗРАБОТОК В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Одним из показателей востребованности запатентованной разработки является срок поддержания патента в силе. Из всех проанализированных направлений в области травматологии и ортопедии субтехнология «Имплантаты и протезы» имеет наибольший срок поддержания патентов на изобретение в силе: в среднем 7 лет у резидентов и 10 лет у нерезидентов. Из этого можно сделать вывод о том, что данная субтехнология является одной из наиболее успешных в аспекте коммерциализации разработок.

Также одни из наиболее продолжительных сроков поддержания патентов на изобретение в силе отмечаются еще по двум направлениям:

- «средства нехирургического лечения (например, корсеты и шины)» — в среднем 8 лет как для резидентов, так и для нерезидентов;
- «устройства внешней и внутренней фиксации» — в среднем 6 лет для нерезидентов и 9 лет для резидентов.

Следует особо отметить, что практически по всем направлениям в области травматологии и ортопедии средний срок поддержания патентов в силе у резидентов не превышает 5 лет, а в большом количестве случаев патент на полезную модель не поддерживается сразу после получения охранного документа, что свидетельствует о низком уровне коммерческой привлекательности российских разработок и неактуальности их с точки зрения востребованности рынком. В среднем срок поддержания патентов на изобретения у резидентов составляет 5,6 лет, а у нерезидентов — 8,7 лет.

Большой срок поддержания патентов в силе у нерезидентов, скорее всего, свидетельствует о более активном коммерческом использовании ими своих патентов. В этой связи возникает закономерный вопрос о причинах некоммерциализуемости большинства патентов российских раз-

работчиков. Вероятно, одной из них является то, что преобладающими патентообладателями в нашей стране являются НИИ и вузы, не реализующие трансфер технологий.

Из анализа общего широкого спектра запатентованных НИИ и вузами отечественных продуктов можно сделать вывод, что у российских разработчиков имеется значительный научный потенциал и компетенции для создания высокоэффективных отечественных продуктов (рис. 2). Однако сравнение данных о патентовании и распоряжении правом интеллектуальной собственности свидетельствует о том, что до коммерциализации доходит крайне низкий процент разработок в области ортопедии, то есть отсутствует трансфер технологий (табл. 3). Например, из 1222 патентов НИИ на изобретение только по четырем (!) было зарегистрировано распоряжение правом, что никак не согласуется с затраченными средствами федерального бюджета⁹.

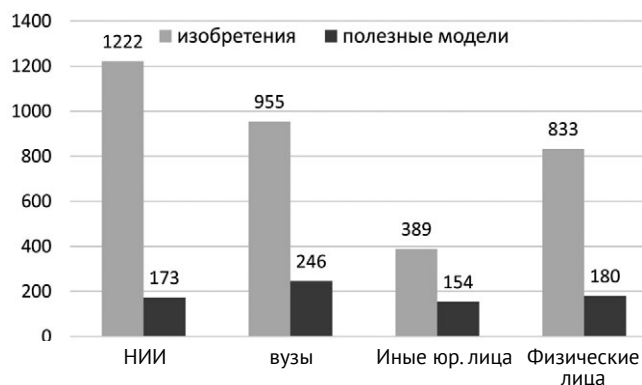


Рис. 2. Активность патентования изобретений за 20 лет и полезных моделей за 10 лет различными категориями патентообладателей

Fig. 2. Patenting activity of inventions (over 20 years) and utility models (over 10 years) by different categories of patentees

Одной из причин столь малой коммерциализуемости разработок вузов и НИИ является тот факт, что при патентовании они отдают предпочтение регистрации патентных прав на режимные технологии лечения и диагностики. Это можно объяснить низким уровнем образования в области интеллектуальной собственности. Кроме того, некоторые исследователи указывают на то, что основным направлением деятельности вузов и НИИ является разработка новых методов оперативного лечения пациентов с патологией опорно-двигательной системы, методов лечения и профилактики послеоперационных осложнений, а также персонализированная медицина (регенеративная медицина, аддитивные технологии)¹⁰, которые являются коммерчески непривлекательными для рынка ввиду своей низкой монетизируемости.

Еще одной причиной является получение исследователями из вузов и НИИ патентов на свои разработки для требуемой отчетности при получении грантов или в качестве доказательства новизны и практической значимости предложенных методов и решений при защите кандидатских и докторских диссертаций. В связи с этим в большинстве случаев вузы и НИИ не придают большого значения тому, что и как патентовать, поскольку в изначально не планируется коммерциализация разработок.

Перечисленные причины фактически в своей основе имеют банальное неумение патентовать свои разработки так, чтобы они были коммерчески привлекательными для производителей. Например, вместо патентования собственно продуктов, в которых заинтересованы предприятия, патентуются только технологии (режимные способы), причем в формулировках, которые достаточно легко обойти при наличии коммерческого интереса к продукту.

Таблица 3

Распоряжение правом на различные объекты интеллектуальной собственности разными патентообладателями за период 20 лет для изобретений и 10 лет для полезных моделей

Патенты РФ	Вузы		НИИ		Иные юридические лица		Физические лица	
	д	н/д	д	н/д	д	н/д	д	н/д
Изобретения	7	0	3	1	13	0	3	4
Полезные модели	5	2	3	3	14	2	3	3

д — действует, н/д — не действует.

⁹ Например, в 2021 г. объем ассигнований из федерального бюджета составил 626,6 млрд руб., а в 2022 г. — 631,7 млрд руб. [Цена российской науки: расходы федерального бюджета. 26.07.2023. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Режим доступа: <https://issek.hse.ru/news/848712418.html>].

¹⁰ Публичный отчет ФГБУ «НМИЦ им. Н.Н. Приорова» Минздрава России за 2021 год. Режим доступа: <https://www.cito-priorov.ru/cito/Публичный%20отчет.pdf>.

Анализ патентной активности подтверждает вышеуказанные выводы. Так, предприятия, заинтересованные в коммерциализации своих разработок, предпочитают патентовать «продукты», а вузы и НИИ, где превалирует исследовательский интерес, патентуют «способы» (рис. 3).

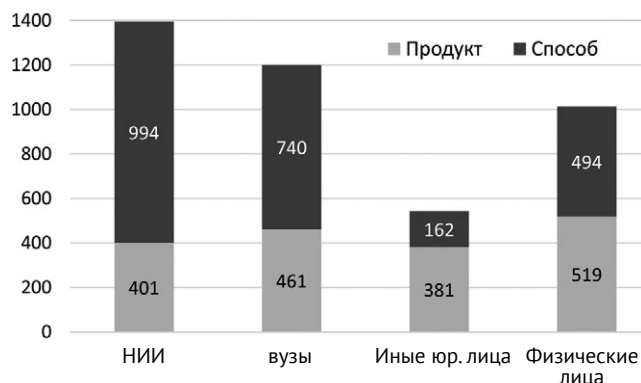


Рис. 3. Предметы патентования в Российской Федерации различными категориями патентообладателей за 20 лет

Fig. 3. Subjects of patenting in the Russian Federation by different categories of patentees over the last 20 years

Стоит особо отметить, что научные центры, в которых ученые и врачи разрабатывают новые методы оперативного лечения пациентов, медицинские инструменты и аппаратуру, обладают современным оборудованием, характеризующимся уникальными исследовательскими функциями, которые могут быть интересны для производственных компаний при создании инновационных продуктов. При этом патентными правами на созданные продукты могут обладать совместно как ученые или врачи, так и производственные компании. Например, НИИ обладают оборудованием, позволяющим реализовать аддитивные технологии и проектировать ортопедическую конструкцию с учетом индивидуальных особенностей костного дефекта [4]. Нарастающая популярность аддитивных технологий в травматологии и ортопедии может также способствовать увеличению активности в разработке и регистрации новых способов, связанных с 3D-реконструкцией анатомических структур и созданием виртуальной модели костного дефекта, производством и имплантацией персонифицированных имплантов. Однако регистрируется в качестве патента на изобретение или полезную модель крайне низкое количество совместных разработок ученых и про-

изводителей. При этом значительного количества передачи патентных прав от ученых производственным компаниям также нет, и в целом отмечается низкое количество распоряжений правом в рассматриваемой области.

Передача прав на такой объект патентного права, как способ, была осуществлена за последние 20 лет в 10 случаях из 66, причем из этих 10 патентов в настоящий момент не действуют 3 патента.

Процесс получения охраны исключительных прав в сфере интеллектуальной собственности на объекты РИД, перечисленные в рамках п. 1 ст. 1225 ГК РФ, части четвертой¹¹, введенной в действие с 01 января 2008 г. Федеральным законом от 18 декабря 2006 г. № 231-ФЗ, с учетом изменений¹², вступивших в силу с 26 июля 2019 г., является актуальной задачей для обеспечения устойчивого роста российской экономики.

Во всем мире высокие технологии и интеллектуальная собственность являются неразрывно связанными факторами развития экономики, обеспечивая устойчивый инновационный курс развития отрасли и страны. При этом формирование конкурентоспособных отраслей и производств, расширение рынка наукоемкой продукции невозможно без обеспечения эффективной защиты интеллектуальной собственности [6]. Интеллектуальная собственность является одним из важнейших стратегических активов предприятия в связи с тем, что технологические разработки являются основой всего бизнес-процесса реализации продукта. Новейшие передовые технологии, инновации, в которых воплощены результаты интеллектуальной деятельности, становятся основным двигателем научно-технического процесса как на отдельных предприятиях в различных отраслях промышленности, так и государства в целом.

Известно, что коммерческий успех разработки тесно связан с обеспечением правовой охраны всех ее составляющих, с помощью которых обеспечивается получение нового продукта или способа [3]. К сожалению, в большинстве случаев российские патентообладатели ограничиваются только патентной охраной одного компонента созданной технологии, не заботясь об охране всех ее составляющих, возможных вариантов/форм его производства или использования.

При построении стратегии патентной охраны своего продукта следует помнить, что [3]:

– получить патентную охрану необходимо на все содержащиеся в разработке потенциально ох-

¹¹ Гражданский кодекс Российской Федерации — часть четвертая (с изм. на 5 декабря 2022 года, редакция, действующая с 29 июня 2023 года).

¹² Федеральный закон от 12.03.2014 г. № 35-ФЗ «О внесении изменений в части первую, вторую и четвертую Гражданского кодекса Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Российская газета. № 59. 14.03.2014.

раноспособные части разработки, которые могут быть воспроизведены третьими лицами при ознакомлении с новой разработкой;

– в формуле изобретения необходимо использовать характеристики — индикаторы технологии, которые легко выявить при отслеживании нарушения прав, которые не будут зависеть от прибора, на котором получены;

– в заявке необходимо описать полученный продукт с учетом возможных вариантов его выполнения (составов, отдельных деталей, технологий получения/выполнения и т.д.), со всеми модификациями и возможными усовершенствованиями;

– патент действует на территории того государства, в котором выдан, а значит, целесообразно при формировании стратегии задуматься над перспективами продвижения разработки в другие страны, следовательно, о зарубежном патентовании;

– начитать патентование необходимо с ключевой (базовой) технологии, постепенно переходя к частным формам ее использования.

Разберем подробнее указанные принципы формирования патентной охраны на примерах.

Коммерчески успешный подход к патентованию своих разработок можно продемонстрировать на разработке компании Stryker (США). Согласно публичному отчету за 2022 г., объем продаж компании составил 18,4 млрд \$. В общей сложности компания владеет более 12 000 патентами, из них в области травматологии и ортопедии зарегистрировано 566 патентов, что принесло компании около 7,7 млрд \$ (42% от общего объема продаж) за 2022 год¹⁵. Следует отметить комплексный подход данной компании к защите своей интеллектуальной собственности. Так, например, хирургическая роботизированная система для замены суставов Mako охраняется 79 патентами. Причем компания патентует свои разработки не только на территории США, но и за рубежом. Так, странами интереса являются Япония, Китай, Австралия, Корея, Европа. Система для лечения позвоночника Mesa Spinal Systems той же компании охраняется 29 патентами.

Схематично комплексный подход к получению правовой охраны разработки можно продемонстрировать на условном примере ортопедического гексапода, применяющегося в ортопедии для коррекции сложных многоплоскостных деформаций костей конечностей. Отдельные части данного прибора могут охраняться несколькими документами как патентного права, так и авторского. Кроме того, в качестве торгового знака можно зарегистрировать название этого прибора или логотип фирмы-изготовителя (рис. 4).

Другой важный аспект патентной охраны часто выявляется в случае выставления кому-либо обвинения в недобросовестной конкуренции, а именно — копировании чужого продукта. Вопрос об использовании изобретения или полезной модели решается в рамках сопоставительного анализа независимого пункта формулы и анализируе-



Рис. 4. Варианты объектов, на которые можно получить правовую охрану, на примере роботизированной системы внешней фиксации для коррекции деформации костей [6]

Fig. 4. Variants of objects for which legal protection can be obtained by using a distraction apparatus for osteosynthesis as an example [6]

¹⁵ Comprehensive Report (Financial, environmental, social and governance). 2022. Stryker. Режим доступа: https://s22.q4cdn.com/857738142/files/doc_financials/annuals/2022/SKY-002_2022-Comprehensive-Report_Full-report_FINAL_ADA.pdf.

мого объекта — продукта или способа с учетом положений ст. 1358 ГК РФ. При этом учету подлежат все признаки, приведенные в независимом пункте.

Таким образом, очевидно, что чем меньше признаков в независимом пункте и шире степень их обобщения, тем эффективнее охрана запатентованного технического решения (безусловно, при этом важно учитывать предшествующий уровень знаний).

