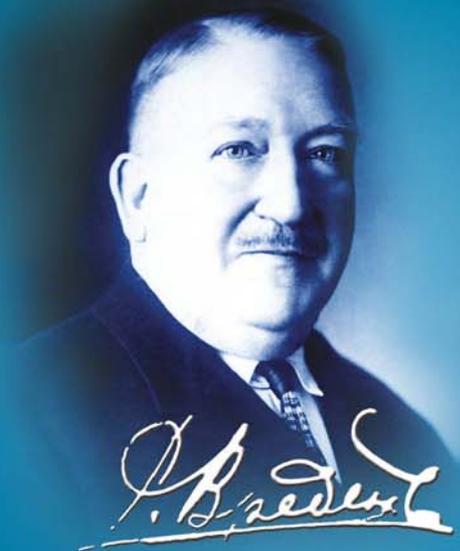


ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

2022 • Т. 28 • № 1

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Травматология и ортопедия России

Том 28, Выпуск 1, 2022

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1993 г.

УЧРЕДИТЕЛИ

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

ИЗДАТЕЛЬ

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

РЕДАКЦИЯ

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

ИНДЕКСАЦИЯ

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

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

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



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

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

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

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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.

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

Travmatologiya i Ortopediya Rossii

Vol. 28, N 1, 2022

QUARTERLY SCIENTIFIC AND PRACTICAL PEER-REVIEWED JOURNAL

Journal founded in 1993

FOUNDERS

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

PUBLISHER

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

EDITORIAL OFFICE

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

INDEXING

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

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

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



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

Editors: I.V. Kolesnikova, A.S. Shen
Layout: S.V. Gavrilova

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

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

© Eco-Vector, 2022

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Executive secretary

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

EDITORIAL BOARD

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Тихилов Р.М., Середа А.П.
Ортопедические последствия COVID-19..... 5

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Преображенский П.М., Божкова С.А.,
Каземирский А.В.**
Расчет индекса коморбидности как фактора риска рецидива
перипротезной инфекции после установки спейсера
коленного сустава.....7

**Тёпленький М.П., Олейников Е.В., Бунов В.С.,
Фокилов Д.Т.**
Реконструкция тазобедренного сустава у молодых
пациентов с диспластическим коксартрозом 19

**Чугаев Д.В., Коновальчук Н.С., Коган П.Г.,
Корнилов Н.Н., Сорокин Е.П.,
Глазнев Д.Н.**
Применение адсорбирующих повязок
из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра
в первичном эндопротезировании коленного сустава:
рандомизированное исследование28

**Божкова С.А., Ливенцов В.Н., Тихилов Р.М., Романо К.Л.,
Кочиш А.Ю., Лабутин Д.В., Артюх В.А.**
Белково-энергетическая недостаточность как предиктор
ранних повторных ревизий после санлирующих операций
у пациентов с трудноизлечимой перипротезной
инфекцией39

**Бортулов П.И., Виссарионов С.В., Баскаева Т.В.,
Барсуков Д.Б., Поздников И.Ю., Мурашко Т.В.,
Басков В.Е., Познович М.С.**
Применение ортопедического электрета в хирургическом
лечении детей с болезнью Пертеса:
ближайшие результаты46

Бабаева Х.Б., Полухов Р.Ш.
Ультразвуковая оценка ядра окостенения проксимального
эпифиза бедренной кости у детей до 1 года.....58

**Баткин С.Ф., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г.,
Агранович О.Е., Барсуков Д.Б., Буклаев Д.С.,
Петрова Е.В., Трофимова С.И., Коченова Е.А.,
Савина М.В.**
Выбор способа хирургического лечения детей грудного
и дошкольного возраста с вывихом бедра
при амиоплазии67

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

**Антропова И.П., Волокитина Е.А., Удинцева М.Ю.,
Юшков Б.Г., Тюменцева Н.В., Кутепов С.М.**
Влияние керамического материала на основе цирконата
лантана на динамику гематологических показателей
и маркеров ремоделирования костной ткани:
экспериментальное исследование 79

**Зелянин Д.А., Дубров В.Э., Зелянин А.С.,
Филиппов В.В., Яшин Д.В., Петросян К.А.**
Особенности выделения передних большеберцовых
сосудов при формировании костных васкуляризованных
трансплантатов.....89

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ
И ОРТОПЕДИИ

**Воронкевич И.А., Варфоломеев А.П.,
Герашенко Н.И.**
Артродез плечевого сустава: новая технология 100

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

**Панин М.А., Петросян А.С., Хаджихараламбус К.Х.,
Бойко А.В.**
Остеонекроз головки бедренной кости после COVID-19:
серия клинических наблюдений 110

ОБЗОРЫ

**Щурова Е.Н., Рябых С.О., Очирова П.В., Попков Д.А.,
Рябых Т.В.**
Варианты патологии позвоночника у пациентов
с несовершенным остеогенезом: обзор литературы 118

Торгашин А.Н., Родионова С.С.
Остеонекроз у пациентов, перенесших COVID-19:
механизмы развития, диагностика, лечение
на ранних стадиях (обзор литературы)..... 128

**Жумабеков С.Б., Пронских А.А., Павлов В.В.,
Корыткин А.А.**
Хирургическое лечение пациентов с патологией
коленного сустава и деформациями нижних конечностей:
систематический обзор литературы 138

ЮБИЛЕИ

Владимир Петрович Морозов
К 75-летию со дня рождения.....148

CONTENTS

EDITORIAL

- Tikhilov R.M., Sereda A.P.**
Orthopedic Consequences of COVID-19..... 5

CLINICAL STUDIES

- Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V.**
Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation7
- Teplenky M.P., Oleinikov E.V., Bunov V.S., Fozilov D.T.**
Pelvic Osteotomies for Treatment of Young Patients With Hip Osteoarthritis Secondary to Developmental Dysplasia 19
- Chugaev D.V., Konovalchuk N.S., Kogan P.G., Kornilov N.N., Sorokin E.P., Glaznyov D.N.**
Adsorbent Dressings from Sodium Carboxymethyl Cellulose With Silver Ions in Primary Knee Arthroplasty: A Randomized Trial28
- Bozhkova S.A., Liventsov V.N., Tikhilov R.M., Romano C.L., Kochish A.Yu., Labutin D.V., Artyukh V.A.**
Protein Energy Malnutrition as a Predictor of Early Recurrent Revisions After Debridement Surgery in Patients With Difficult-to-Treat Periprosthetic Infection39
- Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskaeva T.V., Barsukov D.B., Pozdnyukov I.Yu., Murashko T.V., Baskov V.E., Poznovich M.S.**
The Use of Electret In the Surgical Treatment of Children With Perthes Disease: Early Outcomes.....46
- Babaeva Kh.B., Polukhov R.Sh.**
Ultrasonographic Assessment of the Proximal Femoral Ossification Center in Children Under 1 Year58
- Batkin S.F., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Agranovich O.E., Barsukov D.B., Buklaev D.S., Petrova E.V., Trofimova S.I., Kochenova E.A., Savina M.V.**
Surgical Treatment of Children with Hip Dislocation in Amyoplasia-Type Arthrogyposis: A Rational Approach to Treatment Selection67

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES

- Antropova I.P., Volokitina E.A., Udintseva M.Yu., Yushkov B.G., Tyumentseva N.V., Kutepov S.M.**
Effect of Lanthanum Zirconate Ceramic on the Dynamics of Hematological Parameters and the Bone Remodeling Markers: Experimental Study79
- Zelyanin D.A., Dubrov V.E., Zelyanin A.S., Filippov V.V., Yashin D.V., Petrosyan K.A.**
Features of the Extraction of the Anterior Tibial Vessels in the Formation of Vascularized Bone Grafts89

NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

- Voronkevich I.A., Varfolomeev A.P., Geraschenko N.I.**
Shoulder Arthrodesis: A New Technique 100

CASE REPORTS

- Panin M.A., Petrosyan A.S., Hadjicharalambous K.Kh., Boiko A.V.**
Avascular Necrosis of the Femoral Head After COVID-19: A Case Series 110

REVIEWS

- Shchurova E.N., Ryabykh S.O., Ochirova P.V., Popkov D.A., Ryabykh T.V.**
Spine Pathologies in Osteogenesis Imperfecta: A Review 118
- Torgashin A.N., Rodionova S.S.**
Osteonecrosis in Patients Recovering from COVID-19: Mechanisms, Diagnosis, and Treatment at Early-Stage Disease (Review) 128
- Zhumabekov S.B., Pronskikh A.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A.**
Surgical Treatment of Patients With Knee Pathology and Deformities of the Lower Extremities: A Systematic Review 138

UBILEES

- Vladimir P. Morozov**
75th Anniversary of the Birth 148

ОРТОПЕДИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ COVID-19

Р.М. Тихилов

д-р мед. наук, профессор, главный редактор

А.П. Серета

д-р мед. наук, член редколлегии

Представляем Вашему вниманию первый выпуск нашего журнала в этом году. В нем представлены различные работы по самым актуальным вопросам травматологии и ортопедии.

Мы продолжаем жить и работать в условиях борьбы с COVID-19 и последствиями этого заболевания. В связи с этим отрадно видеть на страницах журнала две статьи наших московских коллег, посвященные остеонекрозу и его связи с COVID-19.

Многие из нас стали обращать внимание на участвовавшие случаи развития остеонекроза различных локализаций, что, возможно, связано с COVID-19. Несмотря на обилие встречающихся в последний год пациентов с остеонекрозом после перенесенного COVID-19, в ортопедических журналах пока этот вопрос освещен весьма скудно: при поиске в PubMed по запросу *COVID-19 femoral head necrosis* обнаруживается восемь работ, из которых релевантны только шесть [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Среди этих шести работ только S.R. Agarwala с соавторами [1] сообщают о трех случаях развития остеонекроза головки бедренной кости у пациентов после кортикостероидной терапии COVID-19, а в остальных пяти работах [2, 3, 4, 5, 6] авторы высказывают опасения о развитии остеонекроза после гормонотерапии. В связи с этим мы особенно благодарны нашим авторам за проведенную работу в этом актуальном направлении и публикацию статей на страницах нашего журнала. Однако имеющаяся в настоящее время доказательная база не позволяет быть уверенным в том, что именно COVID-19 сам по себе является фактором риска или патогенетическим механизмом развития остеонекроза.

Вероятно, не сам COVID-19 приводит к остеонекрозу, а широко используемая при стационарном лечении пациентов с тяжелыми формами новой коронавирусной инфекции гормональная терапия. Впервые об остеонекрозе в контексте вирус-

ных заболеваний ортопеды начали говорить после эпидемии SARS в 2003 г. Была опубликована целая серия сообщений об остеонекрозе головки бедренной кости, но, опять же, как о следствии стероидной терапии, а не самого SARS: частота остеонекроза достигала 23% [7]. Кортикостероид-индуцированный остеонекроз известен уже давно: первые публикации появились еще в 1960 г. [8, 9], а в 2015 г. вышел метаанализ по этому вопросу [10].

Возможное влияние на развитие остеонекроза других патологических факторов COVID-19 (поражение сосудов, коагулопатия, цитокиновый шторм, васкулиты, агрегации лейкоцитов, гиперкоагуляция и т.д.) изучено недостаточно, и для более детального доказательства связи самого COVID-19 с остеонекрозом необходимы будущие исследования. Помимо остеонекроза головки бедренной кости, в клинической практике встречаются и другие локализации: остеонекроз головки плечевой кости, таранной кости, пяточной кости, мыщелков бедренной и большеберцовой костей и т.д. Еще предстоит детально доказать прямую связь остеонекроза с COVID-19, а самое главное — понять механизм развития этой патологии, выявить частоту встречаемости и зависимость от дозировок применяемых препаратов, изучить особенности дебюта первых признаков и клинического течения, возможные меры профилактики и наиболее эффективные варианты лечения.

В любом случае остеонекроз и COVID-19 — чрезвычайно актуальная проблема, и гормональная терапия, безусловно, должна назначаться при тщательном анализе соотношения риск/польза, особенно у амбулаторных пациентов и у больных с нетяжелым течением COVID-19.

Желаем всем здоровья, скорейшего окончания эпидемии и возвращения к плановой работе!