Разные подходы к составлению формулы изобретения в российских и иностранных патентах можно продемонстрировать на двух патентах — российского и американского патентообладателей. В патенте РФ № 2670697 от 24.10.2018 «Способ хирургического лечения хронической латеральной нестабильности голеностопного сустава с передне-латеральным доступом» российского разработчика наблюдается значительное сужение патентных прав ввиду слишком подробного описания всех этапов хирургической операции: разработчик подробно описывает укладку пациента, асептическую обработку операционного поля, установку портов; указывает угол зрения артроскопа, длину разрезов, материал и толщину нитей для сшивания. При этом следует учитывать, что описываемые предварительные этапы операции являются, как правило, стандартными, также как и используемый операционный инструментарий, если только он не является предметом патентования.

Как указано в ст. 1358 ГК РФ п. 3:

– изобретение признается использованным в продукте или способе, если продукт содержит, а в способе использован каждый признак изобретения, приведенный в независимом пункте содержащейся в патенте формулы изобретения, либо признак, эквивалентный ему и ставший известным в качестве такового в данной области техники до даты приоритета изобретения.

– полезная модель признается использованной в продукте, если продукт содержит каждый признак полезной модели, приведенный в независимом пункте содержащейся в патенте формулы полезной модели.

В качестве примера составления формулы иностранными разработчиками можно привести патент США № 11338061 от 24.05.2022 «Способ лечения костного дефекта», в котором раскрыта суть разработки — установка костного трансплантата из определенного материала, а в отношении этапа его установки указано лишь то, что ему при-

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Эриванцева Т.Н. — дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, написание текста статьи.

Тузова С.Ю. — дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ данных.

дают необходимую форму и размер для введения в костный дефект и осуществляют вживление сформированного имплантата в костный дефект.

Излишне детализированное описание устройства можно продемонстрировать на примере российского патента № 2766250, 10.02.2022 «Имплантат для замещения зоны костного дефекта на передней поверхности гленоида лопатки плечевого сустава», где формула изобретения перегружена несущественными приемами, характеризующими, например, подготовительные этапы изготовления имплантата — МСКТ, указание на трехмерную реконструкцию имплантата и его индивидуальность, использование которых чрезвычайно сужает объем патентной защиты. Такой патент легко обойти конкурентам, не рискуя нарушить права патентообладателя рассматриваемого патента. В противовес ему в качестве примера правильно составленной формулы изобретения можно привести патент США № 9775712 от 03.10.2017 «Остеокондуктивный и остеоиндуктивный имплантат для стабилизации или реконструкции дефектов», где описаны исключительно те признаки, которые характеризуют непосредственно имплантат, причем используется прием описания конструктивных элементов, описанных на уровне выполняемой функции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вывод нового продукта на рынок рискован без надежной патентной охраны. Грамотно выстроенная стратегия правовой охраны позволяет сделать продукт привлекательным для рынка и инвесторов, тем самым извлечь из него максимальную прибыль.

Анализ патентной активности показал, что для насыщения рынка отечественными изделиями для травматологии и ортопедии предпочтительна коллаборация между крупнейшими научно-клиническими центрами, имеющими возможность разработать продукт, создать доказательную базу, демонстрирующую безопасность и надежность производимых изделий, и научно-производственными центрами, имеющими компетенции в его производстве и выводе на рынок.

Продуманная стратегия управления правовой охраны создаваемых отечественных разработок в сфере травматологии и ортопедии должна сопровождать разработку на протяжении всего срока ее существования.

DISCLAIMERS

Author contribution

Erivantseva T.N. — study design, literature search and analysis, data analysis and interpretation, writing the article.

Tuzova S.Yu. — study design, literature search and analysis, data analysis and interpretation.

Лысков Н.Б. — сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование статьи.

Блохина Ю.В. — сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование текста статьи.

Исамова А.А. — сбор, анализ и интерпретация 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. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный 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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Ванин А. Рынок медизделий: основные факторы на рынке медизделий для остеосинтеза. *Ремедиум*. 2004;(4-6):92-94. doi: 10.21518/1561-5936-2020-4-5-6-92-94
Vanin A. Medical devices market: main factors in the osteosynthesis devices market. *Remedium*. 2004;(4-6):92-94. (In Russian). doi: 10.21518/1561-5936-2020-4-5-6-92-94.
- Эриванцева Т.Н. Патентование разработок в области нейрохирургии: реальность и перспективы. *Хирургия позвоночника*. 2019;16(1):88-93. doi: 10.14531/ss2019.1.88-93.
Erivantseva T.N. Patenting of developments in the field of neurosurgery: reality and prospects. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2019;16(1):88-93. (In Russian). doi: 10.14531/ss2019.1.88-93.
- Эриванцева Т.Н. Патентная стратегия или Как сделать так, чтобы интеллектуальная собственность работала. Москва: ПЛАНЕТА; 2021. с. 48.

Lyskov N.B. — data collection and processing data analysis and interpretation, drafting the article.

Blokhina Yu.V. — data collection and processing data analysis and interpretation, drafting the article..

Isamova A.A. — data collection and processing data analysis and interpretation, drafting the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

Erivantseva T.N. Patent Strategy or How to Make Intellectual Property Work. Moscow: PLANETA; 2021. p. 48. (In Russian).

- Гольник В.Н., Пелеганчук В.А. Интеграция цифровых технологий в ортопедии: персонифицированные импланты в ревизионной артропластике. *Opinion Leader*. 2021;(44):50-54.
Gol'nik V.N., Peleganchuk V.A. Integrating digital technology in the orthopedics: the personalized implants in the revision arthroplasty. *Opinion Leader*. 2021;(44):50-54. (In Russian).
- Бут Н.Д., Паламарчук А.В. Теоретические и практические основы защиты интеллектуальной собственности. Москва: Аванта+; 2011. с. 217.
But N.D., Palamarchuk A.V. Theoretical and practical bases of intellectual property protection. Moscow: Avanta+; 2011. p. 217.
- Gigi R., Mor J., Lidor I., Ovadia D., Segev E. Auto Strut: a novel smart robotic system for external fixation device for bone deformity correction, a preliminary experience. *J Child Orthop*. 2021;15(2):130-136. doi: 10.1302/1863-2548.15.210063.

Сведения об авторах

✉ Эриванцева Татьяна Николаевна — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 125993, г. Москва, Бережковская наб., д. 30, корп. 1
<https://orcid.org/0000-0002-7891-9776>
e-mail: erivantseva@rupto.ru

Тузова Светлана Юрьевна — канд. хим. наук
<https://orcid.org/0000-0001-5988-4726>
e-mail: svetlana.tuzova@rupto.ru

Лысков Николай Борисович
<https://orcid.org/0000-0003-4655-9275>
e-mail: otd1463@rupto.ru

Блохина Юлия Валерьевна
<https://orcid.org/0000-0002-7288-0137>
e-mail: yblokhina@rupto.ru

Исамова Анна Андреевна
<https://orcid.org/0009-0003-0726-6629>
e-mail: anna.isamova@rupto.ru

Authors' information

✉ Tatyana N. Erivantseva — Cand. Sci. (Med.)
Address: 30-1, Berezhkovskaya emb., Moscow, 125993, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-7891-9776>
e-mail: erivantseva@rupto.ru

Svetlana Yu. Tuzova — Cand. Sci. (Chem.)
<https://orcid.org/0000-0001-5988-4726>
e-mail: svetlana.tuzova@rupto.ru

Nikolay B. Lyskov
<https://orcid.org/0000-0003-4655-9275>
e-mail: otd1463@rupto.ru

Yulia V. Blokhina
<https://orcid.org/0000-0002-7288-0137>
e-mail: yblokhina@rupto.ru

Anna A. Isamova
<https://orcid.org/0009-0003-0726-6629>
e-mail: anna.isamova@rupto.ru

Обзорная статья

УДК 616.728.38-007.251-089.844-089.193.4

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>

Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы)

А.С. Гофер, А.А. Алекперов, М.Б. Гуражев, А.К. Авдеев, В.В. Павлов,
А.А. Корыткин

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

Реферат

Актуальность. Количество первичных реконструкций передней крестообразной связки (ПКС) ежегодно увеличивается, что обуславливает рост ревизионных вмешательств из-за несостоятельности трансплантата ПКС. При изучении литературных данных выявляется множество факторов, которые в совокупности влияют на исход ревизионной реконструкции ПКС, но не всегда учитываются хирургами.

Цель исследования — провести систематический обзор исследований, в которых оценивались результаты ревизионных реконструкций передней крестообразной связки и определить оптимальные решения наиболее часто встречающихся задач, возникающих при предоперационном планировании.

Материал и методы. Проведен информационный поиск в базах данных eLIBRARY, PubMed и Scopus за период с 2013 по 2022 г. Для анализа отобраны исследования, в которых описывались основные аспекты ревизионной реконструкции ПКС. Критерии включения: средний срок наблюдения пациентов не менее 12 мес., количество наблюдений не менее 10 случаев. После оценки 898 статей в систематический обзор было включено 22 статьи.

Результаты. Выявлено пять основных факторов, которые нужно учитывать при предоперационном планировании ревизионной реконструкции ПКС: выбор трансплантата, необходимость реконструкции переднелатерального комплекса, коррекция деформации плато большеберцовой кости в сагиттальной плоскости, определение показаний к одно- или двухэтапному вмешательству, метод замещения костных дефектов при двухэтапном оперативном лечении.

Заключение. Предпочтение при выборе трансплантата должно отдаваться аутоканям пациента. Коррекция избыточного переднезаднего угла наклона плато большеберцовой кости выполняется только при повторном ревизионном вмешательстве, если угол наклона превышает 12°. Восстановление переднелатерального комплекса должно выполняться молодым, активным пациентам, которые занимаются «поворотными» видами спорта, а также при наличии выраженной передней нестабильности. При определении возможности выполнения ревизионной пластики ПКС в один или два этапа диаметр канала не является основополагающим параметром, так как необходимо учитывать возможность слияния каналов от предшествующей операции с вновь проведенными. При наличии каналов с корректными точками входа одноэтапная ревизионная пластика может быть выполнена при ширине канала не более 10 мм и в зависимости от предполагаемого диаметра и вида подготовленного сухожильного трансплантата. Костная пластика вторично расширенных каналов при двухэтапном вмешательстве может осуществляться любым материалом, однако аллокостные или синтетические трансплантаты обладают определенными преимуществами.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, артроскопия коленного сустава, пластика ПКС, ревизионная реконструкция ПКС.

Для цитирования: Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А. Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):136-148. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.

Гофер Антон Сергеевич; e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Рукопись получена: 19.01.2023. Рукопись одобрена: 23.06.2023. Статья опубликована онлайн: 30.08.2023.

© Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А., 2023



Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Approaches to Preoperative Planning (Systematic Review)

Anton S. Gofer, Aleksandr A. Alekperov, Mikhail B. Gurazhev, Artem K. Avdeev, Vitaliy V. Pavlov, Andrey A. Korytkin

Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

Abstract

Background. The number of primary anterior cruciate ligament (ACL) reconstructions increases every year, which causes an increase in revision interventions due to ACL graft failure. When studying the literature, we identify many factors that together influence the outcome of revision ACL reconstruction, but are not always taken into account by surgeons.

Aim of the review – is to perform a systematic review of studies that evaluated the outcomes of revision anterior cruciate ligament reconstructions and to identify optimal solutions to the most common problems encountered in preoperative planning.

Methods. Information search was performed in the eLIBRARY, PubMed, and Scopus databases for the period from 2013 to 2022. Studies describing the main aspects of revision ACL reconstruction were selected for analysis. Inclusion criteria were the following: mean patient follow-up period of no less than 12 months, number of observations of no less than 10 cases. After evaluation of 898 articles, 22 articles were included in the systematic review.

Results. Five main factors that should be taken into account in preoperative planning of revision ACL reconstruction have been identified: choice of the graft, necessity of reconstruction of the anterolateral complex, correction of tibial plateau deformity in the sagittal plane, determination of indications for one- or two-stage intervention, method of bone defect replacement in two-stage surgical treatment.

Conclusion. The patient's autogenous tissues should be preferred when choosing a graft. Correction of excessive anteroposterior tibial plateau inclination angle is performed only at the second revision intervention if the inclination angle exceeds 12°. Reconstruction of the anterolateral complex should be performed in young, active patients who are involved in pivot sports and in case of severe anterior instability. When determining the possibility of performing revision ACL reconstruction in one or two stages, the canal diameter is not a crucial parameter, as it is necessary to take into account the possibility of fusion of the canals from the previous surgery with the newly created ones. If the canals have correct entry points, one-stage revision reconstruction can be performed with the canal width not exceeding 10 mm and depending on the expected diameter and type of the prepared tendon graft. Bone grafting of the secondary dilated canals in two-stage intervention can be carried out using any material, but allogeneous bone or synthetic grafts have certain advantages.

Keywords: anterior cruciate ligament, knee arthroscopy, ACL reconstruction, ACL revision reconstruction.

Cite as: Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Approaches to Preoperative Planning (Systematic Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):136-148. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.

✉ Anton S. Gofer; e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Submitted: 19.01.2023. Accepted: 23.06.2023. Published online: 30.08.2023.

© Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Разрыв передней крестообразной связки (ПКС) — одно из самых частых внутрисуставных повреждений коленного сустава. По данным литературы, встречаемость данной травмы составляет 36,9–60,9 случаев на 100 тыс. человек [1, 2, 3, 4, 5]. Учитывая высокую частоту данного повреждения, число первичных реконструкций ПКС увеличивается каждый год. Соответственно, увеличивается и число выполняемых ревизионных вмешательств из-за несостоятельности или повторного повреждения трансплантата ПКС. За последние десятилетия частота выполнения ревизионной реконструкции ПКС выросла с 4,1 до 13,3% [6, 7, 8].

Повторная реконструкция ПКС является более сложным оперативным вмешательством, чем первичная, вследствие ряда особенностей:

- нестандартная техника операции [4, 9, 10];
- увеличенное время операции [10];
- необходимость использования специализированного инструментария [3, 5, 10];
- использование ревизионных имплантатов [7, 9];
- наличие сопутствующих внутрисуставных повреждений коленного сустава [9, 10, 11].