Литература [References]

1. Agarwala S.R., Vijayvargiya M., Pandey P. Avascular necrosis as a part of 'long COVID-19'. *BMJ Case Rep.* 2021;14(7):e242101. doi: 10.1136/bcr-2021-242101.
2. Chen F., Hao L., Zhu S., Yang X., Shi W., Zheng K. et al. Potential Adverse Effects of Dexamethasone Therapy on COVID-19 Patients: Review and Recommendations. *Infect Dis Ther.* 2021;10(4):1907-1931. doi: 10.1007/s40121-021-00500-z.
3. Snowden G.T., Clement N.D., Zhang S., Xue Q., Simpson A.H.R.W. Orthopaedic long COVID – the unknown unknowns: are we facing a pandemic of avascular necrosis following COVID-19? *Bone Joint Res.* 2022;11(1):10-11. doi: 10.1302/2046-3758.111.BJR-2021-0505.
4. Zhang S., Wang C., Shi L., Xue Q. Beware of Steroid-Induced Avascular Necrosis of the Femoral Head in the Treatment of COVID-19-Experience and Lessons from the SARS Epidemic. *Drug Des Devel Ther.* 2021;15:983-995. doi: 10.2147/DDDT.S298691.
5. Bone Circulation And Osteonecrosis Professional Committee Shockwave Medical Specialty Committee Of Chinese Research Hospital Association. [Expert consensus on prevention and treatment strategies for osteonecrosis of femoral head during the prevention and control of novel coronavirus pneumonia (2020)]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2020;34(8):1031-1035. (In Chinese). doi: 10.7507/1002-1892.202003068.
6. Tang C., Wang Y., Lv H., Guan Z., Gu J. Caution against corticosteroid-based COVID-19 treatment. *Lancet.* 2020;395(10239):1759-1760. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30749-2.
7. Xie L., Liu Y., Fan B., Xiao Y., Tian Q., Chen L. et al. Dynamic changes of serum SARS-coronavirus IgG, pulmonary function and radiography in patients recovering from SARS after hospital discharge. *Respir Res.* 2005;6(1):5. doi: 10.1186/1465-9921-6-5.
8. Heimann W.G., Freiburger R.H. Avascular necrosis of the femoral and humeral heads after high-dosage corticosteroid therapy. *N Engl J Med.* 1960;263:672-675. doi: 10.1056/NEJM196010062631404.
9. Dubois E.L. Current therapy of systemic lupus erythematosus. A comparative evaluation of corticosteroids and their side-effects with emphasis on fifty patients treated with dexamethasone. *JAMA.* 1960;173:1633-1640. doi: 10.1001/jama.1960.03020330001001.
10. Mont M.A., Pivec R., Banerjee S., Issa K., Elmallah R.K., Jones L.C. High-Dose Corticosteroid Use and Risk of Hip Osteonecrosis: Meta-Analysis and Systematic Literature Review. *J Arthroplasty.* 2015;30(9):1506-1512.e5. doi: 10.1016/j.arth.2015.03.036.



Расчет индекса коморбидности как фактора риска рецидива перипротезной инфекции после установки спейсера коленного сустава

П.М. Преображенский, С.А. Божкова, А.В. Каземирский

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

Актуальность. В настоящее время подробно изучены связанные с пациентом факторы, повышающие риск возникновения перипротезной инфекции (ППИ), однако влияние тех же факторов на риск развития рецидива инфекции, а также кумулятивный эффект нескольких заболеваний на риск рецидива изучены недостаточно. **Цель исследования** — проанализировать структуру сопутствующей патологии у пациентов с ППИ коленного сустава и на основании полученных данных создать оценочную шкалу, позволяющую прогнозировать вероятность развития рецидива инфекции после санирующего этапа операции. **Материал и методы.** Ретроспективное одноцентровое когортное исследование основано на полученных из медицинской документации сведениях о 161 пациенте с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава, прошедшего этапное лечение за период с января 2007 г. по январь 2017 г., собранных в ходе диссертационного исследования. С целью уточнения структуры коморбидности и наиболее важных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы: группа 1 — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения — 48 человек; группа 2 — пациенты с ППИ, успешно прошедшие первый этап (имплантация спейсера) — 113 человек. При выполнении диссертационного исследования первого автора (П.М.П.) был сформирован перечень сопутствующей патологии, состоящий из 17 пунктов, характеризующих наличие и выраженность различных сопутствующих заболеваний. В дальнейшем при помощи мультифакторного статистического анализа с использованием метода классификационных деревьев определяли значимость каждой патологии, пороговые значения для суммарного балла по сформулированной шкале коморбидности (индекса коморбидности) для интерпретации полученных результатов. **Результаты.** Наибольшая значимость среди прочих факторов принадлежит хронической железодефицитной анемии, заболеваниям почек, ожирению и патологии сердечно-сосудистой системы. Установлены значения пороговых критериев индекса коморбидности, позволяющие трактовать полученный результат. Проанализировано распределение пациентов по категориям риска внутри каждой группы и определены межгрупповые различия. Значение индекса, соответствующее минимальному риску рецидива инфекции, чаще встречалось в группе пациентов без рецидива ППИ ($p < 0,0001$). Более половины пациентов с неудачными попытками санации очага инфекционного воспаления имели высокий риск, по сравнению с пациентами без рецидива ППИ. **Заключение.** Проведение многофакторного анализа наличия и выраженности сопутствующей патологии позволило разработать шкалу коморбидности с расчетом интегрального показателя (индекса коморбидности) и установить его пороговые значения. Предложенный индекс коморбидности может лечь в основу объединенного калькулятора риска рецидива и алгоритма тактики выбора хирургического лечения у пациентов с ППИ коленного сустава, что требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: перипротезная инфекция, коленный сустав, рецидив, коморбидность, факторы риска.

Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В. Расчет индекса коморбидности как фактора риска рецидива перипротезной инфекции после установки спейсера коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):7-18. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1718>.

Cite as: Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V. [Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):7-18. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1718>.

Преображенский Петр Михайлович / Petr M. Preobrazhensky; e-mail: Pedrro@yandex.ru

Рукопись получена: 17.12.2021. Рукопись одобрена: 28.01.2022. Статья опубликована онлайн: 16.02.2022.
Submitted: 17.12.2021. Accepted: 28.01.2022. Published Online: 16.02.2022.

Comorbidity Index as a Risk Factor of Knee PJI Recurrence After Spacer Implantation

Petr M. Preobrazhensky, Svetlana A. Bozhkova, Alexander V. Kazemirsky

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

Background. Patient-related risk factors for periprosthetic joint infection (PJI) are currently investigated in detail. However, the influence of those factors on PJI recurrence and their confounding effect was not investigated. Identifying factors that influence PJI recurrence and establishing the role of each risk factor are important. **The study aimed** to analyze the comorbidity structure in patients with knee PJI and create, based on obtained data, a rating scale that allows predicting the probability of PJI recurrence after spacer implantation. **Material and Methods.** A single-center study was conducted based on retrospective data of 161 patients with PJI after primary total knee arthroplasty treated with staged reimplantation from January 2007 to January 2017. To clarify comorbidity structure and the most important risk factors, all patients were divided into two groups: patients with PJI recurrence after spacer implantation (group 1, n = 48) and patients who successfully passed spacer implantation (n = 113, group 2). Based on the obtained data, the frequency of comorbidities was analyzed. The list included 17 points that characterized the presence and severity of different comorbidities. Then, we conducted a logistic regression analysis to identify the significance of each factor and thresholds for the comorbidity index (CI) for the interpretation of the final score. With the presented scale, spacer implantation in the compared groups was analyzed. **Results.** The most significant comorbidities were anemia, chronic kidney disease, obesity, and cardiovascular pathology. The CI thresholds were calculated, which allowed interpretation of the obtained score. The distribution of patients by risk categories within each group was also analyzed, and differences between groups were determined. The CI value corresponding to the minimal risk of PJI recurrence was more common ($p < 0.0001$) in group 1. Moreover, more than half of the patients with failed spacer implantation had a high risk of PJI recurrence according the CI value, and only 6.2% of patients who had successful treatment had CI high value ($p < 0.0001$). **Conclusion.** The multivariate analysis of the presence and severity of concomitant pathologies enabled the development of a comorbidity scale with the calculation of an integral indicator (comorbidity index) and establishment of its threshold values. The proposed CI could be the basis for a combined relapse risk calculator and an algorithm for choosing the surgical treatment strategy in patients with knee PJI, which requires further investigation.

Keywords: periprosthetic joint infection, knee, recurrence, comorbidity, risk factors.

Введение

За последнее десятилетие перипротезная инфекция (ППИ) прочно укрепилась среди наиболее частых причин ревизионных вмешательств после эндопротезирования коленного сустава [1, 2]. Учитывая неуклонный рост случаев ППИ, вызванных трудноизлечимыми возбудителями, а также немалую долю случаев осложненной ППИ (невыявленный возбудитель, свищевые формы ППИ, массивные костные дефекты), этапное реэндопротезирование остается одной из предпочтительных тактик хирургического лечения [3, 4, 5]. Лечение ППИ сопровождается значимо большими затратами и сопровождается большим числом осложнений по сравнению с эндопротезированием по асептическим причинам [6, 7]. По данным Z.C. Lum с соавторами, летальность варьирует от 1,7% до 34,0%, причинами могут быть как тяжесть течения инфекционного процесса, так и декомпенсация сопутствующей патологии [8].

В настоящее время подробно изучены связанные с пациентом факторы, повышающие риск возникновения ППИ, к которым относят наличие системных заболеваний, патологию печени, почек, иммунодефицитные состояния, ожирение, патологию периферических сосудов и др. [9]. Однако влияние тех же факторов, а также совокупное влияние нескольких заболеваний на риск развития рецидива изучены недостаточно. Представляется важным не только выявить, какие факторы оказывают влияние на риск рецидива, но и установить степень этого влияния. Учитывая, что ряд факторов риска, относящихся к пациенту, являются модифицируемыми, выявление ключевых патологий позволит на дооперационном этапе подготовить пациента к предстоящему хирургическому вмешательству, снизив вероятность возможного рецидива ППИ и летального исхода.

Цель исследования — изучить структуру сопутствующей патологии у пациентов с ППИ коленного сустава и на основании полученных данных создать оценочную шкалу, позволяющую прогнозировать вероятность развития рецидива инфекции после санлирующего этапа.

Материал и методы

Дизайн исследования

Ретроспективное одноцентровое когортное исследование основано на полученных из медицинской документации сведениях о 161 пациенте с ППИ после первичного эндопротезирования коленного сустава, прошедшем этапное лечение за период с января 2007 г. по январь 2017 г., собранных в ходе диссертационного исследования первого автора*. Средний период наблюдений составил 5,6 (2,4–7,2) лет.

Критериями не включения в исследование были ранее выполненные ревизионные вмешательства на коленном суставе, наличие у пациентов признаков системной воспалительной реакции.

Диагностику ППИ коленного сустава проводили в соответствии с критериями International Consensus Meeting [10]. Тип ППИ определяли, исходя из сроков ее манифестации после первичного эндопротезирования: ранняя (<3 мес. после эндопротезирования), отсроченная (3–12 мес. после эндопротезирования) и поздняя (>12 мес. после эндопротезирования) [11].

С целью уточнения структуры коморбидности и наиболее важных факторов риска рецидива ППИ пациентов разделили на две группы сравнения:

- группа 1 — пациенты с рецидивами ППИ после выполнения первого этапа лечения — 48 человек;
- группа 2 — пациенты с ППИ, успешно прошедшие этап имплантации спейсера — 113 человек (рис. 1).

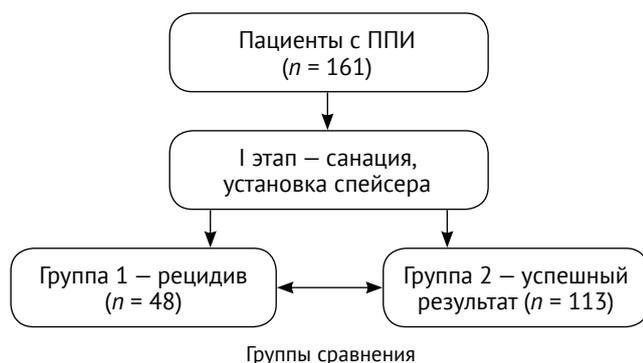


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study flowchart

В группах сравнения были проанализированы известные факторы риска возникновения инфекционных осложнений: структура исходных диагнозов, выявление типа возбудителя в пунктате на дооперационном этапе или диагностически значимых возбудителей из интраоперационного материала, наличие и выраженность патологии сердечно-сосудистой системы, дыхательной системы, печени и желчевыводящих путей, мочевыделительной системы, сахарного диабета, системных, гематологических и злокачественных заболеваний, нарушений системы свертывания, а также прием антикоагулянтов.

С целью определения степени предполагаемого риска рецидива ППИ нами был сформирован перечень сопутствующей патологии, состоящий из 17 пунктов, характеризующих наличие и степень выраженности различных сопутствующих заболеваний. Каждому пункту в зависимости от степени проявления заболевания присваивали от 0 до 3 баллов: 0 баллов — нет проявлений; 1 балл — незначительные проявления или их отсутствие, не требуется постоянная терапия; 2 балла — клинические проявления есть, но состояние пациента поддается контролю, требуется постоянная терапия; 3 балла — умеренные и тяжелые проявления болезни, несмотря на лечение (табл. 1).

В дальнейшем при помощи мультифакторного статистического анализа с использованием метода классификационных деревьев определяли значимость каждого фактора, пороговые значения для суммарного балла по сформулированной шкале коморбидности — индекса коморбидности для интерпретации полученных результатов. С использованием этой шкалы выполнен анализ результатов лечения всех пациентов, вошедших в исследование.

Всем пациентам, включенным в исследование, была выполнена санлирующая операция в объеме артротомии, удаления компонентов эндопротеза и цементной мантии при ее наличии, дебрідмента мягких и костной тканей, вовлеченных в инфекционный процесс, с обильным лаважом полости сустава раствором лавасепта (не менее 5 л) и дальнейшей имплантацией антимикробного артикулирующего или блоковидного цементного спейсера [4].

Первый этап хирургического лечения считали успешным, если у пациента при поступлении для ревизионного эндопротезирования отсутствовали клинико-лабораторные признаки рецидива ППИ. Повторные санлирующие вмешательства между этапами санации трактовались как неудачный исход.

* Преображенский П.М. Пути оптимизации ревизионного эндопротезирования коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией. Дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2017. 163 с.

Таблица 1

Перечень сопутствующей патологии

Заболевание	0 баллов	1 балл	2 балла	3 балла
Ишемическая болезнь сердца	Нет	Не требует постоянной терапии	Получает постоянную терапию, состояние компенсировано и/или инфаркт в анамнезе	Декомпенсация: нестабильная стенокардия, острый коронарный синдром, острый инфаркт миокарда
Застойная сердечная недостаточность	Нет	ХСН-I	ХСН-II (А и Б)	ХСН-III
Нарушения сердечного ритма	Нет	Не требует постоянной терапии	Постоянная или пароксизмальная форма аритмии, получает постоянную терапию, состояние компенсировано	Впервые выявленная нелеченная аритмия, декомпенсация на фоне терапии
Артериальная гипертензия	Нет	Не требует постоянной терапии	Получает постоянную терапию, состояние компенсировано	Декомпенсация: гипертонический криз
Заболевания периферических сосудов: облитерирующий атеросклероз, варикозная болезнь, эндартериит	Нет	Начальные признаки, не требует постоянной терапии	Умеренные признаки, необходимость терапии	Необходимость хирургического лечения
Сахарный диабет	Нет	Диета	Получает терапию, состояние компенсировано	Субкомпенсация и декомпенсация
Заболевания дыхательной системы: ХОБЛ и хронический бронхит, бронхиальная астма	Нет	Начальные признаки, не требует постоянной терапии	Умеренные признаки, необходимость терапии	Наличие выраженной дыхательной недостаточности
Злокачественные новообразования, в том числе гематологические	Нет	В анамнезе, без рецидива	Стабилизация на фоне противоопухолевого лечения	С отдаленными метастазами, прогрессирование на фоне лечения
Патология печени и ЖВП	Нет	Начальные признаки, не требует постоянной терапии	Получает терапию, состояние компенсировано	Цирроз печени, выраженные признаки печеночной недостаточности
Патология ЖКТ	Нет	Начальные признаки, не требует постоянной терапии	Язва ЖКТ в анамнезе, необходимость терапии	Острый эрозивный гастрит, острая язва, кровотечение из ЖКТ

Окончание таблицы 1

Заболевание	0 баллов	1 балл	2 балла	3 балла
Системные заболевания соединительной ткани: РА, СКВ, склеродермия и др.	Нет	Начальные признаки, не требует постоянной терапии	Получает терапию, состояние компенсировано	На фоне терапии декомпенсация
Анемия любой этиологии	Нет	Легкая: ≥ 90 г/л	Средняя: 70–90 г/л	Тяжелая: < 70 г/л
Нарушения системы свертывания: тромбофилии, тромбоцитопении и др.	Нет	Без гипо- или гиперкоагуляции	Клинико-лабораторные проявления гипо- или гиперкоагуляции	Венозный тромбоз или ТЭЛА в анамнезе
Прием антикоагулянтов	Нет	По ортопедическим показаниям	По кардиологическим показаниям; без гипокоагуляции	По кардиологическим показаниям; есть клинико-лабораторные проявления гипокоагуляции
ВИЧ/СПИД	Нет	Не требует постоянной терапии	Получает терапию, состояние компенсировано	Развитие инфекционного процесса на фоне ВИЧ/СПИД
Заболевания почек и МВП: ХПН на фоне гломерулонефрита, диабета и др., хронические инфекции почек и МВП	Нет	Заболевание почек без ХПН; острая инфекция в анамнезе	Начальная или умеренная ХПН, ремиссия хронического заболевания	Тяжелая ХПН или диализ, обострение инфекции
Метаболический статус: введение роста и веса, автоматический расчет ИМТ и присвоение необходимого количества баллов	Норма	Избыточная масса тела (ИМТ 26,0–27,9)	Ожирение I–II (ИМТ 31,0–40,9)	Ожирение III–IV (ИМТ 36–41), анорексия (ИМТ $< 17,5$)

ХСН — хроническая сердечная недостаточность; ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких; ЖКТ — желудочно-кишечный тракт; ЖВП — желчевыводящие пути; РА — ревматоидный артрит; СКВ — системная красная волчанка; ТЭЛА — тромбоэмболия легочной артерии; МВП — мочевыводящие пути; ХПН — хроническая почечная недостаточность; ИМТ — индекс массы тела.

Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы клинические результаты анализировали средствами программной системы StatSoft STATISTICA 10. Сопоставление частотных характеристик (пол, тип ППИ, коморбидность и исход) качественных показателей проводили с помощью непараметрических методов χ^2 , χ^2 Пирсона, критерия Фишера. В качестве центральной характеристики использовали медиану, а в качестве мер рассеяния — нижний (Q1) и верхний (Q3) квартили (25–75% МКИ). Сравнение количественных параметров (возраст, длительность стационарного лечения, длительность операции и объем кровопотери) в исследуемых группах осуществляли с использованием критериев Манна – Уитни. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Для определения значимости факторов и пороговых значений в предложенной шкале коморбидности был использован метод классификационных деревьев.

Результаты

Из 161 пациента, включенного в исследование, купировать инфекционный процесс после первой санирующей операции удалось у 113. Вторым этапом им было выполнено ревизионное эндопротезирование. Таким образом, эффективность этапа санации составила 70,1%.

Общая характеристика как исследуемой когорты в целом, так и групп сравнения представлена

в таблице 2. Распределение пациентов по полу и возрасту в группах сравнения было сопоставимым с незначительным преобладанием женщин. Средний возраст пациентов групп сравнения составил 60,5 лет (29–77). Гематогенный путь распространения инфекции с манифестацией симптомов позднее 12 мес. был наиболее распространенным у пациентов обеих групп. Первичное эндопротезирование у большинства пациентов, вошедших в исследование, было выполнено по поводу идиопатического гонартроза: 70,2% пациентов без рецидива ППИ и 50,0% — с рецидивами. Установлено, что посттравматический гонартроз значимо чаще ($p = 0,05$) встречался у пациентов с рецидивами ППИ, а системные заболевания как причина первичного эндопротезирования встречались с сопоставимой частотой.

В структуре возбудителей ППИ у пациентов, успешно прошедших двухэтапное лечение, лидировал *S. epidermidis*, у пациентов с рецидивами инфекции наиболее частым возбудителем был *S. aureus*. Обращает на себя внимание, что 40% выделенных изолятов *S. aureus* у пациентов с рецидивами были устойчивы к метицилину, более чем в два раза ($p = 0,086$) превзойдя аналогичный показатель у пациентов без рецидивов (17,7%). При этом частота метициллин-резистентных штаммов эпидермального стафилококка в группах сравнения была сопоставимой. Представители *Corynebacterium spp.* и *fam. Enterobacteriaceae* чаще выделялись от пациентов с неблагоприятным исходом лечения (табл. 3).

Таблица 2

Характеристика пациентов исследуемых групп

Параметр	Всего, n = 161 n (%)	Группа 1, n = 48, n (%)	Группа 2, n = 113, n (%)	p
<i>Пол</i>				
Мужчины	41 (25,5)	17 (35,4)	24 (21,2)	0,075
Женщины	120 (74,5)	31 (64,6)	89 (78,8)	0,075
<i>Тип ППИ</i>				
Ранняя	46 (28,5)	13 (27,1)	33 (29,2)	0,850
Отсроченная	48 (29,9)	14 (29,8)	34 (30,1)	1,000
Поздняя	67 (41,6)	21 (43,7)	46 (40,7)	0,730
<i>Исходная патология</i>				
Идиопатический гонартроз	103 (64,0)	24 (50,0)	79 (70,2)	0,010
Посттравматический гонартроз	37 (23,0)	16 (33,3)	21 (18,5)	0,050
Ревматоидный артрит	21 (13,0)	8 (16,7)	13 (11,3)	0,400

Статистически значимые показатели выделены жирным шрифтом.

Структура возбудителей ППИ у пациентов обеих групп

Возбудитель	Группа 1 n (%)	Группа 2 n (%)	p
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	15 (23,1)	48 (37,5)	0,05
<i>Staphylococcus aureus</i>	20 (30,8)	42 (32,8)	0,87
КОС	6 (9,2)	14 (10,9)	0,81
<i>Streptococcus</i> sp.	1 (1,5)	3 (2,4)	1,00
Сем. <i>Enterobacteriaceae</i>	9 (13,9)	3 (2,4)	0,01
<i>Enterococcus</i> spp.	6 (9,3)	6 (4,7)	0,22
НГОБ	0 (0)	3 (2,4)	0,55
<i>Corynebacterium</i> spp.	4 (6,1)	1 (0,7)	0,04
<i>Propionibacterium</i> spp.	1 (1,5)	4 (3,1)	0,66
<i>Candida</i> sp.	0 (0)	1 (0,7)	1,00
Прочие	3 (4,6)	3 (2,4)	0,40
Всего	65 (100)	128 (100)	–

КОС — коагулазо-негативные стафилококки (кроме *S. epidermidis*); сем. *Enterobacteriaceae* — включая *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*; НГОБ — неферментирующие грамотрицательные бактерии. Статистически значимые показатели выделены жирным шрифтом.

Полимикробную инфекцию также в два раза чаще диагностировали при рецидивах ППИ — 22,6% по сравнению с 10,6% среди успешно оперированных пациентов ($p = 0,05$).

Установлено, что наиболее часто встречающейся соматической патологией у пациентов обеих групп были заболевания сердечно-сосудистой системы: ИБС, артериальная гипертензия, сердечная недостаточность. При этом среди пациентов с рецидивами ППИ данная патология встречалась значимо чаще ($p < 0,001$) (рис. 2).

Заболевания периферических сосудов, являясь фактором риска возникновения и рецидива ППИ и имея тенденцию к прогрессированию на фоне неоднократно перенесенных оперативных вмешательств, были выявлены у 48% пациентов группы 1 по сравнению с 24,8% пациентов группы 2 ($p < 0,001$). Аналогичные различия в частоте встречаемости были выявлены для заболеваний печени и желчевыводящих путей, желудочно-кишечного тракта, а также почек и мочевыводящих путей ($p < 0,0001$). Железодефицитная анемия, развивающаяся на фоне хронического длительно существующего инфекционного процесса, также значительно чаще ($p < 0,0001$) выявлялась при лабораторном предоперационном обследовании пациентов группы 1.

Остальные включенные в анализ показатели не имели статистически значимых различий в группах сравнения.

В результате проведенного многофакторного статистического анализа каждому показателю, использованному в шкале коморбидности, была присвоена своя степень значимости в зависимости от влияния этого фактора на полученный итоговый результат (табл. 4).

Установлено, что наибольшую значимость среди прочих факторов имеют гематологические заболевания (хроническая железодефицитная анемия), а также заболевания почек, ожирение и патология сердечно-сосудистой системы (артериальная гипертензия и ИБС).

Общая сумма баллов, полученная при заполнении шкалы для каждого пациента, получила название индекса коморбидности. В дальнейшем на основе статистического анализа определены значения пороговых критериев индекса коморбидности, позволяющие трактовать полученный результат. У пациентов исследуемых групп было подсчитано количество баллов, соответствующее каждой категории результатов (рис. 3).

Также было проанализировано распределение пациентов по категориям риска внутри каждой группы и определены межгрупповые различия (табл. 5).

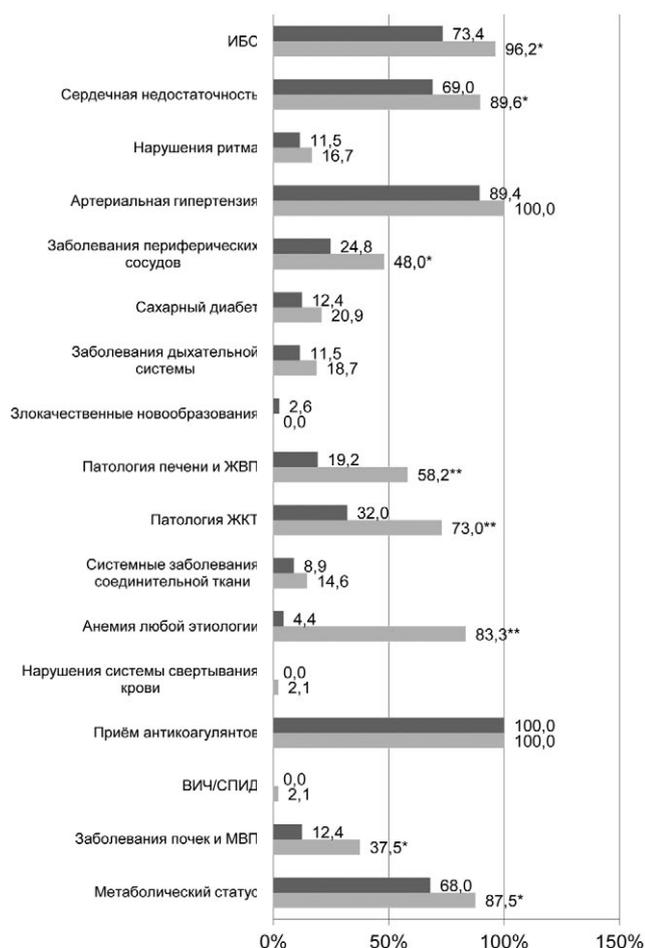


Рис. 2. Частота встречаемости сопутствующей патологии у пациентов исследуемых групп, * $p < 0,001$; ** $p < 0,0001$ по сравнению с группой 2

Fig. 2. Occurrence of concomitant pathology in groups 1 and 2;

* $p < 0,001$; ** $p < 0,0001$ compared with group 2



Рис. 3. Распределение пациентов групп 1 и 2 в зависимости от риска, рассчитанного по индексу коморбидности, *** $p < 0,0001$ в сравнении с группой 2

Fig. 3. Distribution of patients in groups 1 and 2 depending on the risk calculated by the comorbidity index, *** $p < 0,0001$ compared with group 2

Таблица 4
Значимость показателей шкалы коморбидности

Показатель	Значимость фактора по силе	Место
Анемия любой этиологии	100	1
Заболевания почек и МВП	86	2
Артериальная гипертензия	80	3
Метаболический статус	78	4
Ишемическая болезнь сердца	71	5
Сахарный диабет	40	6
Сердечная недостаточность	39	7
Патология ЖКТ	37	8
Патология печени и ЖВП	34	9
Нарушения ритма	24	10
Заболевания дыхательной системы	23	11
Заболевания периферических сосудов	20	12
Прием антикоагулянтов	16	13
Системные заболевания соединительной ткани	9	14
Злокачественные новообразования	6	15
Нарушения системы свертывания крови	5	16
ВИЧ/СПИД	2	17

Распределение по категориям риска внутри обеих групп, %

Риск	Группа 1	Группа 2	<i>p</i> (между группами)
Минимальный	4,2	51,3	0,0001
Средний	37,5	42,5	0,3000
Высокий	58,3	6,2	0,0001
Итого	100	100	–

Установлено, что значение индекса, соответствующее минимальному риску рецидива инфекции, чаще ($p < 0,0001$) встречалось в группе пациентов без рецидива ППИ (группа 2) — 51,3%. При этом более половины пациентов с неудачными попытками санации очага инфекционного воспаления (группа 1) имели высокий риск рецидива (58,3%), что было значимо больше ($p < 0,0001$), чем у пациентов без рецидива ППИ — 6,2%.