Для получения хорошего клинического результата ревизионной пластики ПКС требуется понимание причин первоначальной неудачи, так как эти данные необходимы для выполнения адекватного предоперационного планирования, технической корректировки самой операции и последующей реабилитации пациента [12].

Согласно современным литературным данным, планирование ревизионного вмешательства на ПКС должно включать следующие аспекты:

- выбор трансплантата для ревизионной реконструкции ПКС [13, 14];
- выбор одно- или двухэтапной техники операции [15, 16, 17];
- выбор материала для замещения костных дефектов при двухэтапном вмешательстве [18, 19];
- необходимость восстановления переднелатерального комплекса (ПЛК): пластика антеролатеральной связки (АЛС) или латеральный экстраартикулярный тенодез (ЛЭТ) [20, 21, 22];
- необходимость коррекции избыточного угла наклона плато большеберцовой кости (ПБК) в сагиттальной плоскости [23, 24, 25, 26].

Таким образом, в тактике лечения при рецидиве нестабильности коленного сустава после первичной реконструкции ПКС остается множество аспектов, требующих более детального изучения. Актуальность этой темы и отсутствие единого мнения относительно подхода к выполнению ревизионной реконструкции ПКС послужило поводом

для проведения систематического обзора литературы и определило цель исследования.

Цель исследования — провести систематический обзор исследований, в которых оценивались результаты ревизионных реконструкций передней крестообразной связки и определить оптимальные решения наиболее часто встречающихся задач, возникающих при предоперационном планировании.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведен информационный поиск в базах данных eLIBRARY, PubMed и Scopus. Глубина поиска нашего исследования составила 9 лет — с 2013 по 2022 г. Для поиска русскоязычных работ использовались ключевые слова: ревизионная артроскопия коленного сустава, несостоятельность трансплантата ПКС, ревизионная реконструкция ПКС. Для поиска в зарубежных источниках — ACL revision surgery, ACL graft failure, anterior cruciate ligament reconstruction.

Алгоритм отбора публикаций представлен на блок-схеме, выполненной по рекомендациям PRISMA для систематических обзоров и метаанализов (рис. 1).

Критерии включения в количественный анализ: средний срок наблюдения пациентов не менее 12 мес., количество наблюдений не менее 10 случаев. При соблюдении заданных критериев включения не выявлено публикаций, связанных с применением ауто трансплантата сухожилия длинной малоберцовой мышцы для выполнения ревизионных вмешательств по поводу повреждения трансплантата ПКС, а также обнаружено ограниченное количество исследований, относящихся к выявлению влияния избыточного переднезаднего угла наклона ПБК на исходы реконструкций ПКС. На этом основании нами сделаны вынужденные исключения для трех статей: в двух публикациях [27, 28] описано использование сухожилия длинной малоберцовой мышцы при выполнении первичной реконструкции ПКС, что не соответствует критерию включения, касающегося рассмотрения статей именно ревизионных реконструкций ПКС, а в исследовании, где описана коррекция деформации ПБК [23], описано 9 случаев, что не соответствует критериям по количеству случаев. В конечном итоге с учетом всех критериев для количественного анализа было отобрано 22 публикации, в том числе три метаанализа [15, 21, 27] (табл. 1).

Статистический анализ

Для оценки данных применялись методы описательной статистики: данные выражались как средние (M) со стандартными отклонениями (SD) и максимальным (max) и минимальным (min) значениями.

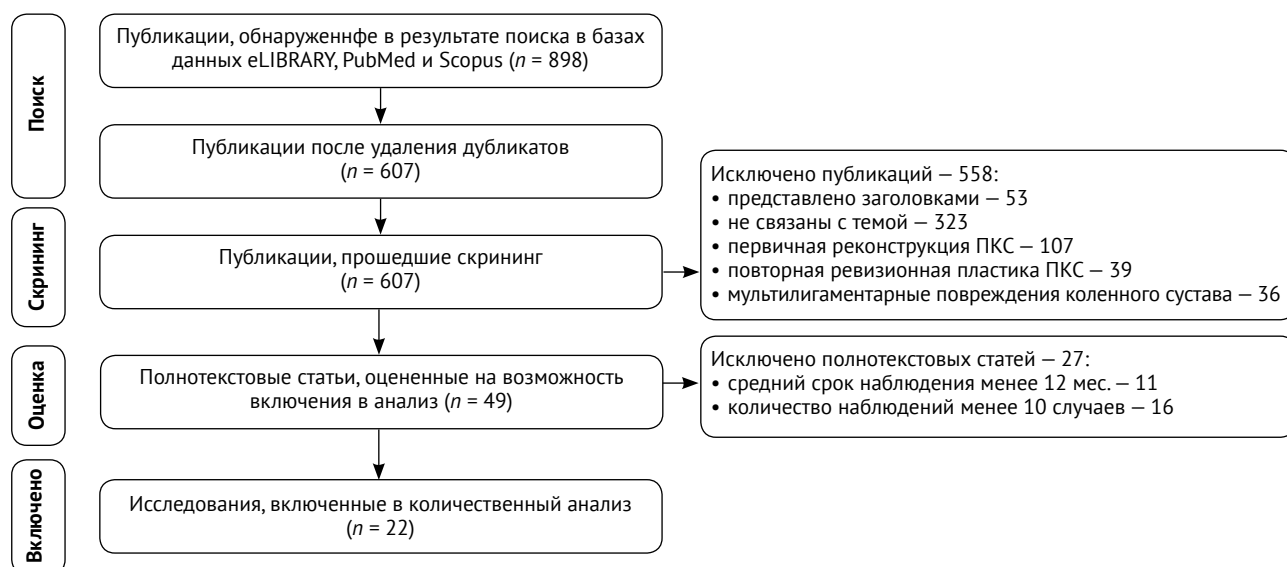


Рис. 1. Блок-схема поиска и отбора публикаций
 Рис. 1. Flow chart of literature search and selection

Таблица 1

Статьи, отобранные для количественного анализа

Авторы	Уровень доказательности	Год	Кол-во случаев	Средний возраст, лет	Средний срок наблюдения, мес.
Colatruglio M. [15]	IV	2020	524	–	49
von Recum J. [18]	I	2020	40	31	24
Louis M. [20]	IV	2017	349	29	48
Grassi A. [21]	IV	2020	851	28	58
Dejour D. [23]	III	2015	9	30	48
He J. [27]	II	2021	925	27	19
Goyal T. [28]	IV	2021	10	33	12
MARS Group [29]	II	2014	1200	26	24
Nissen K.A. [30]	III	2018	1619	29	12
Barié A. [31]	III	2019	78	30	52
Winkler P.W. [32]	III	2022	260	26	72
Eggeling L. [33]	III	2021	114	29	27
Ahn J.-H. [34]	III	2020	93	–	24
Mitchell J. [35]	III	2017	88	31	24
Dragoo J. [36]	IV	2018	18	26	24
Werner B.C. [37]	IV	2016	16	28	32
Prall W. [38]	IV	2020	103	29	12
Franceschi F. [39]	III	2013	30	29	60
Alm L. [40]	IV	2020	73	31	24
Winkler P. [41]	III	2021	102	23	62
Napier R. [26]	III	2019	330	25	24
Akoto R. [42]	IV	2020	20	27	30

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общее количество клинических наблюдений составило 3238: минимальное количество — 9 человек, максимальное — 1619. Сроки наблюдения составили в среднем $33,9 \pm 18,3$ мес. (от 12 до 72 мес.). Средний возраст пациентов — $28,8 \pm 2,6$ года (от 23 до 33 лет, Me = 29 лет). В 19 исследованиях было приведено соотношение мужчин и женщин: в среднем 59,7% мужчин и 40,3% женщин.

При проведении систематического обзора литературы были выявлены наиболее часто встречающиеся проблемы, которые для оптимизации обзора были разделены на два блока.

Первый блок: определение типа трансплантата. Двумя основными категориями трансплантатов являлись алло- и аутографты. В 2353 случаях использовали различные варианты аутотрансплантатов, наиболее часто встречающимися типами являлись сухожилия подколенных сгибателей голени (НТ) — 1420, четырехглавой мышцы бедра (QT) — 415, длинной малоберцовой мышцы (PLT) — 57 и трансплантат кость-сухожилие-кость — 461.

Использование аллотрансплантатов описано в 7 работах (486 случаев).

Второй блок: наличие дополнительных хирургических вмешательств, таких как костная пластика имеющихся вторично расширенных каналов после первичной операции; коррекция переднезаднего наклона ПБК; восстановление ПЛК.

Результаты костной пластики вторично расширенных каналов описаны в 6 работах (289 случаев), так же как результаты восстановления ПЛК в ходе ревизионной реконструкции ПКС — 6 работ (574 случая). Коррекция переднезаднего наклона ПБК выполнялась в 4 работах (71 случай).

Оценка функциональных результатов в большинстве работ проводилась по шкалам Lisholm, IKDC и Tegner. В 12 исследованиях сравнивали функцию сустава до и после ревизионной операции по шкале Lisholm, в 8 работах — по шкале IKDC и в 10 — по шкале Tegner. Во всех исследованиях отмечается улучшение показателей в послеоперационном периоде по сравнению с дооперационным (табл. 2).

Таблица 2

Оценка функциональных результатов по шкалам, баллы

Статистический показатель	Lisholm		IKDC		Tegner	
	до операции	после операции	до операции	после операции	до операции	после операции
M	$56,6 \pm 8,4$	$83,6 \pm 6,7$	$52,2 \pm 7,0$	$77,6 \pm 7,7$	$3,2 \pm 0,7$	$5,35 \pm 0,80$
Me	56,5	88,0	54,3	78,9	3,0	5,5
Min	38,4	72,5	40,0	64,0	2,5	4,3
Max	69,8	95,0	63,3	89,0	5,2	7,0

Анализ публикаций показал, что осложнения, потребовавшие ревизионного вмешательства, развились в среднем в $1,60 \pm 0,09\%$ случаев: от 4% [13] до 16,7% [45], Me 8%. Наиболее часто встречались гематома области хирургического вмешательства (M = $5,85 \pm 3,50\%$; Me = 4,95%), вновь возникшая нестабильность оперированного коленного сустава (M = $5 \pm 1\%$; Me = 5%) и гипестезия места забора трансплантата (M = $11,2 \pm 4,8\%$; Me = 8,8%).

ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор трансплантата при ревизионной реконструкции ПКС

Проведенный анализ данных литературы не позволяет однозначно определить, какой трансплантат обеспечивает наилучшие результаты при повторной реконструкции ПКС. Усложняет предоперационное планирование вид трансплантата, который уже был использован при первичной реконструкции ПКС, что ограничивает варианты выбора. Требования к трансплантату при ревизи-

онном вмешательстве являются такими же, как и при первичном: прочность, доступность, длина и диаметр [30]. Основными видами графтов, между которыми существуют категоричные различия, являются алло- и аутотрансплантаты [29, 30]. В то же время использование современных синтетических протезов не является стандартом при ревизионной реконструкции ПКС, так как в долгосрочной перспективе данный вид имплантатов оказывает негативное влияние на исход лечения [43, 44].

Использование аллотрансплантатов позволяет избежать возможных проблем с донорским местом, а широкая вариабельность в длине и толщине сухожильной части выгодно отличает их от любого аутотрансплантата. В настоящее время снижение негативного влияния недостатков, свойственных аллогraftам (риск передачи инфекции, медленная интеграция в костный канал, снижение прочности при обработке и хранении), обусловлено более эффективными методами современной сте-

рилизации, лучшей организацией хранения и транспортировки тканей. Однако повсеместная доступность данного вида трансплантатов остается ограниченной вследствие организационно-правовых и финансово-экономических причин [45]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что для ревизионной реконструкции ПКС оптимальными трансплантатами являются собственные ткани пациентов, что подтверждается крупными исследованиями [29, 30].

В частности, результаты исследования группы MARS показали, что именно ауто трансплантат обеспечивает лучшие субъективные оценки пациентов, более низкую частоту повторных разрывов и улучшение спортивных показателей по сравнению с аллотрансплантатом [29]. К.А. Nissen с соавторами также выявили негативное влияние использования аллотрансплантатов, но в отличие от исследования группы MARS они не обнаружили различий в субъективных оценках пациентов и в функции коленного сустава [30].

Учитывая предпочтительность применения ауто тканей при ревизионном вмешательстве, многие авторы начали более подробно заниматься вопросом использования того или иного вида трансплантата. В работах А. Varié с соавторами и P.W. Winkler с соавторами получены хорошие результаты ревизионной реконструкции ПКС при использовании трансплантата QT. В пользу использования данного сухожилия свидетельствует более низкий уровень болезненности донорской области по сравнению с трансплантатом ВТВ во время стояния на коленях и приседаниях, а также сопоставимые результаты с наиболее часто используемым при ревизии ауто трансплантатом НТ [31, 32]. В то же время применение трансплантата QT имеет некоторые ограничения: наличие пателло-фemorального остеоартроза; нарушение равновесия надколенника; увеличение времени, затрачиваемого на взятие трансплантата; ограничение по длине полученного графта, недостаточный опыт хирургов ввиду нечастого использования данного вида трансплантата. Тем не менее рост популярности использования сухожилия четырехглавой мышцы бедра можно объяснить увеличением количества публикуемых научных работ, в которых число успешных ревизионных вмешательств с использованием данного ауто трансплантата выше, чем при применении сухожилий подколенных сгибателей, трансплантатов ВТВ и аллогraftов [30, 31, 32].

Трансплантат PLT является наиболее перспективной альтернативой другим ауто трансплантатам. Проведен ряд исследований, доказывающих безопасность, удобство, хорошие прочностные характеристики данного сухожилия при первичной и ревизионной реконструкции ПКС [27, 28].