Итоговое среднее значение индекса коморбидности в группе пациентов без рецидива ППИ составило 7,4 (3–14), а для пациентов с рецидивами инфекции — 13,0 (6–21).

Обсуждение

Известно, что развитие рецидива после имплантации спейсера и дальнейшие попытки этапного хирургического лечения приводят к отягощению коморбидности и увеличению риска летального исхода [12]. Определение ключевых факторов риска рецидива, их взаимоотношающийся эффект и по возможности коррекция на дооперационном этапе могут как увеличить эффективность реэндопротезирования, так и снизить летальность пациентов в послеоперационном периоде.

Дооперационная анемия у пациентов, которым выполняется первичное эндопротезирование, более чем в 2 раза (с 2,0% до 4,2%) увеличивает риск манифестации ППИ, что установили М. Greenky с соавторами, проанализировав структуру осложнений у 15707 пациентов. Практически половине пациентов (44%) с дооперационной анемией потребовалось переливание донорской крови, при отсутствии этого фактора риска данный показатель составил 13,4% [13]. Несмотря на то, что переливание аллогенной крови увеличивает риск развития ППИ, Е.Т. Newman с соавторами не нашли взаимосвязи этого метода коррекции уровня гемоглобина с рецидивом инфекционных осложнений [14].

При помощи метода классификационных деревьев мы установили, что анемия у пациента с ППИ на дооперационном этапе является патологией, в наибольшей степени влияющей на риск развития рецидива. Однако этот фактор риска является модифицируемым, и своевременная коррекция

уровня гемоглобина позволит повысить эффективность первого этапа хирургического лечения.

Еще одной группой заболеваний, повышающих риск неудач санирующих вмешательств у пациентов с ППИ, по нашим данным, является патология почек и мочевыводящих путей — ее частота у пациентов с рецидивом ППИ достигала 37,5%, значительно превосходя ($p < 0,001$) аналогичный показатель в группе 1 — 12,4%. К аналогичным выводам пришли М.А. McCleery с соавторами, доказав значимое увеличение относительного риска развития как ранней ППИ (ОР 1,52; $p = 0,002$), так и поздней гематогенной инфекции (ОР 2,22; $p = 0,001$) у пациентов с хронической болезнью почек после первичного эндопротезирования [15]. Еще больший риск развития инфекционных осложнений характерен для пациентов с терминальной стадией хронической болезни почек, находящихся на гемодиализе (ОР 4,40; $p = 0,001$) [16].

Еще одним из весомых факторов риска развития рецидива в нашей работе была избыточная масса тела у пациентов с ППИ. Влияние этого фактора также подтверждают зарубежные публикации. А. Katakam с соавторами сообщают о более высоком проценте неудач у пациентов с ожирением, которым выполняли санацию инфекционного очага с сохранением компонентов эндопротеза (57,9%) по сравнению с группой пациентов без ожирения (36,8%; $p = 0,035$). С. Watts с соавторами продемонстрировали значимо меньшую эффективность этапа санации у пациентов с ППИ, проходящих этапное хирургическое лечение: при морбидном ожирении — 22% рецидивов по сравнению с 4% в группе сравнения ($p < 0,01$) [17, 18].

Понимание значимости влияния кумулятивного эффекта различных патологий на продолжительность жизни пациентов привело к разработке различных калькуляторов, позволяющих прогнозировать как потенциальную продолжительность жизни пациента, так и, например, риск предстоящего оперативного вмешательства. М.Е. Charlson с соавторами на основании данных о возрасте пациента и наличии сопутствующей патологии (сердечно-сосудистой системы, легких, печени, мочевыделительной системы, сахарного диабета, неврологических, онкологических заболеваний)

создали калькулятор, позволяющий прогнозировать десятилетнюю выживаемость пациентов [19]. Степень выраженности заболевания по данной шкале учитывается только для патологии печени, сахарного диабета и онкологических заболеваний, для остальных включенных патологий имеет значение лишь факт их наличия.

В дальнейшем шкала Charlson была валидирована для прогнозирования ранней летальности (3 мес., 1 год, 5 лет) пожилых пациентов, госпитализированных с обострением хронической патологии [20]. Также эта шкала нашла свое применение при оценке риска выживаемости пациентов с терминальной стадией болезни почек, находящихся на гемодиализе, и пациентов с раком простаты в зависимости от типа выявленного простат-специфического антигена [21, 22]. Модификация шкалы Charlson позволила также использовать ее для оценки 30-дневной летальности у пациентов с бактериемией, вызванной *Staphylococcus aureus* [23].

Также была найдена корреляция баллов, полученных по шкале Американского общества анестезиологов (ASA), используемой для прогнозирования риска оперативного вмешательства, с вероятностью возникновения ППИ. R.S. Namba с соавторами установили, что пациенты, получившие более 3 баллов по шкале ASA, относятся к категории высокого риска возникновения инфекционных осложнений [24].

Известно, что сочетание модифицируемых и немодифицируемых факторов риска оказывает влияние на вероятность развития ППИ. Анализ 64 различных факторов, выполненный T.L. Tan с соавторами, привел к появлению калькулятора, позволяющего рассчитать вероятность возникновения инфекционных осложнений. Однако такой калькулятор позволяет рассчитать лишь риск манифестации ППИ, при этом он не применим для прогнозирования риска рецидива инфекционного процесса ввиду особенностей структуры факторов риска [25].

Для прогнозирования исхода санации очага инфекционного воспаления с сохранением компонентов эндопротеза (DAIR-процедура) на основании наличия отдельных патологий, исходных заболеваний, приводящих к развитию гонартроза, и уровня С-реактивного белка двумя группами авторов были созданы два различных калькулятора. Шкала KLIC позволяет спрогнозировать вероя-

тность успеха DAIR-процедуры вне зависимости от сроков манифестации ППИ, а шкала CRIME80 применяется для аналогичного оперативного вмешательства при острой гематогенной инфекции [26, 27].

C. Klemt с соавторами на основании анализа 56 факторов риска у 293 пациентов с ППИ установили, что наиболее сильными предикторами рецидива являются попытки санирующих вмешательств с сохранением компонентов эндопротеза, ожирение, наличие вредных привычек и выявление трудноизлечимого возбудителя (*Enterococcus* sp.). В то же время авторы не проводили подробный анализ сопутствующей патологии, ограничиваясь определением наличия наиболее известных патологий, повышающих риск возникновения ППИ [28].

Подсчет разработанного нами индекса коморбидности показал, что для 58% пациентов с рецидивами ППИ сумма баллов больше 12 соответствовала высокому риску рецидива ППИ. Высокий риск в группе пациентов без рецидивов был лишь у 6,2% ($p < 0,0001$) пациентов, что говорит о высокой чувствительности разработанной шкалы для расчета риска рецидива ППИ у пациентов.

Ограничения исследования

Ограничениями нашего исследования были невключение в анализ факторов, не относящихся к сопутствующей патологии (исходный диагноз, тип возбудителя, продолжительность госпитализации, предшествующие операции, тип спейсера), а также отсутствие апробации предложенного индекса коморбидности на проспективной когорте пациентов, что планируется выполнить в последующем.

Заключение

Проведение многофакторного анализа наличия и выраженности сопутствующей патологии позволило разработать шкалу коморбидности с расчетом интегрального показателя (индекса коморбидности) и установить его пороговые значения. Высокий показатель предложенного индекса (более 12 баллов) существенно повышает риск рецидива ППИ. Предложенный индекс коморбидности может лечь в основу объединенного калькулятора риска рецидива и алгоритма тактики выбора хирургического лечения у пациентов с ППИ коленного сустава, что требует дальнейших исследований.

Disclaimers

Authors' contributions

Preobrazhensky P.M. — the concept and design of study, data collection, analysis and interpretation of the obtained data, statistical data processing, writing of the manuscript.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

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

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

Каземирский А.В. — разработка концепции и дизайна 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.

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Не требуется.

Bozhkova S.A. — the concept and design of the study, writing and editing of the manuscript, interpretation the obtained data.

Kazemirsky A.V. — the concept and design of the study, writing and editing of the manuscript.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

Литература [References]

1. Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Филь А.С., Муравьева Ю.В. Данные регистра эндопротезирования коленного сустава РНИИТО им. Р.Р. Вредена за 2011-2013 годы. *Травматология и ортопедия России*. 2015;21(1):136-151. doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-136-151. Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Fil A.S., Muravyeva Y.V. [Data of knee arthroplasty register of Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics for period 2011-2013]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2015;21(1):136-151. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-136-151.
2. Boelch S.P., Jakuscheit A., Doerries S., Fraissler L., Hoberg M., Arnholdt J. et al. Periprosthetic infection is the major indication for TKA revision - experiences from a university referral arthroplasty center. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):395. doi: 10.1186/s12891-018-2314-1.
3. Rosteius T., Jansen O., Fehmer T., Baecker H., Citak M., Schildhauer T.A. et al. Evaluating the microbial pattern of periprosthetic joint infections of the hip and knee. *J Med Microbiol*. 2018;67(11):1608-1613. doi: 10.1099/jmm.0.000835.
4. Преображенский П.М., Божкова С.А., Пантелеев А.Н., Тихилов Р.М., Каземирский А.В. Свищевая и несвищевая формы перипротезной инфекции коленного сустава: исходы лечения. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):21-31. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-21-31. Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Panteleev A.N., Tikhilov R.M., Kazemirsky A.V. [Periprosthetic Joint Infection after Primary Total Knee Arthroplasty With and Without Sinus Tract: Treatment Outcomes]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(4):21-31. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-21-31.
5. Di Benedetto P., Di Benedetto E.D., Buttironi M.M., De Franceschi D., Beltrame A., Gissoni R. et al. Two-stage revision after total knee arthroplasty. *Acta Biomed*. 2017;88(2S):92-97. doi: 10.23750/abm.v88i2-S.6519.
6. Sousa A., Carvalho A., Pereira C., Reis E., Santos A.C., Abreu M. et al. Economic Impact of Prosthetic Joint Infection - an Evaluation Within the Portuguese National Health System. *J Bone Joint Infect*. 2018;3(4):197-202. doi: 10.7150/jbji.28508.
7. Мурылев В., Куковенко Г., Елизаров П., Рукин Я., Цыгин Н. Перипротезная инфекция при эндопротезировании тазобедренного сустава. *Врач*. 2018;(3):17-22. doi: 10.29296/25877305-2018-03-04. Murylev V., Kukovenko G., Elizarov P., Rukin Ya., Tsigin N. [Periprosthetic infection during hip arthroplasty]. *Vrach* [Doctor]. 2018;(3):17-22. (In Russian). doi: 10.29296/25877305-2018-03-04.
8. Lum Z.C., Natsuhara K.M., Shelton T.J., Giordani M., Pereira G.C., Meehan J.P. Mortality During Total Knee Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2018;33(12):3783-3788. doi: 10.1016/j.arth.2018.08.021.
9. 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.
10. 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.
11. Zimmerli W., Trampuz A., Ochsner P.E. Prosthetic-joint infections. *N Engl J Med*. 2004;351(16):1645-1654. doi: 10.1056/NEJMra040181.
12. Poultsides L.A., Liaropoulos L.L., Malizos K.N. The socioeconomic impact of musculoskeletal infections. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(11):e13. doi: 10.2106/JBJS.I.01131.
13. Greenky M., Gandhi K., Pulido L., Restrepo C., Parvizi J. Preoperative anemia in total joint arthroplasty: is it associated with periprosthetic joint infection? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(10):2695-2701. doi: 10.1007/s11999-012-2435-z.
14. Newman E.T., Watters T.S., Lewis J.S., Jennings J.M., Wellman S.S., Attarian D.E. et al. Impact of perioperative allogeneic and autologous blood transfusion on acute wound infection following total knee and total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(4):279-284. doi: 10.2106/JBJS.L.01041.

15. McCleery M.A., Leach W.J., Norwood T. Rates of infection and revision in patients with renal disease undergoing total knee replacement in Scotland. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(11):1535-1539. doi: 10.1302/0301-620X.92B11.23870.
16. Kim C.W., Kim H.J., Lee C.R., Wang L., Rhee S.J. Effect of chronic kidney disease on outcomes of total joint arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Relat Res.* 2020;32(1):12. doi: 10.1186/s43019-020-0029-8.
17. Katakam A., Melnic C.M., Bedair H.S. Morbid Obesity Is a Risk Factor for Infection Recurrence Following Debridement, Antibiotics, and Implant Retention for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2020;35(12):3710-3715. doi: 10.1016/j.arth.2020.07.005.
18. Watts C.D., Wagner E.R., Houdek M.T., Lewallen D.G., Mabry T.M. Morbid Obesity: Increased Risk of Failure After Aseptic Revision TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(8):2621-2627. doi: 10.1007/s11999-015-4283-0.
19. Charlson M.E., Pompei P., Ales K.L., MacKenzie C.R. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373-383. doi: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
20. Frenkel W.J., Jongerius E.J., Mandjes-van Uitert M.J., van Munster B.C., de Rooij S.E. Validation of the Charlson Comorbidity Index in acutely hospitalized elderly adults: a prospective cohort study. *J Am Geriatr Soc.* 2014;62(2):342-346. doi: 10.1111/jgs.12635.
21. Park J.Y., Kim M.H., Han S.S., Cho H., Kim H., Ryu D.R. et al. Recalibration and validation of the Charlson comorbidity index in Korean incident hemodialysis patients. *PLoS One.* 2015;10(5):e0127240. doi: 10.1371/journal.pone.0127240.
22. Casas Duran F., Valduvico I., Osés G., Cortés K.S., Barreto T.D., Muñoz-Guglielmetti D. et al. Spanish validation of Charlson index applied to prostate cancer. *Clin Transl Oncol.* 2020;22(7):1187-1192. doi: 10.1007/s12094-019-02246-0.
23. Ternavasio-de la Vega H.G., Castaño-Romero F., Ragozzino S., R. Sánchez González, M.P. Vaquero-Herrero, M. Siller-Ruiz et al. The updated Charlson comorbidity index is a useful predictor of mortality in patients with Staphylococcus aureus bacteraemia. *Epidemiol Infect.* 2018;146(16):2122-2130. doi: 10.1017/S0950268818002480.
24. Namba R.S., Inacio M.C., Paxton E.W. Risk factors associated with deep surgical site infections after primary total knee arthroplasty: an analysis of 56,216 knees. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(9):775-782. doi: 10.2106/JBJS.L.00211.
25. Tan T.L., Maltenfort M.G., Chen A.F., Shahi A., Higuera C.A., Siqueira M. et al. Development and Evaluation of a Preoperative Risk Calculator for Periprosthetic Joint Infection Following Total Joint Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(9):777-785. doi: 10.2106/JBJS.16.01435.
26. Tornero E., Morata L., Martínez-Pastor J.C., Bori G., Climent C., García-Velez D.M. et al. KLIC-score for predicting early failure in prosthetic joint infections treated with debridement, implant retention and antibiotics. *Clin Microbiol Infect.* 2015;21(8):786.e9-786.e17. doi: 10.1016/j.cmi.2015.04.012.
27. Sabater-Martos M., Hernández Hermoso J.A., García Oltra E., Molinos S., Martínez-Pastor J.C. Validity of the KLIC and CRIME80 scores in predicting failure in late acute infection treated by debridement and implant retention. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed).* 2020;64(6):415-420. doi: 10.1016/j.recot.2020.05.002. (In English, Spanish).
28. Klemt C., Tirumala V., Smith E.J., Padmanabha A., Kwon Y.M. Development of a Preoperative Risk Calculator for Reinfection Following Revision Surgery for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2021;36(2):693-699. doi: 10.1016/j.arth.2020.08.004.

Сведения об авторах

✉ Преображенский Петр Михайлович — канд. мед. наук, младший научный сотрудник
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
e-mail: Pedrro@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук, руководитель научного отделения
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

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

Authors' information

✉ Petr M. Preobrazhensky — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-9569-1566>
e-mail: Pedrro@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

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



Реконструкция тазобедренного сустава у молодых пациентов с диспластическим коксартрозом

М.П. Тёпленький, Е.В. Олейников, В.С. Бунов, Д.Т. Фозилов

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

Актуальность. Значение суставосберегающих реконструктивных вмешательств у пациентов с развившимся диспластическим коксартрозом остается дискуссионным. **Цель исследования** — оценка ближайших и среднесрочных результатов реконструктивных вмешательств, выполненных у пациентов с диспластическим коксартрозом. **Материал и методы.** Проанализированы результаты лечения 30 пациентов с диспластическим коксартрозом в возрасте от 14 до 40 лет. Пациенты были разделены на две группы. В первую группу вошли 19 пациентов в возрасте 14–18 лет, во вторую — 11 пациентов в возрасте 19–40 лет. В первой группе средний срок наблюдения составил $6,8 \pm 1,5$ лет, во второй группе — $4,1 \pm 0,7$ года. Клиническое состояние и результаты лечения оценивали по критериям D'Aubigne–Postel, Severin, Tönnis и по системе оценки, разработанной в НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова. У всех пациентов выполняли внесуставные суставосберегающие реконструктивные вмешательства, показания к которым устанавливали с учетом типа суставных поверхностей и величины индекса конгруэнтности суставных поверхностей. **Результаты.** В первой группе средний функциональный результат составил $16,0 \pm 0,5$ балла. Распределение суставов по классификации Severin: Ia — 7, IIa — 7, IIb — 2, III — 3. Степень артроза не изменилась в 13 суставах. Прогрессирование артроза отмечено в одном суставе, регресс артрозных изменений — в четырех суставах. Результаты лечения по критериям НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова: хороший — 14 суставов, удовлетворительный — 4 сустава, неудовлетворительный — 1 сустав. Во второй группе функциональный результат составил $15,0 \pm 0,4$ балла. Распределение суставов по критериям Severin: Ia — 3, IIa — 6, III — 2. Степень артроза не изменилась в 10 суставах, прогрессирование артроза произошло в одном суставе. Результаты лечения по критериям НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова: хороший — 7 суставов, удовлетворительный — 3, неудовлетворительный — 1. **Заключение.** Дифференцированное применение суставосберегающих реконструктивных вмешательств дает возможность замедлить прогрессирование патологического процесса в суставе даже в условиях развившегося артроза и позволяет в ряде случаев использовать их в качестве временной альтернативы эндопротезированию у подростков и пациентов молодого возраста.

Ключевые слова: тазобедренный сустав, диспластический коксартроз, реконструкция, суставосберегающие операции.

Тёпленький М.П., Олейников Е.В., Бунов В.С., Фозилов Д.Т. Реконструкция тазобедренного сустава у молодых пациентов с диспластическим коксартрозом. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):19-27. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1678>.

Cite as: Teplenky M.P., Oleinikov E.V., Bunov V.S., Fozilov D.T. [Pelvic Osteotomies for Treatment of Young Patients With Hip Osteoarthritis Secondary to Developmental Dysplasia]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):19-27. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1678>.

Тёпленький Михаил Павлович / Mikhail P. Teplenky; e-mail: teplenkiymp@mail.ru

Рукопись получена: 14.10.2021. Рукопись одобрена: 23.12.2021. Статья опубликована онлайн: 08.02.2022.
Submitted: 14.10.2021. Accepted: 23.12.2021. Published Online: 08.02.2022.



Pelvic Osteotomies for Treatment of Young Patients With Hip Osteoarthritis Secondary to Developmental Dysplasia

Mikhail P. Teplenky, Evgenii V. Oleinikov, Vyacheslav S. Bunov, Dzhonibek T. Fozilov

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

Background. The value of joint-sparing reconstructive procedures in patients with osteoarthritis in a dysplastic hip is controversial. **The study aimed** to evaluate the immediate and mid-term results of reconstructive interventions performed in patients with this pathology. **Material and Methods.** The treatment results of 30 patients aged 14–40 years with osteoarthritis in the dysplastic hip were analyzed. The mean follow-up time was 6.8 ± 1.5 years in group 1 and 4.1 ± 0.7 years in group 2. The clinical condition and treatment results were assessed by D'Aubigne-Postel, Severin, Tonnis criteria, and the Ilizarov Center system. In all cases, extra-articular reconstructive procedures were performed on both articular components. **Results.** The patients were divided into two groups by age. In group 1 (14–18 years), the functional result was 16.0 ± 0.5 points. According to the Severin criteria, the joints were distributed as follows: Ia, 7; IIa, 7; IIb, 2; and III, 3. The degree of hip osteoarthritis did not change in 13 joints. Osteoarthritis progressed in one joint, and arthritic changes regressed in four joints. The treatment results according to the criteria of the RSC VTO were good in 14 joints, satisfactory in 5, and unsatisfactory in 1. In group 2 (>18 years, n = 11), the functional result was 15.0 ± 0.4 points. The distribution of joints according to the Severin criteria was as follows: Ia, 3; IIa, 6, and III, 2. The degree of osteoarthritis did not change in 10 joints. Osteoarthritis progressed in one joint. The treatment results according to the criteria of the Ilizarov Center were good in seven joints, satisfactory in three, and unsatisfactory in one. **Conclusion.** The differentiated use of joint-sparing reconstructive procedures makes it possible to slow down the progression of the pathological process in the joint even in patients with developed osteoarthritis and, in some cases, to use them as a temporary alternative to endoprosthesis in adolescents and young adults.

Keywords: dysplastic hip, hip osteoarthritis, joint-sparing reconstruction.

Введение

Известно, что одной из причин развития дегенеративных и дистрофических изменений в хряще при диспластическом коксартрозе является избыточное давление между суставными поверхностями, обусловленное уменьшением площади их контакта [1, 2]. Указанное состояние может быть связано с нарушением пространственного положения, формы, соотношения суставных компонентов [3, 4]. Существует мнение, что устранение или максимально возможная компенсация данных механических причин оказывает положительное влияние на течение патологического процесса в суставе [5, 6]. На этой гипотезе базируется целесообразность применения суставосберегающих реконструктивных операций. Значение указанных вмешательств в условиях развившегося артроза остается дискуссионным [7]. Ранний остеоартроз рассматривается многими специалистами как противопоказание к данному вмешательству в связи с опасностью быстрого прогрессирования патологического процесса [8, 9]. Согласно противоположной точке зрения, тройная остеотомия таза может быть альтернативой раннему эндопротезированию [7, 10]. Среди других неблагоприятных прогностических факторов выделяют выраженное недоразвитие

и деформацию вертлужной впадины, значительное проксимальное и латеральное смещение головки бедренной кости, нарушение ее сферичности [11, 12, 13].

Цель исследования — оценка ближайших и среднесрочных результатов реконструктивных вмешательств, выполненных у молодых пациентов с диспластическим коксартрозом.

Материал и методы

Дизайн исследования

Выполнено ретроспективное когортное исследование. Проанализированы результаты лечения 30 пациентов (27 женщин, 3 мужчин) с диспластическим коксартрозом в возрасте от 14 до 40 лет. Пациенты были разделены на две группы с учетом возраста. Первую группу составили 19 пациентов в возрасте 14–18 лет ($15,2 \pm 0,5$ лет), вторую группу — 11 пациентов в возрасте 19–40 лет ($25,5 \pm 1,5$ лет).

В всех наблюдениях патологический процесс был следствием врожденной дисплазии тазобедренного сустава.

Критерии включения: I–II степени артроза, выраженная дисплазия вертлужной впадины (угол Tonnis $>20^\circ$), II–III степени дислокации по класси-

фикации Tönnis [14], угол Wiberg $\leq 5^\circ$, период наблюдения не менее двух лет.

Критерии исключения: 0 и III степени артроза, умеренная дисплазия вертлужной впадины (угол Tönnis $\leq 20^\circ$), I степень дислокации, угол Wiberg $> 5^\circ$, период наблюдения менее 2 лет.

Техника хирургических вмешательств

Проведены внесуставные суставосберегающие реконструктивные вмешательства, показания к которым устанавливали с учетом типа суставных поверхностей и величины индекса конгруэнтности суставных поверхностей (ICAS) [16]. В 27 случаях при величине индекса конгруэнтности 1,1–1,5 производили реориентацию вертлужной впадины посредством остеотомии таза [17] (22 наблюдения) или периацетабулярной остеотомии (5 наблюдений). По характеру нарушения целостности кости периацетабулярная остеотомия соответствовала методике R. Ganz [18], однако отличалась от нее способом изменения пространственного положения и фиксации ацетабулярного фрагмента. В 10 наблюдениях (ICAS $> 1,5$) остеотомия таза была дополнена остеотомией подвздошной кости для изменения пространственного положения свода впадины. В 2 случаях (ICAS $< 1,1$) остеотомия таза сочеталась с формированием навеса по L. Staheli для увеличения объема впадины [19]. Во всех наблюдениях производилось реконструктивное вмешательство на проксимальном отделе бедренной кости. В большинстве случаев (21) использовали межвертельную остеотомию для коррекции шеечно-диафизарных нарушений во фронтальной и горизонтальной плоскостях. В 9 наблюдениях выполнена двойная чрезвертельная остеотомия. Остеотомированные фрагменты и сустав при выполнении остеотомии таза фиксировали аппаратом Илизарова. В процессе лечения осуществляли декомпрессию сочленения. Продолжительность аппаратного лечения составила $73,0 \pm 3,2$ дня. При выполнении периацетабулярной остеотомии применяли комбинированный остеосинтез (osteотомию тазовой кости фиксировали винтами, сустав и фрагменты бедренной кости — аппаратом). Длительность аппаратного лечения составляла $40,0 \pm 2,0$ дней. Продолжительность реабилитационного периода после демонтажа аппарата — $9,3 \pm 0,4$ мес.