В частности, использование трансплантата PLT для ревизионной реконструкции ПКС и отсутствие каких-либо нарушений со стороны функции стопы описывают в своей работе Т. Goyal с соавторами [28]. При наблюдении 10 пациентов в течение 24 мес. после операции авторы выявили значительное улучшение функциональных показателей коленного сустава по основным функциональным шкалам. Результаты оценки функции голеностопного сустава были сопоставимы с контралатеральной интактной конечностью.

Причиной редкого использования трансплантата PLT является риск нарушения функции стопы и голеностопного сустава, однако проведенные современные исследования подтверждают безопасность данного вида трансплантата [27, 28]. Тем не менее существует необходимость в оценке опыта использования сухожилия длинной малоберцовой мышцы в большем количестве высококачественных исследований в рамках именно ревизионной хирургии ПКС.

Этапность ревизионных вмешательств при несостоятельности трансплантата ПКС

Двухэтапные ревизионные вмешательства технически сложны, растянуты во времени, изначально предполагают неоднократную госпитализацию пациента в стационар и повышают риск развития осложнений из-за двух хирургических процедур. С учетом имеющихся негативных моментов двухэтапных вмешательств в некоторых научных работах описывается применение одноэтапных хирургических техник как более предпочтительных [36, 37].

В ретроспективном исследовании В.С. Werner с соавторами на основании результатов лечения 16 пациентов при среднем сроке наблюдения 32 мес. оценили возможность выполнения одноэтапной ревизионной пластики ПКС. При выполнении оперативного вмешательства в имеющийся вторично расширенный канал бедренной кости импактировался цилиндрический костный аллогraft в виде штифта диаметром от 10 до 18 мм. Проведение нового канала выполнялось по возможности в другом векторе направления от канала предшествующего вмешательства и с анатомической точкой выхода. Были получены хорошие послеоперационные клинические результаты по основным оценочным шкалам [37].

Схожее исследование провели J.L. Drago с соавторами. Главное различие заключалось в заполнении цилиндрическим костным аллотрансплантатом расширенного большеберцового, а не бедренного канала, и одновременной установке сухожильного трансплантата с фиксацией металлическим винтом в анатомической точке входа в канал. В исследовании не выявлено субъектив-

ной послеоперационной нестабильности коленного сустава и осложнений, потребовавших ревизионных вмешательств, а также были получены статистически значимые улучшения по основным функциональным шкалам [36].

При оценке результатов послеоперационной МСКТ В.С. Werner с соавторами выявили, что все аллотрансплантаты имели полную интеграцию и ремоделирование костного аллотрансплантата, не было случаев остеолита или кистозного образования. Средняя относительная плотность костных аллогraftов составила $607,3 \pm 105,6$ HU [39]. А в исследовании J.L. Dragoо с соавторами для оценки интеграции костного трансплантата и костных каналов использовалась МРТ, что вызывает сомнения при интерпретации полученных результатов [36]. Помимо этого, указанные авторы не описывают критерии, на которые они опирались при оценке интеграции костного трансплантата и принятии решения о проведении второго этапа лечения, а также не было предоставлено данных о том, какой диаметр graftа импактировался в тот или иной размер дефекта кости [36, 37]. Применение данных методик не может быть повсеместным, так как существует проблема всеобщей доступности того или иного вида костного трансплантата, также необходимо иметь в виду относительную сложность и воспроизводимость некоторых одноэтапных методик, что может привести к интраоперационным осложнениям и увеличению длительности операции.

Ряд авторов сообщают о схожих отдаленных результатах одно- и двухэтапных ревизионных реконструкций ПКС. В частности, J.H. Ahn с соавторами и J.J. Mitchell с соавторами пришли к выводу, что послеоперационные результаты двухэтапных ревизий являются сопоставимыми с исходами одноэтапного лечения при условии корректного отбора пациентов в рамках предоперационного планирования. При оценке клинических резуль-

татов показатели субъективной оценки по функциональным шкалам, объективные показатели, частота осложнений, а также риск повторной несостоятельности трансплантата ПКС не имели статистически значимых различий между одно- и двухэтапным лечением [34, 35].

Данные выводы совпадают с результатами систематического обзора M. Colatruglio с соавторами [15]. Авторы определяют следующие показаниями к двухэтапному хирургическому лечению:

- неанатомичное положение входа в имеющийся канал, которое не позволяет провести новый канал с корректной точкой входа из-за их возможного слияния;
- диаметр ранее проведенного канала более 14 мм;
- невозможность фиксации трансплантата ПКС одновременно с удалением предыдущих фиксаторов или из-за перекрывающихся имеющегося и планируемого каналов.

С учетом различных вариантов предоперационного планирования и предлагаемых хирургических техник возникает необходимость в стандартизации подхода к определению этапности хирургического лечения при ревизионном вмешательстве, который учитывает положение, диаметр, направление каналов от предыдущей операции. D. de Sa с соавторами предложили классификацию выбора хирургической тактики REVISION ACL (Revision using Imaging to Guide Staging and Evaluation). Классификация представляет собой простую и понятную в использовании систему (табл. 3). Недостатком предложенной системы является отсутствие четких критериев для определения показаний к выполнению одно- или двухэтапной ревизии в зависимости от формы, направления каналов от предшествующего вмешательства, а также от процентной разницы между планируемым и уже имеющимся положением точки входа в канал [46].

Таблица 3

Классификация выбора хирургической тактики REVISION [46]

Тип 1А	Каналы, не требующие корректировки или замещения (одноэтапная ревизия)
Тип 1В	Одноэтапная ревизия. Требуется проведение нового большеберцового или бедренного канала
Тип 1В-Ф	Одноэтапная ревизия. Требуется проведение нового бедренного канала с сохранением большеберцового
Тип 1В-Т	Одноэтапная ревизия. Требуется проведение нового большеберцового канала с сохранением бедренного
Тип 1В-FT	Одноэтапная ревизия. Требуется проведение новых большеберцового и бедренного каналов (разнонаправленное или «анатомичное» проведение без слияния)
Тип 2	Двухэтапная ревизия. Выполняется при «неанатомичном» расположении и избыточно расширенном канале (каналах) (имеется риск слияния), потере костной массы, наличии инфекции
Тип 2-В	Двухэтапная ревизия. Избыточное расширение канала, требующее выполнения костной пластики
Тип 2-М	Двухэтапная ревизия. Критичное смещение канала (потенциально высокий риск слияния «нового» и «старого» каналов)
Тип 2-І	Двухэтапная ревизия, осложненная инфекцией

Исследования, рассмотренные в настоящем обзоре, не позволяют определить однозначные показания к этапным вмешательствам, которые могут опираться на определенный диаметр канала, так как различия между хирургическими техниками и тактикой предоперационного планирования ограничивают возможность объединения полученных данных в единую систему.

Открытым остается вопрос о технической возможности выполнения ревизионного вмешательства при анатомично расположенных каналах, которые имеют диаметр 10–14 мм. При анализе литературы выявлено, что такие параметры каналов являются показанием для выполнения одноэтапного вмешательства. Однако, по нашим наблюдениям, диаметр полученного и подготовленного сухожильного трансплантата в большинстве случаев имеет значение менее 10 мм и оказывается недостаточным для осуществления надежной фиксации и *press-fit* установки трансплантата в костный канал диаметром 10–14 мм, что может отрицательно повлиять на дальнейшую оптимальную интеграцию. Учитывая возможное возникновение избыточной разницы между размером трансплантата и диаметром имеющегося канала, можно сделать вывод, что показанием для выполнения одноэтапного ревизионного вмешательства является анатомично расположенный канал с диаметром менее 10 мм. Это подтверждают исследования, в которых сообщается о хороших среднесрочных результатах выполненной ревизионной реконструкции ПКС при анатомично расположенных каналах диаметром менее 10 мм [18, 47]. С другой стороны, при диаметре каналов 10–14 мм вариантом выбора могут быть алло- или ауто трансплантаты с костными блоками, позволяющие добиться надежной фиксации. Однако при использовании данного вида графтов необходимо учитывать размер дефекта и его интраоперационное увеличение после резекции склерозированной ткани. По нашему мнению, при таком размере каналов существует вероятность ненадежной фиксации полученного сухожильного трансплантата без костных блоков при условии дефицита его диаметра, а также необходимой *press-fit* установки для оптимальной интеграции в костный канал.

Имеющаяся разрозненность показаний к одноэтапному лечению, а также тот факт, что одно- и двухэтапные ревизионные оперативные вмешательства имеют сопоставимые клинические результаты, свидетельствуют о необходимости корректного отбора пациентов и стандартизации подхода в рамках предоперационного планирования.

Костная пластика расширенных каналов при двухэтапной ревизионной реконструкции ПКС

Выбор костного трансплантата для пластики расширенных каналов является важным аспектом успешной ревизионной хирургии ПКС. Многие хирурги сходятся во мнении, что использование губчатой кости из гребня подвздошной кости является золотым стандартом, поскольку данный ауто трансплантат всегда доступен и обладает преимуществами по сравнению с алло- и синтетическими трансплантатами [39, 47]. В то же время данный материал обладает рядом недостатков: ограниченный объем получаемой губчатой кости [12], увеличение хирургической агрессии, длительности операции, а также болезненность донорского участка [48].

В качестве альтернативы использованию ауто трансплантатов J. von Recum с соавторами оценили возможность применения силикат-замещенного кальций-фосфата (Si-CaP). Это исследование имеет высокий уровень доказательности, но обладает рядом недостатков: небольшое количество пациентов ($n = 40$), а также период наблюдения 24 мес., не позволяющий оценить отдаленные результаты. При оценке результатов исследования между группами не было выявлено статистически значимых различий [18]. В ретроспективном исследовании W.C. Prall с соавторами, в котором проводилась оценка применения аллотрансплантата в сравнении с аутокостью, количество наблюдаемых пациентов было больше ($n = 103$), но срок наблюдения составил всего 12 мес. Авторами получены сопоставимые послеоперационные результаты лечения между группой, где использовался костный аллотрансплантат, и группой, где применялся ауто трансплантат из гребня подвздошной кости пациента. По результатам МСКТ, в обеих группах качество замещения каналов имело сопоставимые значения: в «аллогенной группе» — 79,9%, а в «аутологичной группе» — 79,6%. Средняя относительная плотность костных аллогraftов составила $536 \pm 124,5$ HU, плотность ауто graftа — $435 \pm 02,5$ HU [38]. Недостатком обоих исследований было то, что авторами не описаны критерии, по которым оценивалась интеграция и ремоделирование костного трансплантата. Несмотря на имеющиеся недостатки, в работах были получены хорошие клинические результаты. Поэтому использование губчатых костных аллотрансплантатов или силикат-замещенного кальций-фосфата является безопасной альтернативой аутологичным костным graftам, хотя вопрос доступности данного вида материала остается открытым.

Влияние восстановления переднелатерального комплекса на результаты ревизионной пластики ПКС

Следующим важным аспектом предоперационного планирования повторной реконструкции ПКС является восстановление ПЛК коленного сустава. Растущий объем публикуемых работ, связанных с восстановлением данной структуры, объясняется определением биомеханической роли АЛС в контроле внутренней ротационной стабильности и смещении оси вращения [49, 50, 51]. В 2013 г. S. Claes с соавторами опубликовали исследование, в котором на кадаверном материале подробно исследовалась и была описана анатомия АЛС и ее участие в биомеханике коленного сустава [51]. На основании дальнейших исследований в качестве дополнительных процедур при реконструкции ПКС были предложены внесуставные аугментации с использованием как отдельного трансплантата, так и ЛЭТ [20, 21, 22]. Основной задачей такого вмешательства является улучшение ротационной стабильности коленного сустава, снижение нагрузки на трансплантат ПКС и в результате — снижение частоты неудач ревизий.

Многие авторы основным показанием к ЛЭТ считают ревизионную хирургию ПКС [20, 32, 33, 40]. В частности, в систематическом обзоре A. Grassi с соавторами были получены хорошие послеоперационные функциональные результаты одномоментной ревизионной реконструкции ПКС и восстановления ПЛК [21]. При интерпретации результатов 12 исследований выявлено избыточное смещение оси вращения всего у 2% пациентов, что больше сопоставимо с результатами первичной реконструкции ПКС, чем с результатами изолированной ревизии ПКС (7%) [52].

Аналогичные выводы можно сделать по поводу послеоперационной субъективной оценки по шкале IKDC, поскольку в обзоре A. Grassi с соавторами [21] среднее значение по данной шкале составило 83,3 балла, а в исследовании MARS [29] — 77 баллов, что свидетельствует о преимуществе комбинированного вмешательства. A. Grassi с соавторами также описывают несколько различных хирургических техник, что говорит об отсутствии золотого стандарта для рассматриваемого внесуставного вмешательства. Кроме того, недостаточное количество публикаций в систематическом обзоре A. Grassi с соавторами препятствовало не только статистическому сравнению результатов различных техник, но и сравнению результатов ревизионной реконструкции с ЛЭТ или без него [21].

Наличие опасений у хирургов по поводу негативного влияния передненаружной стабилизации на латеральные структуры коленного сустава опровергается полученными результатами исследований, в которых частота встречаемости

признаков остеоартроза в наружном отделе коленного сустава составила 7,2%, и предположение о влиянии ЛЭТ на изменения в латеральном отделе не нашло подтверждения [21]. В систематическом обзоре В.М. Devitt с соавторами [53], так же как и в обзоре A. Grassi с соавторами [21], показано, что стабилизация передненаружного отдела не ухудшила ранее существовавшее повреждение хряща и что основным предиктором остеоартроза после комбинированной ревизии являлась высокая частота резекций медиального или латерального мениска. Другие авторы получили схожие результаты — ЛЭТ привел к значительному снижению частоты повторных ревизионных вмешательств, а также к улучшению послеоперационных функциональных показателей [20, 40].