Оценка результатов

Функциональные исходы оценивали по шкале D'Aubigne–Postel, рентгенологические показатели — по критериям Severin, Tönnis и по системе оценки НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова. Рентгенологические признаки патологии определяли по рентгенограммам тазобедренного сус-

тава, выполненным в переднезадней проекции. Определяли следующие рентгенографические показатели: угол наклона опорной поверхности впадины (WBS), ацетабулярный коэффициент (AC), индексы сферичности впадины (ISA) и головки (ISH), индекс конгруэнтности суставных поверхностей (ICAS), угол Wiberg (CEA), степень покрытия головки крыши впадины (ANI), показатель краниального смещения (SL), угол латерального смещения (LDA). Выраженность артроза определяли по классификации Tönnis. Для определения характера суставных поверхностей использовали модифицированные авторами статьи критерии Coleman [16].

Статистический анализ

Анализ результатов исследования проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2010. Из количественных данных составляли невзвешенные вариационные ряды. Определяли средние, их ошибку и статистическую значимость. Полученные данные обрабатывались с помощью методов непараметрической статистики с использованием U-критериев Вилкоксона, Манна–Уитни.

Результаты

Исходный функциональный показатель в первой группе составил $14,7 \pm 0,1$ баллов: боль — $4,50 \pm 0,13$; объем движений — $4,8 \pm 0,2$; двигательная активность — $4,6 \pm 0,15$. Ведущие рентгенологические признаки патологии — ацетабулярная дисплазия и децентрация головки бедра. Средний показатель наклона опорной поверхности был $39,5 \pm 2,0^\circ$, AC — $130,0 \pm 5,4$ (100–200). Показатель костного покрытия составил $0,35 \pm 0,06$ (0,20–0,60). Распределение суставов по степени дислокации: II — 12, III — 7. Распределение суставов по степени артроза по Tönnis: I — 13, II — 6. Распределение суставов по типу конгруэнтности по Coleman: I — 9, II — 6, III — 3, IV — 1.

Исходный функциональный показатель во второй группе составил $13,1 \pm 0,5$ баллов: боль — $4,50 \pm 0,15$, объем движений — $4,40 \pm 0,25$, двигательная активность — $4,20 \pm 0,15$. Средний показатель наклона опорной поверхности — $34,0 \pm 2,5^\circ$, AC — 170 ± 5 (140–210), показатель костного покрытия — $0,42 \pm 0,05$ (0,4–0,6). Распределение суставов по степени дислокации: II — 10, III — 1; по степени артроза по Tönnis: I — 8, II — 3; по типу конгруэнтности по Coleman: I — 7, II — 4.

Результаты проанализированы в сроки от 2 до 18 лет. В первой группе средний срок наблюдения составил $6,8 \pm 1,5$ года, во второй группе — $4,1 \pm 0,7$ года.

Более высокий функциональный результат получен у пациентов первой группы ($16,0 \pm 0,5$ балла),

прирост составил 1,3 балла. В 15 наблюдениях результат расценен как хороший (15–16 баллов), в 3 — как удовлетворительный (12–14 баллов). У одного пациента функциональный показатель составил 11 баллов, что соответствовало неудовлетворительному результату. Во второй группе средний показатель увеличился на 1,9 балла и составил 15,0±0,4 балла. В 7 наблюдениях констатирован хороший результат лечения, в 4 — удовлетворительный.

По данным рентгенографии в обеих группах констатировано статистически значимое улучшение показателей, характеризующих состояние вертлужной впадины и суставные соотношения (табл. 1).

Рентгенографические результаты в первой группе по критериям Severin: Ia — 7, IIa — 7, IIb — 2, III — 3. Выраженность артроза осталась без изменений в 13

случаях, прогрессировала на одну степень в одном суставе, уменьшилась в 4 случаях. У одного пациента констатировано прогрессирование артроза на две степени. Распределение суставов по критериям Tönnis: I ст. — 16, II ст. — 2, III — 1. В 5 суставах улучшилась конгруэнтность суставных поверхностей. Распределение суставов по типу конгруэнтности по Coleman: I тип — 14, II тип — 2, III тип — 3. В соответствии с критериями, разработанными в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова», в 14 наблюдениях результат расценен как хороший (2,70±0,03), в 4 — как удовлетворительный (1,98±0,08). Неудовлетворительный исход (1,60) констатирован в одном случае. Удельный вес хороших результатов составил 74%.

Пример наблюдения из первой группы представлен на рисунке 1.

Таблица 1

Динамика рентгенометрических показателей у пациентов с коксартрозом

Рентгенологический показатель	Группа пациентов			
	первая (25 суставов)		вторая (14 суставов)	
	до лечения	контрольный осмотр	до лечения	контрольный осмотр
WBS, град.	39,5±2,0	8,0±3,0*	34,0±2,5	9,0±1,5*
AC	130,0±5,4	18,0±1,5*	170,0±5,0	185,0±1,8
ANI	0,35±0,05	0,92±0,05*	0,42±0,03	0,85±0,06*
CEA, град.	1,4±1,6	30,0±1,9*	1,2±1,7	27,0±0,8*
LDA, град.	38,0±2,5	22,0±2,0*	35,0±3,0	25,0±1,3*
SL, мм	29,0±3,0	5,0±0,2*	25,0±3,5	3,0±0,6*

* Статистически значимые отличия от исходного показателя — $p < 0,05$.

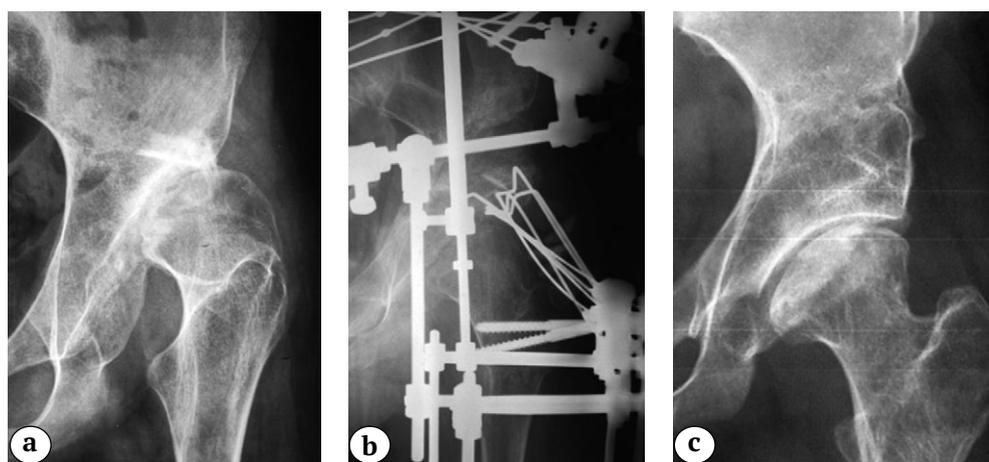


Рис. 1. Рентгенограммы пациентки 14 лет с диагнозом: диспластический коксартроз II ст., III ст. дислокации: а — до лечения; б — во время аппаратного лечения; с — на контрольном осмотре через 7 лет

Fig. 1. X-ray images of a 14-year-old patient; dysplastic coxarthrosis, stage II; dislocations, stage III: а — before treatment; б — during treatment; с — 7 years follow-up

Рентгенологические результаты пациентов второй группы по критериям Severin: Ia — 3, IIa — 6, III — 2. Выраженность артроза осталась без изменений в 10 случаях, прогрессировала на одну степень в одном суставе. Распределение суставов по критериям Tönnis: I ст. — 7, II ст. — 4.

В трех суставах улучшилась конгруэнтность суставных поверхностей. Распределение суставов по типу конгруэнтности по Coleman: I тип — 9, II тип — 1, IV — 1.

Пример наблюдения из второй группы представлен на рисунке 2.

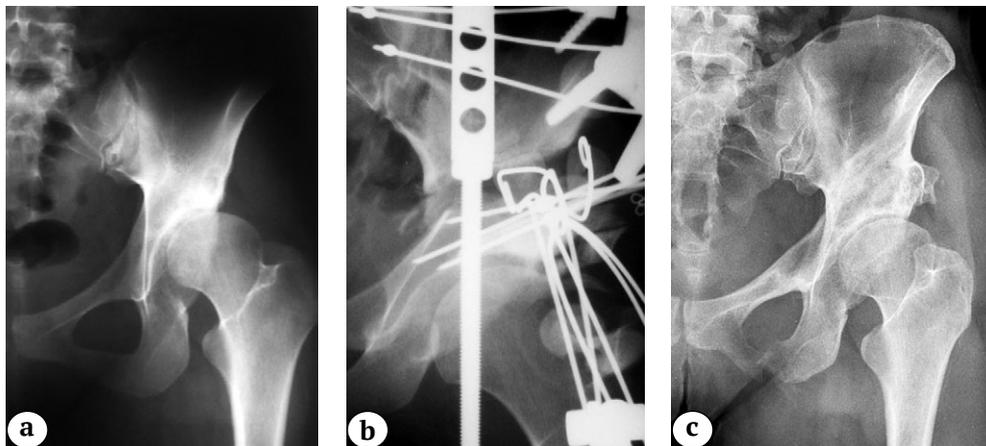


Рис. 2. Рентгенограммы пациентки 20 лет с диагнозом: диспластический коксартроз II ст., II ст. дислокации: а — до лечения; б — во время аппаратного лечения; с — на контрольном осмотре через 16 лет

Fig. 2. X-ray images of a 20-year-old patient; dysplastic coxarthrosis, stage II; dislocations, stage II; а — before treatment; б — during treatment; с — 16 years follow-up

В соответствии с критериями НМИЦ ТО им. Г.А. Илизарова в 7 наблюдениях результат расценен как хороший ($2,56 \pm 0,01$), в 3 — как удовлетворительный ($2,10 \pm 0,05$). Неудовлетворительный исход (1,36) констатирован в одном случае. Удельный вес хороших результатов составил 63%.

Осложнения

В 3 наблюдениях первой группы отмечено поверхностное воспаление мягких тканей вокруг фиксирующих элементов аппарата, которое было купировано консервативными мероприятиями. В одном наблюдении произошел внутрисуставной перелом фиксирующих элементов, потребовавший дополнительного оперативного вмешательства.

Обсуждение

Не отрицая известных преимуществ и высокой эффективности эндопротезирования, следует отметить, что у подростков и молодых взрослых с коксартрозом диспластического генеза этот метод не всегда может быть операцией выбора в связи с высокой вероятностью повторного, как правило, более агрессивного вмешательства [20]. Поэтому одним из путей ортопедической реабилитации данной категории пациентов считается совершенствование и более широкое внедрение суставосберегающих операций. Теоретически восстановление суставных соотношений путем из-

менения пространственного положения и формы суставных компонентов должно способствовать снижению внутрисуставного давления и оказывать положительное влияние на течение патологического процесса в суставе [7, 17].

В настоящее время принято считать, что адекватное реконструктивное вмешательство замедляет прогрессирование артроза, но не предупреждает его [21]. Вместе с тем, согласно данным литературы, удельный вес суставов, в которых после выполнения хирургического вмешательства происходит прогрессирование артроза, варьирует от 5 до 31% [22, 23, 24]. В 5–15% наблюдений после выполнения суставосберегающего вмешательства потребовалось эндопротезирование [25, 26, 27]. Среди прогностически неблагоприятных факторов отмечают возраст, признаки развившегося артроза, выраженную дисплазию впадины, проксимальное и латеральное смещение головки, ее деформацию, дисконгруэнтность суставных поверхностей [11, 12, 13, 28, 29, 30]. По данным А.А. Корыткина с соавторами, в группе пациентов старше 18 лет с дисплазией тазобедренного сустава с минимальной дислокацией и без выраженных дегенеративных изменений в течение первых трех лет после реконструктивного вмешательства в 6% наблюдений потребовалось эндопротезирование [31]. Согласно результатам М.М. Камоско с соавторами, в группе пациентов подросткового возраста с признаками развивше-

гося артроза в конце реабилитационного периода в 7% наблюдений констатирована декомпенсация сочленения в виде быстрого прогрессирования дегенеративно-дистрофических изменений, потребовавшая замены сустава [32].

Из анализируемой нами группы исключены пациенты, которые, по мнению R. Trousdale и M.E. Sabaneta, являются оптимальными кандидатами для выполнения суставосберегающего вмешательства (0 ст. артроза, I ст. дислокации, сферичная головка, умеренная ацетабулярная дисплазия) [33]. Удельный вес суставов с II степенью артроза составил 30%. III степень дислокации отмечена в 8 суставах, деформация головки — в 4.

Удельный вес суставов, в которых выявлено прогрессирование артроза, составил 6,7%. Во всех случаях до операции имела место I степень артроза. У пациента подросткового возраста мы связываем неблагоприятный исход с техническими погрешностями при операции (внутрисуставное расположение фиксирующих элементов). У пациентки второй группы прогрессирование патологического процесса, вероятно, обусловлено сформировавшейся дисконгруэнтностью суставных поверхностей.

Ограниченное число пациентов и небольшой средний срок наблюдения не позволяют объективно оценить влияние реконструктивной операции на патологический процесс. Тем не менее следует отметить, что, несмотря на наличие неблагоприятных прогностических показателей, в большинстве наблюдений суставосберегающее вмешательство не привело к декомпенсации сочленения.

По данным ряда авторов, восстановление суставных соотношений может способствовать стабилизации и даже регрессу дегенеративно-дистрофических изменений в суставе [34, 35, 36]. При этом удельный вес суставов с обратным развитием дегенеративно-дистрофических изменений варьирует от 6 до 91% [32, 34, 36]. Такая разница может быть связана с исходной степенью артроза, а также с различными критериями интерпретации результатов рентгенографии [10, 14, 32]. В нашем исследовании положительная динамика была отмечена в 4 суставах только в первой группе. В 80% случаев структурные изменения компонентов суставов оставались на прежнем уровне, что дает основание говорить о замедлении прогрессирования деформирующего артроза.