Анализ включенных в настоящий систематический обзор работ позволил определить, что ЛЭТ является безопасной комбинированной процедурой и снижает риск повторного разрыва ПКС, поэтому может выполняться как при первичной реконструкции ПКС у пациентов с определенными факторами риска (молодой возраст, «поворотные» и/или контактные виды спорта и значительная передняя и внутренняя ротационная нестабильность), так и при ревизионной реконструкции ПКС. Остается открытым вопрос о признании общепринятой техники выполнения данного вида вмешательства. Учитывая недостатки изолированной реконструкции АЛС (отдельный сухожильный трансплантат, минимум два фиксатора), наиболее рациональным является выполнение ЛЭТ с использованием илиотибиального тракта и одного фиксатора. Несмотря на то, что в клинической практике ЛЭТ является распространенным вмешательством, сопровождающим ревизионную реконструкцию ПКС, исследований высокого уровня доказательности не проводилось, что говорит о необходимости учета всех дополнительных факторов при предоперационном планировании.

Влияние переднезаднего наклона плато большеберцовой кости на исходы повторной реконструкции ПКС

Анализ современных публикаций показал, что в условиях увеличенного переднезаднего наклона ПБК возникает направленное смещение с определенной силой, вектор которой направлен на смещение большеберцовой кости кпереди при осевой нагрузке [24, 54]. Поскольку ПКС является основным передним стабилизатором коленного сустава, есть основания полагать, что увеличение переднезаднего наклона ПБК увеличивает нагрузку на ПКС и потенциально увеличивает риск ее разрыва [55]. D. Dejour, M. Bonnin выявили, что на каждые 10° увеличения переднезаднего наклона ПБК наблюдалось увеличение переднего смещения больше-

берцовой кости на 6 мм независимо от состояния ПКС [54].

Исходя из результатов исследований, рассмотренных в настоящем обзоре, можно сделать вывод, что выраженный переднезадний наклон ПБК (более 12°) оказывает негативное влияние на результаты как первичных, так и ревизионных реконструкций ПКС. В частности, R.J. Napier с соавторами выявили у пациентов с повторным разрывом трансплантата статистически значимые различия в значениях переднезаднего наклона ПБК по сравнению с теми, у кого не было повторного разрыва [26]. Схожие выводы были получены в работе P.W. Winkler с соавторами [41], в которой также была выявлена закономерность между более выраженным переднезадним наклоном ПБК и повторными повреждениями трансплантата ПКС, дополнительно были выявлены недостатки использования сухожильного аллотрансплантата, как и в исследовании группы MARS [29]. D. Dejour с соавторами и R. Akoto с соавторами также пришли к выводам, подтверждающим гипотезу о негативном влиянии избыточного переднезаднего наклона ПБК на результаты ревизионных реконструкций ПКС [23, 42]. Однако в первом исследовании коррекция угла наклона ПБК проводилась в один этап с ревизионной пластикой ПКС, а во втором — двухэтапно, однако представленные результаты существенно не отличались. Следовательно, избыточный переднезадний угол наклона ПБК может привести к атравматичному механизму повреждения трансплантата ПКС с постепенным развитием рецидивирующей нестабильности [41]. Учитывая травматичность корригирующей остеотомии и связанные с этим увеличенные риски осложнений, следует выполнять данный вид вмешательства строго по показаниям (величина деформации более 12°), а также рассматривать коррекцию большеберцового наклона именно при повторной ревизии ПКС.

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.

Возможный 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

Проведенный систематический обзор литературы позволил определить основные аспекты ревизионной реконструкции ПКС, которые необходимо учитывать при предоперационном планировании. Предпочтение должно отдаваться аутотрансплантатам. Коррекцию избыточного угла наклона ПБК необходимо выполнять только при повторном ревизионном вмешательстве в случае, если угол наклона превышает 12°. Восстановление ПЛК, как правило, может выполняться молодым, активным пациентам, которые занимаются «поворотными» видами спорта, а также при наличии выраженной передней нестабильности. При определении возможности выполнения ревизионной пластики ПКС в один или два этапа диаметр канала не является основополагающим параметром, так как необходимо учитывать возможность слияния каналов от предшествующей операции с вновь проведенными. При наличии каналов с корректными точками входа одноэтапная ревизионная пластика может быть выполнена при ширине канала не более 10 мм, а также в зависимости от предполагаемого диаметра и вида подготовленного сухожильного трансплантата. Костная пластика вторично расширенных каналов при двухэтапном вмешательстве может осуществляться любым материалом, однако аллокостные или синтетические трансплантаты обладают определенными преимуществами.

Эти выводы подтверждают многофакторную этиологию частых неудач ревизионных операций, что может привести к порочному кругу, включающему последующие хирургические вмешательства, осложнения и снижение качества жизни. Поэтому необходим оптимизированный алгоритм планирования ревизионных реконструкций ПКС.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Sanders T.L., Maradit Kremers H., Bryan A.J., Larson D.R., Dahm D.L., Levy B.A. et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1502-1507. doi: 10.1177/0363546516629944.
2. Mall N.A., Chalmers P.N., Moric M., Tanaka M.J., Cole B.J., Bach B.R.Jr. et al. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2363-2370. doi: 10.1177/0363546514542796.
3. Zbrojkiewicz D., Vertullo C., Grayson J.E. Increasing rates of anterior cruciate ligament reconstruction in young Australians, 2000-2015. *Med J Aust.* 2018;208(8):354-358. doi: 10.5694/mja17.00974.
4. Kaeding C.C., Léger-St-Jean B., Magnussen R.A. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):1-8. doi: 10.1016/j.csm.2016.08.001.
5. Dale K.M., Bailey J.R., Moorman C.T.3rd. Surgical Management and Treatment of the Anterior Cruciate Ligament/Medial Collateral Ligament Injured Knee. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):87-103. doi: 10.1016/j.csm.2016.08.005.
6. van Eck C.F., Schkrohwsky J.G., Working Z.M., Irrgang J.J., Fu F.H. Prospective analysis of failure rate and predictors of failure after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with allograft. *Am J Sports Med.* 2012;40(4):800-807. doi: 10.1177/0363546511432545.
7. Wright R., Spindler K., Huston L., Amendola A., Andrich J., Brophy R. et al. Revision ACL reconstruction outcomes: MOON cohort. *J Knee Surg.* 2011;24(4):289-294. doi: 10.1055/s-0031-1292650.
8. Wright R.W., Dunn W.R., Amendola A., Andrich J.T., Flanigan D.C., Jones M. et al. Anterior cruciate ligament revision reconstruction: two-year results from the MOON cohort. *J Knee Surg.* 2007;20(4):308-311. doi: 10.1055/s-0030-1248066.
9. Wright R.W., Gill C.S., Chen L., Brophy R.H., Matava M.J., Smith M.V. et al. Outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(6):531-536. doi: 10.2106/JBJS.K.00733.
10. Bogunovic L., Yang J.S., Wright R.W. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Contemporary Revision Options. *Oper Techn Sports Med.* 2013;21(1):64-71. doi: 10.1053/j.otsm.2012.12.002.
11. MARS Group; Wright R.W., Huston L.J., Spindler K.P., Dunn W.R., Haas A.K. et al. Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):1979-1986. doi: 10.1177/0363546510378645.
12. Erickson B.J., Cvetanovich G., Waliullah K., Khair M., Smith P., Bach B. Jr. et al. Two-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthopedics.* 2016;39(3): e456-e464. doi: 10.3928/01477447-20160324-01.
13. West R.V., Harner C.D. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2005;13(3):197-207. doi: 10.5435/00124635-200505000-00006.
14. Romanini E., D'Angelo F., De Masi S., Adriani E., Magaletti M., Lacorte E. et al. Graft selection in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol.* 2010;11(4):211-219. doi: 10.1007/s10195-010-0124-9.
15. Colatruglio M., Flanigan D.C., Long J., DiBartola A.C., Magnussen R.A. Outcomes of 1-Versus 2-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2021;49(3):798-804. doi: 10.1177/0363546520923090.
16. Coats A.C., Johnson D.L. Two-stage revision anterior cruciate ligament reconstruction: indications, review, and technique demonstration. *Orthopedics.* 2012;35(11):958-960. doi: 10.3928/01477447-20121023-08.
17. Niki Y., Matsumoto H., Enomoto H., Toyama Y., Suda Y. Single-stage anterior cruciate ligament revision with bone-patellar tendon-bone: a case-control series of revision of failed synthetic anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy.* 2010;26(8):1058-1065. doi: 10.1016/j.arthro.2009.12.015.
18. von Recum J., Gehm J., Guehring T., Vetter S.Y., von der Linden P., Grützner P.A. et al. Autologous Bone Graft Versus Silicate-Substituted Calcium Phosphate in the Treatment of Tunnel Defects in 2-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized Controlled Study With a Minimum Follow-up of 2 Years. *Arthroscopy.* 2020;36(1):178-185. doi: 10.1016/j.arthro.2019.07.035.
19. Diermeier T., Herbst E., Braun S., Saracuz E., Voss A., Imhoff A.B. et al. Outcomes after bone grafting in patients with and without ACL revision surgery: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):246. doi: 10.1186/s12891-018-2174-8.
20. Louis M.L., D'ingrado P., Ehkirch F.P., Bertiaux S., Colombet P., Sonnery-Cottet B. et al. French Arthroscopy Society (Société Francophone d'Arthroscopie, SFA). Combined intra- and extra-articular grafting for revision ACL reconstruction: A multicentre study by the French Arthroscopy Society (SFA). *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(8S): S223-S229. doi: 10.1016/j.otsr.2017.08.007.
21. Grassi A., Zicaro J.P., Costa-Paz M., Samuelsson K., Wilson A., Zaffagnini S. et al. Good mid-term outcomes and low rates of residual rotatory laxity, complications and failures after revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACL) and lateral extra-articular tenodesis (LET). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(2):418-431. doi: 10.1007/s00167-019-05625-w.
22. Getgood A.M.J., Bryant D.M., Litchfield R., Heard M., McCormack R.G., Rezanoff A. et al. Lateral extra-articular tenodesis reduces failure of hamstring tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 2-year outcomes from the STABILITY Study Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med.* 2020;48(2):285-297. doi: 10.1177/0363546519896333.
23. Dejour D., Saffarini M., Demey G., Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):2846-2852. doi: 10.1007/s00167-015-3758-6.
24. Brandon M.L., Haynes P.T., Bonamo J.R., Flynn M.I., Barrett G.R., Sherman M.F. The association between posterior-inferior tibial slope and anterior cruciate ligament insufficiency. *Arthroscopy.* 2006;22(8):894-899. doi: 10.1016/j.arthro.2006.04.098.
25. Hashemi J., Chandrashekar N., Gill B., Beynon B.D., Slauterbeck J.R., Schutt R.C. Jr. et al. The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(12):2724-2734. doi: 10.2106/JBJS.G.01358.