Анализ результатов лечения в возрастном аспекте показал, что, несмотря на более выраженные исходные анатомические нарушения, в первой группе были достигнуты более высокие функциональные результаты. Рентгенологические результаты в обеих группах статистически значимо не отличались. Вероятно, это объясняется более высокими адаптационными возможностями подростков.

Согласно данным литературы, при выполнении реориентирующих остеотомий чаще отмечаются осложнения в виде гетеротопической оссификации (4–8%), неврологических расстройств (1–15%), формирования ложных суставов (1–2%) [22, 25, 26, 27]. В анализируемых группах пациентов все осложнения, удельный вес которых составил 13,3%, были связаны с применением аппаратной фиксации. В одном случае осложнение существенно повлияло на результат лечения.

Использование аппарата Илизарова для фиксации остеотомированных костных фрагментов было отличительной особенностью технологии, примененной при лечении больных обеих групп. Недостатками ее являются существенные неудобства для пациента, необходимость продолжительного врачебного контроля и длительный реабилитационный период (8–10 мес.). Согласно данным литературы, при использовании современных внутренних фиксаторов продолжительность восстановительного периода может быть сокращена до 3–6 мес. [36]. Возможно, указанная разница частично обусловлена различными критериями завершения реабилитационного периода. Мы считаем, что полная нагрузка на конечность (окончание восстановительного периода) допустима при восстановлении подвижности в сочленении в функционально выгодном диапазоне и силы ягодичных мышц. Не менее важным фактором, способствующим увеличению длительности процесса восстановления, является продолжительная (70–75 дней) фиксация тазобедренного сустава, которая способствует увеличению его контрактуры. Это один из спорных элементов технологии. С одной стороны, известно, что иммобилизация сустава вызывает дегенеративные изменения суставного хряща. С другой стороны, клинические данные показывают, что продолжительная фиксация сустава в сочетании с поддерживающей дистракцией не приводит к его необратимым изменениям. Мы предполагаем, что неартикулирующая аппаратная фиксация сустава с элементами декомпрессии является одним из факторов, обеспечивающих взаимную адаптацию суставных компонентов после восстановления суставных соотношений. Анализ представленных результатов в известной степени подтверждает это предположение.

К преимуществам методики можно отнести раннюю двигательную активность пациента и нагрузку на конечность, снижение технической сложности и травматичности операции, возможность управления положением костных фрагментов и суставных компонентов в процессе операции и в послеоперационном периоде. Использование аппарата обеспечивает необходимую мобильность впадины и практически исключает замедленную консолидацию в местах выполнения остеотомий.

Заключение

Дифференцированное применение реконструктивных вмешательств дает возможность замедлить прогрессирование патологического процесса в суставе даже в условиях развившегося артроза и

исходной дисконгруэнтности суставных поверхностей, а в ряде случаев — использовать их в качестве временной альтернативы эндопротезированию у подростков и пациентов молодого возраста.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, протокол № 2 (57) от 17.05.2018 г.

Информированное согласие. Пациенты или их законные представители дали письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию медицинских данных и фотографий.

Литература [References]

- Gala L., Clohisy J.C., Beaulé P.E. Hip Dysplasia in the Young Adult. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(1):63-73. doi: 10.2106/JBJS.O.00109.
- Trousdale R. Acetabular Osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(429):182-187.
- Min B.W., Kang C.S., Lee K.J., Bae K.C., Cho C.H., Choi J.H. et al. Radiographic Progression of Osteoarthritis after Rotational Acetabular Osteotomy: Minimum 10-Year Follow-up Outcome According to the Tönnis Grade. *Clin Orthop Surg.* 2018;10(3):299-306. doi: 10.4055/cios.2018.10.3.299.
- Johnsen K., Goll R., Reikerås O. Acetabular dysplasia as an aetiological factor in development of hip osteoarthritis. *Int Orthop.* 2009;33(3):653-657. doi: 10.1007/s00264-008-0554-7.
- Leunig M., Siebenrock K.A., Ganz R. Rationale of periacetabular osteotomy and background work. *Instr Course Lect.* 2001;50:229-238.
- Millis M.B., Murphy S.B., Poss R. Osteotomies about the hip for the prevention and treatment of osteoarthritis. *Instr Course Lect.* 1996;45:209-226.
- Janssen D., Kalchschmidt K., Katthagen B.D. Triple pelvic osteotomy as treatment for osteoarthritis secondary to developmental dysplasia of the hip. *Int Orthop.* 2009;33(6):1555-1559. doi: 10.1007/s00264-008-0718-5.
- Søballe K. Pelvic osteotomy for acetabular dysplasia. *Acta Orthop Scand.* 2003;74(2):117-118. doi: 10.1080/00016470310013815.

Disclaimers

Authors' contributions

All authors made equal contributions to the study and the publication.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, protocol No 2 (57), 17.05.2018.

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

- Yasunaga Y., Ochi M., Terayama H., Tanaka R., Yamasaki T., Ishii Y. Rotational acetabular osteotomy for advanced osteoarthritis secondary to dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(9):1915-1919. doi: 10.2106/JBJS.E.00715.
- Okano K., Enomoto H., Osaki M., Shindo H. Rotational acetabular osteotomy for advanced osteoarthritis secondary to developmental dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(1):23-26. doi: 10.1302/0301-620X.90B1.19665.
- Hartig-Andreasen C., Troelsen A., Thillemann T.M., Søballe K. What factors predict failure 4 to 12 years after periacetabular osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(11):2978-2987. doi: 10.1007/s11999-012-2386-4.
- Troelsen A., Elmengaard B., Søballe K. Medium-term outcome of periacetabular osteotomy and predictors of conversion to total hip replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(9):2169-2179. doi: 10.2106/JBJS.H.00994.
- Wells J., Millis M., Kim Y.J., Bulat E., Miller P., Matheney T. Survivorship of the Bernese Periacetabular Osteotomy: What Factors are Associated with Long-term Failure? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(2):396-405. doi: 10.1007/s11999-016-4887-z.
- Tönnis D. Congenital dysplasia and dislocation of the hip. Berlin: Springer-Verlag; 1987. 506 p.
- D'aubigne R.M., Postel M. Functional results of hip arthroplasty with acrylic prosthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1954;36-A(3):451-475.

16. Тепленький М.П., Олейников Е.В., Бунов В.С. Реконструкция тазобедренного сустава у пациентов с ишемическими деформациями проксимального отдела бедра, сочетающимися с ацетабулярной дисплазией. *Генный ортопедии*. 2020;26(4):502-507. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-502-507. Teplenky M.P., Oleinikov E.V., Bunov V.S. [Hip reconstruction in patients with ischemic deformity of the proximal femur and associated acetabular dysplasia]. *Genij Ortopedii*. 2020;26(4):502-507. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-502-507.
17. Teplenky M., Mekki W., Oleinikov E. Ilizarov Technique with Proximal Femoral and Triple Pelvic Osteotomy for the Treatment of Adolescent Developmental Dysplasia of the Hip. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2020;55(2):232-238. doi: 10.1055/s-0039-3400737.
18. Ganz R., Klaue K., Vinh T.S., Mast J.W. A new periacetabular osteotomy for the treatment of hip dysplasias. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;(232):26-36.
19. Staheli L.T. Slotted acetabular augmentation. *J Pediatr Orthop*. 1981;1(3):321-327. doi: 10.1097/01241398-198111000-00014.
20. Haverkamp D., Marti R.K. Intertrochanteric osteotomy combined with acetabular shelfplasty in young patients with severe deformity of the femoral head and secondary osteoarthritis. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(1):25-31.
21. Millis M.B., Kim Y.J. Rationale of osteotomy and related procedures for hip preservation: a review. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;(405):108-121. doi: 10.1097/00003086-200212000-00013.
22. Clohisy J.C., Schutz A.L., St John L., Schoenecker P.L., Wright R.W. Periacetabular osteotomy: a systematic literature review. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(8):2041-2052. doi: 10.1007/s11999-009-0842-6.
23. Biedermann R., Donnan L., Gabriel A., Wachter R., Krismer M., Behensky H. Complications and patient satisfaction after periacetabular pelvic osteotomy. *Int Orthop*. 2008;32(5):611-617. doi: 10.1007/s00264-007-0372-5.
24. Clohisy J.C., Nunley R.M., Curry M.C., Schoenecker P.L. Periacetabular osteotomy for the treatment of acetabular dysplasia associated with major aspherical femoral head deformities. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(7):1417-1423. doi: 10.2106/JBJS.F.00493.
25. Cunningham T., Jessel L., Zurakowski D., Millis M.B., Kim Y.J. Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of cartilage to predict early failure of Bernese periacetabular osteotomy for hip dysplasia. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(7):1540-1548. doi: 10.2106/JBJS.E.00572.
26. Kralj M., Mavcic B., Antolic V., Igljic A., Kralj-Igljic V. The Bernese periacetabular osteotomy: clinical, radiographic and mechanical 7-15-year follow-up of 26 hips. *Acta Orthop*. 2005;76(6):833-840. doi: 10.1080/17453670510045453.
27. Siebenrock K.A., Schöll E., Lottenbach M., Ganz R. Bernese periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;(363):9-20.
28. Okano K., Enomoto H., Osaki M., Shindo H. Outcome of rotational acetabular osteotomy for early hip osteoarthritis secondary to dysplasia related to femoral head shape: 49 hips followed for 10-17 years. *Acta Orthop*. 2008;79(1):12-17. doi: 10.1080/17453670710014699.
29. Hasegawa Y., Masui T., Yamaguchi J., Kawabe K., Suzuki S. Factors leading to osteoarthritis after eccentric rotational acetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;459:207-215. doi: 10.1097/BLO.0b013e31803df968.
30. Yasunaga Y., Yamasaki T., Ochi M. Patient selection criteria for periacetabular osteotomy or rotational acetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(12):3342-3354. doi: 10.1007/s11999-012-2516-z.
31. Корыткин А.А., Новикова Я.С., Эль Мудни Ю.М., Ковалдов К.А., Герасимов С.А., Губина Е.В. Периацетабулярная остеотомия таза при лечении пациентов с дисплазией тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):131-142. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-131-142. Korytkin A.A., Novikova Ya.S., El moudni Yu.M., Kovaldov K.A., Gerasimov S.A., Gubina E.V. [Periacetabular Pelvic Osteotomy in Treatment of Patients with Developmental Dysplasia of the Hip]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):131-142. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-131-142.
32. Камоско М.М., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Григорьев И.В. Транспозиция вертлужной впадины путем остеотомии таза при лечении детей с дисплазией тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2014;20(3):76-85. doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-3-76-85. Kamosko M.M., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Grigoriev I.V. [Transposition of the acetabulum after triple pelvic osteotomy in the treatment of children with hip dysplasia]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2014;20(3):76-85. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-3-76-85.
33. Trousdale R.T., Cabanela M.E. Lessons learned after more than 250 periacetabular osteotomies. *Acta Orthop Scand*. 2003;74(2):119-126. doi: 10.1080/00016470310013824.
34. Shimogaki K., Yasunaga Y., Ochi M. A histological study of articular cartilage after rotational acetabular osteotomy for hip dysplasia. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(7):1019-1023. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.15589.
35. Sen C., Sener N., Tozun I.R., Boynuk B. Polygonal triple (Kotz) osteotomy in the treatment of acetabular dysplasia: 17 patients (19 hips) with 4-9 years of follow-up. *Acta Orthop Scand*. 2003;74(2):127-132. doi: 10.1080/00016470310013833.
36. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Бортулёва О.В., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Баскаева Т.В. Среднесрочные результаты комплексного лечения детей с диспластическим коксартрозом I-II стадии. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(3):93-105. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-93-105. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Bortuleva O.V., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Baskaeva T.V. [The Medium-Term Results of Complex Treatment of the Children with I-II Stage Dysplastic Osteoarthritis]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(3):93-105. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-93-105.