26. Napier R.J., Garcia E., Devitt B.M., Feller J.A., Webster K.E. Increased Radiographic Posterior Tibial Slope Is Associated With Subsequent Injury Following Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(11):2325967119879373. doi: 10.1177/2325967119879373.
27. He J., Tang Q., Ernst S., Linde M.A., Smolinski P., Wu S. et al. Peroneus longus tendon autograft has functional outcomes comparable to hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(9):2869-2879. doi: 10.1007/s00167-020-06279-9.
28. Goyal T., Paul S., Choudhury A.K., Sethy S.S. Full-thickness peroneus longus tendon autograft for anterior cruciate reconstruction in multi-ligament injury and revision cases: outcomes and donor site morbidity. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(1):21-27. doi: 10.1007/s00590-021-03145-3.
29. MARS Group. Effect of graft choice on the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction in the Multicenter ACL Revision Study (MARS) Cohort. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2301-2310. doi: 10.1177/0363546514549005.
30. Nissen K.A., Eysturoy N.H., Nielsen T.G., Lind M. Allograft Use Results in Higher Re-Revision Rate for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2018;6(6):2325967118775381. doi: 10.1177/2325967118775381.
31. Barié A., Ehmann Y., Jaber A., Huber J., Streich N.A. Revision ACL reconstruction using quadriceps or hamstring autografts leads to similar results after 4 years: good objective stability but low rate of return to pre-injury sport level. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(11):3527-3535. doi: 10.1007/s00167-019-05444-z.
32. Winkler P.W., Vivacqua T., Thomassen S., Lovse L., Lesniak B.P., Getgood A.M.J. et al. Quadriceps tendon autograft is becoming increasingly popular in revision ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(1):149-160. doi: 10.1007/s00167-021-06478-y.
33. Eggeling L., Breer S., Drenck T.C., Frosch K.H., Akoto R. Double-Layered Quadriceps Tendon Autografts Provide Lower Failure Rates and Improved Clinical Results Compared With Hamstring Tendon Grafts in Revision ACL Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(12):23259671211046929. doi: 10.1177/23259671211046929.
34. Ahn J.H., Son D.W., Jeong H.J., Park D.W., Lee I.G. One-Stage Anatomical Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results According to Tunnel Overlaps. *Arthroscopy.* 2021;37(4):1223-1232. doi: 10.1016/j.arthro.2020.11.029.
35. Mitchell J.J., Chahla J., Dean C.S., Cinque M., Matheny L.M., LaPrade R.F. Outcomes After 1-Stage Versus 2-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2017;45(8):1790-1798. doi: 10.1177/0363546517698684.
36. Dragoo J.L., Kalisvaart M., Smith K.M., Pappas G., Golish R. Single-stage revision anterior cruciate ligament reconstruction using bone grafting for posterior or widening tibial tunnels restores stability of the knee and improves clinical outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(11):3713-3721. doi: 10.1007/s00167-019-05467-6.
37. Werner B.C., Gilmore C.J., Hamann J.C., Gaskin C.M., Carroll J.J., Hart J.M. et al. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results of a Single-stage Approach Using Allograft Dowel Bone Grafting for Femoral Defects. *J Am Acad Orthop Surg.* 2016;24(8):581-587. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00572.
38. Prall W.C., Kusmenkov T., Schmidt B., Fürmetz J., Haasters F., Naendrup J.H. et al. Cancellous allogenic and autologous bone grafting ensure comparable tunnel filling results in two-staged revision ACL surgery. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(9):1211-1219. doi: 10.1007/s00402-020-03421-7.
39. Franceschi F., Papalia R., Del Buono A., Zampogna B., Diaz Balzani L., Maffulli N. et al. Two-stage procedure in anterior cruciate ligament revision surgery: a five-year follow-up prospective study. *Int Orthop.* 2013;37(7):1369-1374. doi: 10.1007/s00264-013-1886-5.
40. Alm L., Drenck T.C., Frosch K.H., Akoto R. Lateral extra-articular tenodesis in patients with revision anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and high-grade anterior knee instability. *Knee.* 2020;27(5):1451-1457. doi: 10.1016/j.knee.2020.06.005.
41. Winkler P.W., Wagala N.N., Hughes J.D., Lesniak B.P., Musahl V. A high tibial slope, allograft use, and poor patient-reported outcome scores are associated with multiple ACL graft failures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(1):139-148. doi: 10.1007/s00167-021-06460-8.
42. Akoto R., Alm L., Drenck T.C., Frings J., Krause M., Frosch K.H. Slope-Correction Osteotomy with Lateral Extra-articular Tenodesis and Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Highly Effective in Treating High-Grade Anterior Knee Laxity. *Am J Sports Med.* 2020;48(14):3478-3485. doi: 10.1177/0363546520966327.
43. Satora W., Królikowska A., Czamara A., Reichert P. Synthetic grafts in the treatment of ruptured anterior cruciate ligament of the knee joint. *Polim Med.* 2017;47(1):55-59. doi: 10.17219/pim/76819.
44. Cook J.L., Smith P., Stannard J.P., Pfeiffer F., Kuroki K., Bozynski C.C. et al. A Canine Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Model for Study of Synthetic Augmentation of Tendon Allografts. *J Knee Surg.* 2017;30(7):704-711. doi: 10.1055/s-0036-1597618.
45. Сапрыкин А.С., Банцер С.А., Рябинин М.В., Корнилов Н.Н. Современные аспекты предоперационного планирования и выбора хирургической методики ревизионной реконструкции передней крестообразной связки. *Гений ортопедии.* 2022;28(3):444-451. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-444-451. Saprykin A.S., Bantser S.A., Rybinin M.V., Kornilov N.N. Current Aspects of Preoperative Planning and Selection of Surgical Techniques for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthopaedic Genius.* 2022;28(3):444-451. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-444-451.
46. de Sa D., Crum R.J., Rabuck S., Ayeni O., Bedi A., Baraga M. et al. The REVISION Using Imaging to Guide Staging and Evaluation (REVISE) in ACL Reconstruction Classification. *J Knee Surg.* 2021;34(5):509-519. doi: 10.1055/s-0039-1697902.
47. Salem H.S., Axibal D.P., Wolcott M.L., Vidal A.F., McCarty E.C., Bravman J.T. et al. Two-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Bone Graft Options for Tunnel Augmentation. *Am J Sports Med.* 2020;48(3):767-777. doi: 10.1177/0363546519841583.

48. Dimitriou R., Mataliotakis G.I., Angoules A.G., Kanakaris N.K., Giannoudis P.V. Complications following autologous bone graft harvesting from the iliac crest and using the RIA: a systematic review. *Injury*. 2011; 42 Suppl 2:S3-15. doi: 10.1016/j.injury.2011.06.015.
49. Inderhaug E., Stephen J.M., El-Daou H., Williams A., Amis A.A. The Effects of Anterolateral Tenodesis on Tibiofemoral Contact Pressures and Kinematics. *Am J Sports Med*. 2017;45(13):3081-3088. doi: 10.1177/0363546517717260.
50. Parsons E.M., Gee A.O., Spiekerman C., Cavanagh P.R. The biomechanical function of the anterolateral ligament of the knee. *Am J Sports Med*. 2015;43(3):669-674. doi: 10.1177/0363546514562751.
51. Claes S., Vereecke E., Maes M., Victor J., Verdonk P., Bellemans J. Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat*. 2013;223(4):321-328. doi: 10.1111/joa.12087.
52. Grassi A., Ardern C.L., Marcheggiani Muccioli G.M., Neri M.P., Marcacci M., Zaffagnini S. Does revision ACL reconstruction measure up to primary surgery? A meta-analysis comparing patient-reported and clinician-reported outcomes, and radiographic results. *Br J Sports Med*. 2016;50(12):716-724. doi: 10.1136/bjsports-2015-094948.
53. Devitt B.M., Bouguennec N., Barfod K.W., Porter T., Webster K.E., Feller J.A. Combined anterior cruciate ligament reconstruction and lateral extra-articular tenodesis does not result in an increased rate of osteoarthritis: a systematic review and best evidence synthesis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(4):1149-1160. doi: 10.1007/s00167-017-4510-1.
54. Dejour H., Bonnin M. Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br*. 1994;76(5):745-749.
55. Feucht M.J., Mauro C.S., Brucker P.U., Imhoff A.B., Hinterwimmer S. The role of the tibial slope in sustaining and treating anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(1):134-145. doi: 10.1007/s00167-012-1941-6.

Сведения об авторах

✉ Гофер Антон Сергеевич

Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, д. 17

<https://orcid.org/0009-0000-3886-163X>

e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Алекперов Александр Александрович

<https://orcid.org/0000-0003-3264-8146>

e-mail: alecperov@mail.ru

Гуражев Михаил Борисович

<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: tashtagol@inbox.ru

Авдеев Артем Константинович

<https://orcid.org/0009-0008-9147-5808>

e-mail: avdeev.artiom@mail.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук

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

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук

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

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Authors' information

✉ Anton S. Gofers

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

<https://orcid.org/0009-0000-3886-163X>

e-mail: a.hofer.ortho@gmail.com

Aleksandr A. Alekperov

<https://orcid.org/0000-0003-3264-8146>

e-mail: alecperov@mail.ru

Mikhail B. Gurazhev

<https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

e-mail: tashtagol@inbox.ru

Artem K. Avdeev

<https://orcid.org/0009-0008-9147-5808>

e-mail: avdeev.artiom@mail.ru

Vitaliy V. Pavlov — Dr. Sci. (Med.)

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

e-mail: pavlovdoc@mail.ru

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

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

e-mail: andrey.korytkin@gmail.com



Обзорная статья
УДК 616.718.7/9-007.248:616.71-089.844
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>

Замещение костных дефектов при диабетической нейроостеоартропатии (стопе Шарко): обзор литературы

П.С. Бардюгов¹, М.В. Паршиков², Н.В. Ярыгин²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Во всем мире растет количество больных сахарным диабетом, в том числе с его тяжелыми осложнениями, такими как диабетическая нейроостеоартропатия. Восстановление опороспособности, создание условий для заживления язв являются сложной задачей для травматологов-ортопедов, особенно в связи с необходимостью компенсировать дефект костной ткани.

Цель обзора — сравнить современные методики замещения объемных дефектов костной ткани дистального сегмента нижней конечности у пациентов с диабетической нейроостеоартропатией.

Материал и методы. Поиск статей проводился в базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, eLIBRARY, CyberLeninka. Поиск осуществлен по следующим ключевым словам и словосочетаниям: стопа Шарко, диабетическая остеоартропатия и костная пластика; Charcot foot, diabetic arthropathy and bone grafting. Отбирались полнотекстовые статьи на русском и английском языках. Поиск проводился без хронологических ограничений в связи с малым количеством опубликованных работ и узкой тематикой.

Результаты. Возможности замещения костных дефектов при стопе Шарко в мировой литературе описаны довольно скудно. Узкая специфика и относительная редкость патологии является вероятной причиной малого количества публикаций, отсутствия исследований с высоким уровнем доказательности.

Заключение. Костная аутопластика при поражении медиальной или латеральной колонны среднего отдела стопы и удлинение голени по Илизарову для компенсации укорочения конечности после реконструктивных операций на уровне заднего отдела стопы и голеностопного сустава являются наиболее часто применяемыми методами замещения костных дефектов у пациентов со стопой Шарко. Свободная пластика аутокостью (возможно с ДКМ) является методом выбора при дефектах небольшого объема латеральной или медиальной колонны среднего отдела стопы.

Ключевые слова: стопа Шарко, диабетическая артропатия, костная пластика, костный трансплантат.

Для цитирования: Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В. Замещение костных дефектов при диабетической нейроостеоартропатии (стопе Шарко): обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3): 149-156. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>.

Бардюгов Петр Сергеевич; e-mail: petrbardiugov@gmail.com

Рукопись получена: 29.03.2023. Рукопись одобрена: 11.07.2023. Статья опубликована онлайн: 24.08.2023.

© Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В., 2023



Bone Defect Replacement in Diabetic Neuropathic Osteoarthropathy (Charcot Foot): Review

Petr S. Bardyugov¹, Mikhail V. Parshikov², Nikolay V. Yarygin²

¹ Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

² A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

Abstract

Background. The number of patients with diabetes mellitus, including those with its severe complications such as Charcot neuropathic osteoarthropathy, is increasing worldwide. Restoration of weight bearing ability and creation of conditions for ulcer healing is challenging for trauma and orthopedic surgeons, especially because of the need to restore bone tissue defects.

Aim of the review – to compare modern methods of replacement of large bone tissue defects of the distal segment of the lower limb in patients with Charcot neuropathic osteoarthropathy.

Methods. The articles were searched in PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, eLIBRARY, CyberLeninka databases. The search was performed using the following keywords and word combinations: Charcot foot, diabetic neuropathic osteoarthropathy and bone grafting. Full-text articles in Russian and English were selected. The search was carried out without chronological limitations due to the small number of published studies and specific subject of research.

Results. The possibilities of bone defect replacement in Charcot foot are poorly described in the world literature. The narrow specificity and relative infrequency of this pathology is the probable reason for the small number of publications and the lack of studies with a high level of evidence.

Conclusion. Bone autografting for lesions of the medial or lateral midfoot column and Ilizarov tibial lengthening to compensate for limb shortening after reconstructive surgeries at the level of the hindfoot and ankle joint are the most commonly used methods of bone defect replacement in patients with Charcot foot. Free bone autografting (possibly with demineralized bone matrix) is the method of choice for small defects of the lateral or medial column of the midfoot.

Keywords: Charcot foot, diabetic neuropathic osteoarthropathy, bone grafting.

Cite as: Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Yarygin N.V. Bone Defect Replacement in Diabetic Neuropathic Osteoarthropathy (Charcot Foot): Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):149-156. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>.

✉ Petr S. Bardyugov; e-mail: petrbaridiugov@gmail.com

Submitted: 29.03.2023. Accepted: 11.07.2023. Published online: 24.08.2023.

© Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Yarygin N.V., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Диабетическая нейроостеоартропатия (ДНОАП), или стопа Шарко — это деструкция костей и суставов дистального сегмента нижней конечности неинфекционного характера, вызванная диабетической невропатией [1, 2]. Данное определение точно характеризует патогенез заболевания. Деструкция костной ткани обязательно сопровождается образованием дефекта кости/костей дистального сегмента нижней конечности, который в ряде случаев приводит к возникновению патологической подвижности, формированию грубых деформаций, способствующих образованию нейропатических язв в зонах повышенного механического воздействия на их «высоте» и нарушению опороспособности. При этом качество жизни пациента сопоставимо с таковым после перенесенной высокой ампутации нижней конечности [3, 4, 5, 6].

Тяжелые проявления ДНОАП (наличие обширного дефекта костной ткани) не поддаются терапии только консервативными методами и являются показанием для хирургического лечения [7, 8, 9], при осуществлении которого для достижения цели хирург нередко встречается с значительными трудностями и техническими сложностями. Цель лечения — восстановление опороспособности конечности с созданием условий для заживления ран. Общемировая практика показала, что достигнуть этого возможно выполнением артродезирующих операций с резекцией нежизнеспособной костной массы (инфицированной или нет) и применением внутренней или внешней фиксации [10, 11, 12, 13]. В литературе отсутствует единое мнение по поводу оптимального метода остеосинтеза в комплексе реконструктивной хирургии ДНОАП. У того и другого метода есть свои объективные преимущества и недостатки, кроме того, выбор метода фиксации зачастую продиктован навыками и субъективными предпочтениями хирурга, при этом ряд публикаций посвящен одновременному сочетанию обоих видов [14, 15, 16, 17].

Сложным вопросом представляется компенсация потери объема костной ткани, сопровождающей реконструктивную операцию. И если для формирования функционального анкилоза на уровне среднего отдела стопы Шарко укорочение стопы на 1–4 см влияет на биомеханику и походку не критично, то укорочение нижней конечности (при поражении заднего отдела стопы и голеностопного сустава) на 3–6 см является проблемой, ведущей к выраженному нарушению функции конечности. Это требует компенсации индивидуально изготовленной ортопедической обувью со специальной стелькой или/и применения хирургических костнопластических техник [18, 19, 20, 21].

Цель обзора — сравнить современные методики замещения объемных дефектов костной ткани дистального сегмента нижней конечности у пациентов с диабетической нейроостеоартропатией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск литературы проводился в базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, CyberLeninka, eLIBRARY без ограничения по времени публикации, учитывая малое количество опубликованных работ и узкую тематику. Критерии включения: полнотекстовые статьи, монографии и клинические рекомендации на русском и английском языках. Поиск осуществлен по следующим ключевым словам: стопа Шарко, диабетическая остеоартропатия, костная пластика; Charcot foot, diabetic arthropathy, bone grafting.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Можно выделить следующие основные методы замещения костных дефектов при ДНОАП: свободная аутопластика, аллопластика или остеозамещающие имплантаты, удлинение кости по Илизарову. Публикаций, посвященных несвободной костной пластике, найдено не было. По всей видимости, это связано с большим риском осложнений, наличием ангиопатии у пациентов с синдромом диабетической стопы (СДС) разной степени выраженности.

В публикациях, посвященных замещению костных дефектов при ДНОАП, идет речь о реконструкции среднего (типы II и III по классификации L. Sanders и R. Frykberg) или заднего отдела стопы и голеностопного сустава (тип IV и V по классификации L. Sanders и R. Frykberg) [22, 23]. Некоторые работы посвящены одной локализации, другие — обеим.

Обзор структурирован по двум критериям:

- методу замещения дефекта костной ткани (отражено в подзаголовках);
- локализации деструктивного процесса (выделено курсивом в тексте).

Свободная аутопластика

Наиболее распространенным методом аутопластики является применение костной ткани, изъятая из гребня подвздошной кости. Данная методика успешно применялась некоторыми авторами (описания клинических случаев) при артродезировании *заднего отдела стопы* [24, 25]. Преимущество данного способа: наибольший доступный объем аутокости хорошего качества. Недостатки: травматичность доступа при заборе кости, риск повреждения брюшины, вероятность образования обширной гематомы, значительное увеличение продолжительности операции, косметический дефект и т.д. [26, 27].

Альтернативным источником забора собственной костной ткани может быть проксимальный отдел большеберцовой кости при реконструктивных операциях на *среднем отделе стопы* [28, 29]. Этот метод забора аутокости потенциально менее травматичен, но по доступному объему кости значительно меньше по сравнению с гребнем подвздошной кости.

Преимущества использования фрагментов малоберцовой кости в качестве аутотрансплантата при *артродезе голеностопного сустава или пяточно-большеберцового артродеза* заключаются в отсутствии необходимости выполнения дополнительного хирургического доступа: могут использоваться утильная кость, фрагменты наружной лодыжки. Но доступный объем костной ткани также не велик [30, 31, 32].

Аллопластика и остеозамещающие имплантаты

Использование специальным образом подготовленного аллотрансплантата в реконструктивной хирургии стопы Шарко имеет свои преимущества: сокращение продолжительности операции, меньшая травматизация, отсутствие осложнений, связанных с забором аутокости, потенциально неограниченный объем аллотрансплантата. Однако существуют и недостатки: низкие остеоиндуктивные и остеокондуктивные характеристики по сравнению с аутокостью, дороговизна, риск иммунного ответа и отторжения [33].

Керамический имплантат (сульфат кальция в комбинации с гидроксиапатитом) устраняет возможность иммунного ответа. При этом исключена его перестройка в «материнскую» костную ткань, т.е. остеоиндуктивные и остеокондуктивные свойства самые низкие [34].

В поиске оптимального метода свободной пластики ряд специалистов успешно применяли комбинации аутологичной костной ткани или иных клеток пациента и аллотрансплантатов: это металлический имплантат с трабекулярной текстурой максимальной высотой 3 см в сочетании с аутокостью, изъятый из канала диафизарной части бедренной кости при артродезе *подтаранного и голеностопного суставов* [35], сочетание аллотрансплантата с аутотрансплантатом из проксимального отдела большеберцовой кости при реконструктивных операциях на *среднем отделе стопы* при меньшем объеме костного дефекта (1–3 см³) [36]. В обеих публикациях описан успешный результат через год после костной пластики у минимального количества пациентов: два — в первой публикации и три — во второй работе. Вызывает вопрос обоснованность (учитывая минимальную выборку) отдаленных результатов и возможность осложнений

при применении массивных металлоконструкций и аллотрансплантатов у пациентов с СДС, а в случае реконструкции *среднего отдела стопы* и аллопластики малого объема вообще необходимость ее применения, тем более в сочетании с аутопластикой (наверное, можно было обойтись только одним методом).

В последние годы популярным материалом для аллопластики стал деминерализированный костный матрикс (ДКМ). В реконструктивной хирургии при СДС его иногда сочетают с аутокостью [37]. Недостатком ДКМ можно считать аморфную структуру, отсутствие «опорности».

Метод замещения дефектов с применением ДКМ и аутокости наглядно представили С.А. Оснач с соавторами с описанием ряда клинических случаев поражения как *среднего, так и заднего отделов стопы Шарко* [38]. В данной работе применена методика этапной костной пластики Masquelet в сочетании с локальной антибиотикотерапией. Очевидным преимуществом является относительно малая травматичность способа забора аутокости (из костномозгового канала бедренной кости с помощью системы риммер-ирригатор-аспиратор) по сравнению, например, с забором из гребня подвздошной кости. Однако сложно сформировать объективную картину результатов ввиду отсутствия в исследовании объективных критериев для сравнения с контрольной группой: длина сегмента конечности в сантиметрах, срок и характер консолидации, функциональные характеристики, продолжительность фиксации и т.д. Тем не менее описанный хирургический опыт расширяет горизонт возможностей лечения описываемой патологии.

Не менее успешное применение методики Masquelet описали М.Ф. Мак с соавторами при этапном лечении инфицированного дефекта костной ткани в *среднем отделе стопы* при ДНОАП, за исключением того, что ими на втором этапе применялась пластика дефекта из гребня подвздошной кости [32].

Таким образом, техника Masquelet практически незаменима при этапном лечении на фоне острого инфекционного воспаления.

Пожалуй, самым современным является метод пластики с использованием ДКМ в комбинации с мезенхимальными стволовыми клетками (МСК). В работе S.M. Hollawell описан результат лечения 20 пациентов со стопой Шарко, которым проводился артродез суставов стопы или голеностопного сустава. В этих наблюдениях не осуществлялось замещения крупного дефекта костной ткани, а только добавляли малый объем препарата в зону артродеза. Обращают на себя внимание относительно короткие сроки формирования костного анкилоза (в среднем 6 мес.). Неоднократное

упоминание коммерческого названия препарата, несмотря на обозначенное отсутствие финансирования, усиливает скептическое отношение к этой работе [39].

D.K. Lee и G.D. Mulder также заявляют о более раннем появлении рентгенологических признаков сращения при применении МСК в реконструктивной хирургии стопы Шарко *обеих локализаций*: 6,4 против 9,2 нед. ($p < 0,024$) у пациентов без применения МСК. Но отмечают при этом сходное или большее количество осложнений или неудовлетворительных результатов [40].

Костная пластика по Илизарову

Данный способ замещения объемного дефекта костной ткани является наиболее проверенным временем, в том числе и при лечении ДНОАП. В некоторых работах зарубежных авторов описан опыт выполнения *артродеза заднего отдела стопы и пяточно-большеберцового артророза* с удлинением большеберцовой кости за счет дистракционного остеогенеза [41, 42, 43, 44]. Таким образом происходит компенсация произошедшего укорочения конечности. Авторами работ описано успешное применение аппарата внешней фиксации (АВФ) Илизарова как изолированно, так и в комбинации с остеосинтезом: демонтаж АВФ после окончания этапа дистракции с последующим остеосинтезом при помощи интрамедуллярного блокируемого штифта. Преимуществами данного метода костной пластики являются абсолютная биосовместимость и «физиологичность» регенерата, широкие возможности (в том числе в комбинации с другими видами костной пластики и локальной антибиотикотерапией) восполнения утраченного объема кости и коррекции деформации, а также низкая себестоимость.

Для компенсации укорочения голени при *пяточно-большеберцовом артророзе* за счет формирования дистракционного регенерата используется остеотомия не только в проксимальной части большеберцовой кости, но и в дистальной, в том числе с интрамедуллярным ретроградным остеосинтезом по завершении этапа дистракции в АВФ [44]. Авторы считают преимуществом этой методики стимуляцию кровообращения на уровне дистального сегмента нижней конечности (в зоне пяточно-большеберцового артророза) за счет остеотомии дистальной зоны большеберцовой кости, а также меньшую продолжительность такого обременительного для пациента метода фиксации, как АВФ. Однако, по нашему мнению, применение погружного металлоостеосинтеза у пациентов с СДС является недостатком методики. Кроме того, авторы статьи указывают на более длительный срок формирования регенерата в нижней трети голени по

сравнению с остеотомией в проксимальной метафизарной зоне: приблизительно 10 и 8 мес. соответственно.

Сроки ношения АВФ и формирования костного анкилоза при сочетании костной пластики ДКМ с аутокостью для компенсации укорочения голени при пяточно-большеберцовом артророзе [38], использовании металлического имплантата с трабекулярной текстурой в сочетании с аутокостью [35], удлинении голени по Илизарову за счет формирования дистракционного регенерата в проксимальном метафизе [43] сопоставимы. Однако использование свободной костной пластики дороже и технически сложнее. Наличие погружных фиксаторов и любого вида костных трансплантатов для пациентов с СДС потенциально более рискованно.

Каждая из описанных методик представляет научный и практический интерес. Однако непонятно, когда и при каких обстоятельствах следует отдавать предпочтение той или иной технике. Во всех сообщениях описан положительный опыт костной пластики при ДНОАП. Однако среди изученных публикаций нет ни одного исследования с высоким уровнем доказательности, т.е. рандомизированных контролируемых клинических исследований. В тех публикациях, где фигурировала контрольная группа, ее подбор был не совсем корректным, критерии сравнения не выделены, объективные показатели скудны. В большинстве случаев авторы ограничивались словесным описанием положительной динамики и результатов лечения.

Для реконструктивной хирургии среднего отдела стопы Шарко более актуальна свободная пластика, но публикаций о формировании дистракционного регенерата в данной области мы не встретили. Во всех работах, посвященных данной тематике, упоминается, что аутопластика по-прежнему является золотым стандартом замещения костных дефектов небольшого объема.

Очевидно, что у каждого способа костной пластики есть свои преимущества и недостатки. Все они ещё нуждаются в продолжении исследований, анализе и изучении практической эффективности. Нам представляется, что замещение костного дефекта при помощи формирования внеочагового дистракционного регенерата является менее рискованным и более физиологичным, простым, дешевым и надежным методом по сравнению со свободной костной пластикой компрометированной зоны опорно-двигательного аппарата при ДНОАП. В большей степени это касается удлинения голени при поражении заднего отдела стопы и голеностопного сустава.

Укорочение на 1–3 см за счет резекционного артророза среднего отдела при поражении кос-

тей по всей ширине, на наш взгляд, имеет ограниченное показание для выполнения свободной костной пластики, т.к. функция стопы, биомеханика, опороспособность конечности в таком случае не сопровождаются грубыми нарушениями. Применение же трансплантата большого объема при свободной костной пластике этой зоны увеличивает срок лечения, риск осложнений и снижает прогноз успешного результата операции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Бардюгов П.С. — дизайн обзора, информационный поиск и анализ публикаций, написание и редактирование текста статьи.

Паршиков М.В. — информационный поиск, написание и редактирование текста статьи.

Ярыгин Н.В. — информационный поиск, написание и 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. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный 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.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Wukich D.K., Schaper N.C., Gooday C., Bal A., Bem R., Chhabra A. et al. Guidelines on the diagnosis and treatment of active Charcot neuro-osteoarthropathy in persons with diabetes mellitus (IWGDF 2023). *Diabetes Metab Res Rev.* 2023:e3646. doi: 10.1002/dmrr.3646.
2. Lowery N.J., Woods J.B., Armstrong D.G., Wukich D.K. Surgical management of Charcot neuroarthropathy of the foot and ankle: a systematic review. *Foot Ankle Int.* 2012;33(2):113-121. doi: 10.3113/FAI.2012.0113.
3. Botek G., Figas S., Narra S. Charcot Neuroarthropathy Advances: Understanding Pathogenesis and Medical and Surgical Management. *Clin Podiatr Med Surg.* 2019;36(4):663-684. doi: 10.1016/j.cpm.2019.07.002.
4. Ajit Kumar Varma. Charcot Neuroarthropathy of the Foot and Ankle: A Review. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(6):740-749. doi: 10.1053/j.jfas.2013.07.001.
5. Spiess K.E., McLemore A., Zinyemba P., Ortiz N., Meyr A.J. Application of the five stages of grief to diabetic limb loss and amputation. *J Foot Ankle Surg.* 2014;53(6):735-739. doi: 10.1053/j.jfas.2014.06.016.
6. Wukich D.K., Raspovic K.M., Suder N.C. Patients With Diabetic Foot Disease Fear Major Lower-Extremity Amputation More Than Death. *Foot Ankle Spec.* 2018;11(1):17-21. doi: 10.1177/1938640017694722.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Костная аутопластика при поражении медиальной или латеральной колонны среднего отдела стопы и удлинение голени по Илизарову для компенсации укорочения конечности после реконструктивных операций на уровне заднего отдела стопы и голеностопного сустава являются наиболее часто применяемыми методами замещения костных дефектов у пациентов со стопой Шарко.

DISCLAIMERS

Author contribution

Bardyugov P.S. — study concept and design, literature search and analysis, writing and drafting the article.

Parshikov M.V. — literature search and analysis, writing and drafting the article.

Yarygin N.V. — literature search and analysis, writing and drafting the article.

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.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

7. Rogers L.C., Frykberg R.G., Armstrong D.G., Boulton A.J., Edmonds M., Van G.H. et al. The Charcot foot in diabetes. *Diabetes Care.* 2011;34(9):2123-2129. doi: 10.2337/dc11-0844.
8. Ha J., Hester T., Foley R., Reichert I.L.H., Vas P.R.J., Ahluwalia R. et al. Charcot foot reconstruction outcomes: A systematic review. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(3):357-368. doi: 10.1016/j.jcot.2020.03.025.
9. Kwaadu K.Y. Charcot Reconstruction: Understanding and Treating the Deformed Charcot Neuropathic Arthropathic Foot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2020;37(2):247-261. doi: 10.1016/j.cpm.2019.12.002.
10. Cianni L., Bocchi M.B., Vitiello R., Greco T., De Marco D., Masci G. et al. Arthrodesis in the Charcot foot: a systematic review. *Orthop Rev (Pavia).* 2020;12(Suppl 1):8670. doi: 10.4081/or.2020.8670.
11. Hartig N., Krenn S., Trnka H.J. Surgical treatment of the Charcot foot: long-term results and systematic review. *Orthopade.* 2015;44(1):14-24. (In German). doi: 10.1007/s00132-014-3058-8.
12. Wukich D.K., Belczyk R.J., Burns P.R., Frykberg R.G. Complications encountered with circular ring fixation in persons with diabetes mellitus. *Foot Ankle Int.* 2008;29(10):994-1000. doi: 10.3113/FAI.2008.0994.

13. Belczyk R.J., Rogers L.C., Andros G., Wukich D.K., Burns P.R. External fixation techniques for plastic and reconstructive surgery of the diabetic foot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2011;28(4):649-660. doi: 10.1016/j.cpm.2011.07.001.
14. Wiewiorski M., Yasui T., Miska M., Frigg A., Valderrabano V. Solid bolt fixation of the medial column in Charcot midfoot arthropathy. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(1):88-94. doi: 10.1053/j.jfas.2012.05.017.
15. Stapleton J.J., Zgonis T. Surgical reconstruction of the diabetic Charcot foot: internal, external or combined fixation? *Clin Podiatr Med Surg.* 2012;29(3):425-433. doi: 10.1016/j.cpm.2012.04.003.
16. Franceschi F., Franceschetti E., Torre G., Papalia R., Samuelsson K., Karlsson J. et al. Tibiotalocalcaneal arthrodesis using an intramedullary nail: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(4):1316-1325. doi: 10.1007/s00167-015-3548-1.
17. Dalla Paola L., Brocco E., Ceccacci T., Ninkovic S., Sorgentone S., Marinescu M.G. et al. Limb salvage in Charcot foot and ankle osteomyelitis: combined use single stage/double stage of arthrodesis and external fixation. *Foot Ankle Int.* 2009;30(11):1065-1070. doi: 10.3113/FAI.2009.1065.
18. Ramanujam C.L., Zgonis T. An Overview of Internal and External Fixation Methods for the Diabetic Charcot Foot and Ankle. *Clin Podiatr Med Surg.* 2017;34(1):25-31. doi: 10.1016/j.cpm.2016.07.004.
19. Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Галстян Г.Р., Ярыгин Н.В. Показания к различным вариантам ортопедической коррекции деформаций стопы при диабетической нейроостеоартропатии. *Сахарный диабет.* 2020;23(4):374-385. doi: 10.14341/DM12271.
20. Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Galstyan G.R., Yarygin N.V. Indications for various options of foot deformities orthopedic correction in diabetic neuroosteoarthropathy. *Diabetes Mellitus.* 2020; 23(4):374-385. (In Russian). doi: 10.14341/DM12271.
21. Ramanujam C.L., Stapleton J.J., Zgonis T. Diabetic charcot neuroarthropathy of the foot and ankle with osteomyelitis. *Clin Podiatr Med Surg.* 2014;31(4):487-492. doi: 10.1016/j.cpm.2013.12.001.
22. Ramanujam C.L., Facaros Z., Zgonis T. An overview of bone grafting techniques for the diabetic Charcot foot and ankle. *Clin Podiatr Med Surg.* 2012;29(4):589-595. doi: 10.1016/j.cpm.2012.07.005.
23. Sanders L.J. The Charcot foot: historical perspective 1827-2003. *Diabetes Metab Res Rev.* 2004;20 Suppl 1: S4-8. doi: 10.1002/dmrr.451.
24. Sanders L.J., Frykberg R.G. Diabetic neuropathic osteoarthropathy: the Charcot foot. In: Frykberg R.G. (ed.) *The high risk foot in diabetes mellitus.* New York: Churchill Livingstone; 1991. p. 297-338.
25. El-Gafary K.A., Mostafa K.M., Al-Adly W.Y. The management of Charcot joint disease affecting the ankle and foot by arthrodesis controlled by an Ilizarov frame: early results. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(10):1322-1325. doi: 10.1302/0301-620X.91B10.22431.
26. Shah N.S., De S.D. Comparative analysis of uniplanar external fixator and retrograde intramedullary nailing for ankle arthrodesis in diabetic Charcot's neuroarthropathy. *Indian J Orthop.* 2011;45(4):359-364. doi: 10.4103/0019-5413.82343.
27. Fitzgibbons T.C., Hawks M.A., McMullen S.T., Inda D.J. Bone grafting in surgery about the foot and ankle: indications and techniques. *J Am Acad Orthop Surg.* 2011;19(2):112-120. doi: 10.5435/00124635-201102000-00006.
28. Sheyn D., Pelled G., Zilberman Y., Talasazan F., Frank J.M., Gazit D. et al. Nonvirally engineered porcine adipose tissue-derived stem cells: use in posterior spinal fusion. *Stem Cells.* 2008;26(4):1056-1064. doi: 10.1634/stemcells.2007-0858.
29. Deresh G.M., Cohen M. Reconstruction of the diabetic Charcot foot incorporating bone grafts. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35(5):474-488. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80069-x.
30. Simon S.R., Tejwani S.G., Wilson D.L., Santner T.J., Denniston N.L. Arthrodesis as an early alternative to nonoperative management of Charcot arthropathy of the diabetic foot. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82-A(7):939-950. doi: 10.2106/00004623-200007000-00005.
31. Jeong S.T., Park H.B., Hwang S.C., Kim D.H., Nam D.C. Use of intramedullary nonvascularized fibular graft with external fixation for revisional Charcot ankle fusion: a case report. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):249-253. doi: 10.1053/j.jfas.2011.10.026.
32. Bishop A.T., Wood M.B., Sheetz K.K. Arthrodesis of the ankle with a free vascularized autogenous bone graft. Reconstruction of segmental loss of bone secondary to osteomyelitis, tumor, or trauma. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(12):1867-1875. doi: 10.2106/00004623-199512000-00011.
33. Mak M.F., Stern R., Assal M. Masquelet Technique for Midfoot Reconstruction Following Osteomyelitis in Charcot Diabetic Neuropathy: A Case Report. *JBJS Case Connect.* 2015;5(2):e28. doi: 10.2106/JBJS.CC.N.00112.
34. Neufeld S.K., Uribe J., Myerson M.S. Use of structural allograft to compensate for bone loss in arthrodesis of the foot and ankle. *Foot Ankle Clin.* 2002;7(1):1-17. doi: 10.1016/s1083-7515(01)00002-x.
35. Karr J.C. Management in the wound-care center outpatient setting of a diabetic patient with forefoot osteomyelitis using Cerament Bone Void Filler impregnated with vancomycin: off-label use. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2011;101(3):259-264. doi: 10.7547/1010259.
36. Kreulen C., Lian E., Giza E. Technique for Use of Trabecular Metal Spacers in Tibiotalocalcaneal Arthrodesis With Large Bony Defects. *Foot Ankle Int.* 2017;38(1):96-106. doi: 10.1177/1071100716681743.
37. Deresh G.M., Cohen M. Reconstruction of the diabetic Charcot foot incorporating bone grafts. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35(5):474-488. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80069-x.
38. Pacaccio D.J., Stern S.F. Demineralized bone matrix: basic science and clinical applications. *Clin Podiatr Med Surg.* 2005;22(4):599-606. doi: 10.1016/j.cpm.2005.07.001.
39. Оснач С.А., Оболенский В.Н., Процко В.Г., Борзунов Д.Ю., Загородный Н.В., Тамоев С.К. Метод двухэтапного лечения пациентов с тотальными и субтотальными дефектами стопы при нейроостеоартропатии Шарко. *Гений ортопедии.* 2022;28(4):523-531. doi: 1028-4427-2022-28-4-523-531.
40. Osnach S.A., Obolensky V.N., Protsko V.G., Borzunov D.Yu., Zagorodny N.V., Tamoev S.K. Method of two-stage treatment of total and subtotal defects of the foot in Charcot neuroosteoarthropathy. *Genius Orthopaedic.* 2022;28(4):523-531. (In Russian). doi: 1028-4427-2022-28-4-523-531.
41. Hollawell S.M. Allograft Cellular Bone Matrix as an Alternative to Autograft in Hindfoot and Ankle Fusion Procedures. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):222-225. doi: 10.1053/j.jfas.2011.10.001.
42. Lee D.K., Mulder G.D. Stem cell applications in diabetic Charcot foot and ankle reconstructive surgery. *Wounds.* 2010;22(9):226-9.

41. Siddiqui N.A., Millonig K.J., Mayer B.E., Fink J.N., McClure P.K., Bibbo C. Increased Arthrodesis Rates in Charcot Neuroarthropathy Utilizing Distal Tibial Distraction Osteogenesis Principles. *Foot Ankle Spec.* 2022;15(4):394-408. doi: 10.1177/19386400221087822.
42. Tellisi N., Fragomen A.T., Ilizarov S., Rozbruch S.R. Limb salvage reconstruction of the ankle with fusion and simultaneous tibial lengthening using the Ilizarov/Taylor spatial frame. *HSS J.* 2008;4(1):32-42. doi: 10.1007/s11420-007-9073-0.
43. Sakurakichi K., Tsuchiya H., Uehara K., Kabata T., Yamashiro T., Tomita K. Ankle arthrodesis combined with tibial lengthening using the Ilizarov apparatus. *J Orthop Sci.* 2003;8(1):20-25. doi: 10.1007/s007760300003.
44. Millonig K.J., Siddiqui N.A. Tibial Lengthening and Intramedullary Nail Fixation for Hindfoot Charcot Neuroarthropathy. *Clin Podiatr Med Surg.* 2022;39(4): 659-673. doi: 10.1016/j.cpm.2022.05.011.

Сведения об авторах

✉ Бардюгов Петр Сергеевич

Адрес: Россия, 117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11.
<https://orcid.org/0000-0002-5771-0973>
 e-mail: petrbaridiugov@gmail.com

Паршиков Михаил Викторович — д-р мед. наук, профессор
<http://orcid.org/0000-0003-4201-4577>
 e-mail: parshikovmikhail@gmail.com

Ярыгин Николай Владимирович — д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН
<http://orcid.org/0000-0003-4322-6985>
 e-mail: dom1971@yandex.ru

Authors' information

✉ Petr S. Bardyugov

Address: 11, Dm. Ulyanova st., 117036, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-5771-0973>
 e-mail: petrbaridiugov@gmail.com

Mikhail V. Parshikov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<http://orcid.org/0000-0003-4201-4577>
 e-mail: parshikovmikhail@gmail.com

Nikolay V. Yarygin — Dr. Sci. (Med.), Professor
<http://orcid.org/0000-0003-4322-6985>
 e-mail: dom1971@yandex.ru

СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ МИРОНОВ

1948–2023

14 августа 2023 г. на 76-м году жизни после непродолжительной болезни скоропостижно скончался выдающийся ученый, отличный организатор, прекрасный клиницист, эрудированный педагог, общественный деятель, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН Сергей Павлович Миронов.

Сергей Павлович родился 6 августа 1948 г. в Москве. Вся трудовая деятельность Сергея Павловича была неразрывно связана с Центральным институтом травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова. Еще будучи студентом Первого Московского медицинского института, он начал здесь работать санитаром, а затем медбратом. После окончания института в 1973 г. его распределили на работу в отделение детской травматологии ЦИТО.

В 1979 г. С.П. Миронов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Оперативное лечение посттравматических контрактур и анкилозов локтевого сустава у детей». В 1983 г. он был избран по конкурсу на должность заведующего отделением спортивной и балетной травмы. В 1984 г. С.П. Миронов закончил работу над докторской диссертацией «Посттравматические деформации и контрактуры крупных суставов у детей и подростков и их лечение», которую успешно защитил.

Дальнейшая научная деятельность профессора С.П. Миронова была связана с разработкой и внедрением в травматологию и ортопедию малоинвазивных артроскопических и микрохирургических методов лечения.

С 1995 по 2011 г. Сергей Павлович являлся заместителем управляющего делами Президента Российской Федерации, начальником Главного медицинского управления, а с 1998 по 2019 г. — директором ЦИТО, где ярко проявился его талант организатора. С 2019 г. до последнего времени Сергей Павлович был почетным Президентом НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.

На протяжении 25 лет Сергей Павлович являлся главным внештатным специалистом травматологом-ортопедом Минздрава России



и проводил огромную работу по развитию травматолого-ортопедической службы во всех регионах Российской Федерации.

Сергей Павлович длительное время руководил кафедрами травматологии и ортопедии МГУ им. М.И. Ломоносова, а затем ФГБОУ ВО «МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, где готовили травматологов-ортопедов не только для Российской Федерации, но и для стран СНГ.

С 1999 г. до последнего дня Сергей Павлович был главным редактором журнала «Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова», а также членом редакционных коллегий ряда ведущих отечественных и зарубежных журналов по нашей специальности.

Его общественная деятельность неразрывно связана с созданием в 1996 г. профессиональной общественной организации «Российское артроскопическое общество», а в 2014 г. — Ассоциации травматологов-ортопедов России, президентом которых Сергей Павлович являлся на протяжении длительного времени.

Память о Сергее Павловиче Миронове, прекрасном человеке, талантливом организаторе и руководителе, навсегда сохранится в сердцах его родных, друзей, коллег, учеников и пациентов.

*Коллектив НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова
Редакция журнала присоединяется к соболезнованиям наших коллег*