Сведения об авторах

✉ *Тепленький Михаил Павлович* — д-р мед. наук, заведующий отделением
Адрес: Россия, 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6
<https://orcid.org/0000-0002-1973-5192>
e-mail: teplenkiymp@mail.ru

Олейников Евгений Владимирович — канд. мед. наук, младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-2454-7161>
e-mail: ortho-kgn@mail.ru

Бунов Вячеслав Сергеевич — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-5926-7872>
e-mail: bvsbunov@yandex.ru

Фозилов Джонибек Турдиевич — аспирант
<https://orcid.org/0000-0001-5068-6643>
e-mail: turdievich25081995@gmail.com

Authors' information

✉ *Mikhail P. Teplenky* — Dr. Sci. (Med.).
Address: 6, M. Ulyanova str., Kurgan, 640014, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-1973-5192>
e-mail: teplenkiymp@mail.ru

Evgeny V. Oleinikov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2454-7161>
e-mail: ortho-kgn@mail.ru

Vyacheslav S. Bunov — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5926-7872>
e-mail: bvsbunov@yandex.ru

Jonibek T. Fozilov
<https://orcid.org/0000-0001-5068-6643>
e-mail: turdievich25081995@gmail.com



Применение адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра в первичном эндопротезировании коленного сустава: рандомизированное исследование

Д.В. Чугаев, Н.С. Коновальчук, П.Г. Коган, Н.Н. Корнилов, Е.П. Сорокин, Д.Н. Глазнёв

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

Актуальность. Идеальные перевязочные материалы должны оказывать комплексное положительное влияние на эпителизирующуюся послеоперационную рану — эффективно удалять избыток раневого экссудата, обеспечивать адекватный газообмен между раной и окружающей средой, предотвращать вторичное инфицирование раны, способствовать созданию оптимальной влажности раневой поверхности, иметь достаточную механическую прочность, не стеснять движений пациента, что является крайне важным в ранней реабилитации после операций эндопротезирования коленного сустава. **Цель** — оценить влияние использования адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра на качество реабилитации и частоту развития поверхностной инфекции в раннем послеоперационном периоде у пациентов, перенесших операцию тотального эндопротезирования коленного сустава. **Материал и методы.** В проспективное рандомизированное (простая рандомизация) параллельное открытое исследование было включено 200 больных с терминальной стадией гонартроза, нуждающихся в выполнении первичного эндопротезирования коленного сустава. Пациенты были разделены на три группы, в двух из которых были использованы инновационные повязки из карбоксиметилцеллюлозы, импрегнированной серебром, а в третьей перевязки осуществляли традиционным образом. **Результаты.** В ходе исследования было подтверждено, что независимо от вида повязок и времени их наложения нет статистически значимых различий в степени выраженности болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде и показателях функции коленного сустава по шкале KSS через 3 мес. после операции. Субъективно наиболее комфортным для пациентов вариантом укрытия послеоперационной раны стало использование адгезивных повязок, импрегнированных серебром, с первого дня после операции. В качестве осложнений были зафиксированы развитие эпидермальных пузырей под повязкой, некроз краев раны, поверхностная инфекция области хирургического вмешательства и формирование грубого послеоперационного рубца. Развитие блистеринга (формирование эпидермальных пузырей) чаще возникало у тех пациентов, у которых были использованы классические клейкие повязки. **Заключение.** Использование адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра в проведенном нами исследовании не повлияло на количество гнойно-септических осложнений у пациентов и не оказало негативного влияния на реабилитацию. Использование современных повязок позволило снизить частоту развития эпидермальных пузырей под повязкой.

Ключевые слова: адгезивные повязки, хирургическая инфекция, раневая инфекция, эндопротезирование коленного сустава, осложнения.

Чугаев Д.В., Коновальчук Н.С., Коган П.Г., Корнилов Н.Н., Сорокин Е.П., Глазнёв Д.Н. Применение адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра в первичном эндопротезировании коленного сустава: рандомизированное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):28-38. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1709>.

Cite as: Chugaev D.V., Konovalchuk N.S., Kogan P.G., Kornilov N.N., Sorokin E.P., Glaznyov D.N. [Adsorbent Dressings from Sodium Carboxymethyl Cellulose With Silver Ions in Primary Knee Arthroplasty: A Randomized Trial]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):28-38. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1709>.

✉ Dmitrii V. Chugaev / Чугаев Дмитрий Валерьевич; e-mail: dr.chugaev@gmail.com

Рукопись получена: 30.11.2021. Рукопись одобрена: 12.01.2022. Статья опубликована онлайн: 22.02.2022. Submitted: 30.11.2021. Accepted: 12.01.2022. Published Online: 22.02.2022.

Adsorbent Dressings from Sodium Carboxymethyl Cellulose With Silver Ions in Primary Knee Arthroplasty: A Randomized Trial

Dmitrii V. Chugaev, Nikita S. Konovalchuk, Pavel G. Kogan, Nikolai N. Kornilov, Evgenii P. Sorokin, Daniil N. Glaznyov

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

Background. The ideal wound dressing should have complex positive affect on a postoperative wound healing: absorb excessive wound exudate, allow adequate gas exchange, prevent secondary infectious complications, create optimal humidity, be durable and not to restrict patients' mobility, which is crucial for early mobilization after total knee arthroplasty. We carried out this research to assess the effectiveness and safety of contemporary adhesive wound dressings and if they do have the abovementioned qualities. **Aim** — to assess the effect of using absorbing wound dressing made from sodium carboxymethyl cellulose with silver ions on the quality of rehabilitation and the rate of superficial infection occurrence in patients who underwent total knee joint arthroplasty. **Materials and Methods.** This prospective randomized (simple randomization) paralleled open study included 200 patients with terminal stage knee arthritis, who required total knee joint arthroplasty. Patients were divided into three groups, in two of the groups the innovative wound dressing made from sodium carboxymethyl cellulose with silver ions was used, in the third group traditional wound dressing was used. **Results.** In the course of this study, it was confirmed that there was no statistically significant difference in pain syndrome intensity in the early postoperative period or Knee Society Score (KSS) at 3 months postoperatively in regard of type of wound dressing and time of its application. Subjectively the most comfortable wound cover method for the patients was the usage of adhesive dressings with silver impregnation from the first day postoperatively. As complications we observed epidermal blistering under the dressing, superficial wound necrosis, superficial wound infection and formation of prominent and rough postoperative scars. The highest rate of blistering was observed in patients with traditional patch wound dressing. **Conclusion.** The usage of absorbing wound dressing made from sodium carboxymethyl cellulose with silver ions in our current study did not affect the rate of infectious complications and did not have any negative effects on rehabilitation. The usage of innovative dressings reduced the rate of epidermal blistering associated with dressings.

Keywords: adhesive wound dressing, surgical infection, wound infection, total knee arthroplasty, complications.

Введение

За последние десятилетия концептуальные подходы к использованию в повседневной хирургической практике повязок (раневых покрытий) претерпели значимые изменения. Так, перевязочная парадигма менялась не только в аспекте «когда и сколько раз перевязывать?», но и «чем?». Шли постоянные поиск и разработка не только материалов для изготовления самих повязок, но и покрытий, которые при непосредственном контакте с раной должны оптимизировать ее эпителизацию [1]. Несмотря на стремительное развитие медицинских технологий, проблема заживления и прогнозируемого безопасного ведения послеоперационных ран не решена до сих пор [2].

Принципиально идеальные перевязочные материалы должны оказывать комплексное положительное влияние на послеоперационную рану: эффективно удалять избыток раневого экссудата и его токсических компонентов, обеспечивать адекватный газообмен между раной и окружающей средой, предотвращать вторичное

инфицирование раны и контаминацию объектов окружающей среды, способствовать созданию оптимальной влажности раневой поверхности, иметь достаточную механическую прочность, не стеснять движений пациента, что весьма критично в период ранней реабилитации после операций эндопротезирования крупных суставов [3].

Публикации, освещающие данную тему, можно разделить на три основные категории.

К первой категории можно отнести целый ряд проспективных рандомизированных исследований и обзоров, показывающих, что адсорбирующие раневые покрытия, чаще используемые для лечения ран в общей и гнойной хирургии, демонстрируют хорошие результаты и при использовании у пациентов, перенесших плановые ортопедические вмешательства [4, 5, 6, 7, 8].

Во вторую группу входят исследования, авторы которых не обнаружили статистически значимой разницы между различными раневыми покрытиями в отношении частоты развития инфекционных осложнений, сроков заживления,

образования патологических рубцов, интенсивности болевого синдрома, комфорта пациентов или легкости смены повязки [6, 9].

К третьей группе относятся исследования, указывающие на негативные стороны новых перевязочных материалов. Например, повязки с эффектом герметизации могут приводить к избыточному воздействию на рану экссудата, а чрезмерно влажная среда способствует повреждению кожи и бактериальному инфицированию послеоперационной раны [10].

Наличием такого количества разрозненных данных и была продиктована необходимость оценки и статистического подтверждения эффективности и безопасности применения современных адгезивных повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра при тотальном эндопротезировании коленного сустава.

Цель исследования — оценить влияние использования адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра на качество реабилитации и частоту развития поверхностной инфекции в раннем послеоперационном периоде у пациентов, перенесших операцию тотального эндопротезирования коленного сустава.

Материал и методы

Дизайн исследования

Выполнено проспективное рандомизированное параллельное открытое одноцентровое исследование (простая рандомизация).

Исследование было выполнено в клинике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в срок с апреля по декабрь 2019 г. В исследование включено 200 больных с терминальной стадией деформирующего артроза коленного сустава, нуждающихся в выполнении первичного неосложненного тотального эндопротезирования коленного сустава.

Критерии включения: пациенты с гонартрозом III стадии по классификации Косинской в возрасте от 50 до 75 лет без ограничения по полу и индексу массы тела.

Критерии исключения:

- пациенты с обширными дефектами костей, формирующих коленный сустав, требующие использования различного рода пластических вмешательств на коленном суставе и эндопротезов с повышенной фронтальной стабилизацией;
- пациенты, имеющие заболевания кожи даже в стадии ремиссии; страдающие диабетом; лица, у которых в анамнезе были оперативные вмешательства или инфекционные осложнения на протезируемом суставе (рис. 1).

Пациенты

Среди обследуемых пациентов преобладали женщины как в общем массиве, так и во всех трех группах. Все клинические группы были сопоставимы по гендерным и возрастным показателям ($p > 0,05$) (табл. 1).

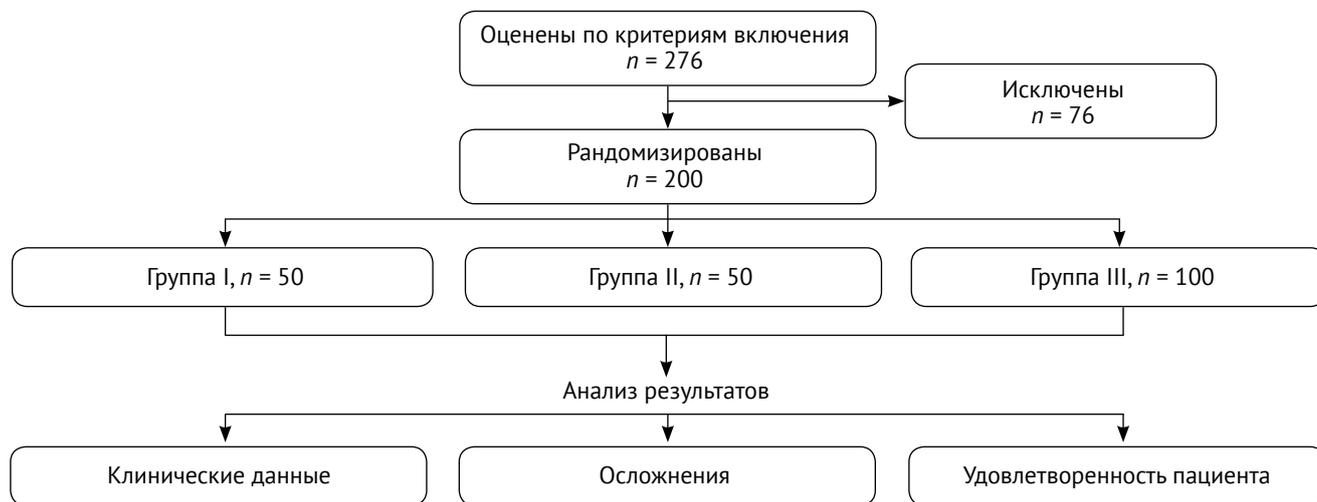


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study flowchart

Распределение пациентов по полу и возрасту

Параметр	Группа		
	I	II	III
Пол			
женский	45 (90%)	43 (86%)	82 (82%)
мужской	15 (10%)	7 (14%)	18 (18%)
Возраст, лет	64,2 (Me 65,0±7,2)	63,9 (Me 66,0±10,1)	62,1 (Me 62,0±10,3)

$p > 0,05$.

Техника операции

Всем пациентам оперативное вмешательство выполняли под спинномозговой анестезией с использованием раствора бупивакаина. За 30 мин. до начала операции вводили 1,5 г транексамовой кислоты внутривенно. Операцию осуществляли с использованием пневмотурникета, который накачивали в положении максимального сгибания в коленном суставе, создавая в манжете давление 270–300 мм рт. ст. У всех пациентов нами был использован передний доступ к коленному суставу. С помощью стандартного набора инструментов производили необходимые элементы мягкотканого релиза в коленном суставе, подготавливали ложа для компонентов эндопротеза и выполняли их цементную фиксацию. В положении сгибания коленного сустава капсулу сустава и подкожную жировую клетчатку ушивали непрерывным обвивным швом плетеной биорезорбируемой нитью, кожу ушивали нерассасывающейся удаляемой поликапроамидной мононитью, используя непрерывный шов по Донати. Дренирование полости коленного сустава у пациентов изучаемых групп не выполняли. У всех пациентов в послеоперацион-

ном периоде использовали стандартизированную схему тромбопрофилактики (низкомолекулярные гепарины с переходом на таблетированные формы антикоагулянтов, а также применение компрессионного трикотажа).

Все пациенты были рандомизированно разделены на три группы, отличающиеся по типу используемых в послеоперационном периоде раневых покрытий.

В группе I ($n = 50$) послеоперационную рану укрывали адгезивной повязкой из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра Aquacel Ag Surgical (ConvaTec Inc., Великобритания) в операционной сразу после ушивания раны, во время госпитализации этапные перевязки не осуществляли вплоть до выписки (рис. 2).

В группе II ($n = 50$) рану в операционной укрывали марлевой стерильной повязкой, которую фиксировали к коже адгезивной наклейкой Curapor (Lohman&Rauscher International, Германия). На следующий день после операции во время первой перевязки и обработки послеоперационной раны растворами антисептиков укрывали ее повязкой из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра Aquacel Ag Surgical, этапные перевязки так же, как и в группе I не выполнялись до выписки.

В группах I и II в послеоперационном периоде проводили смену повязки из натрийкарбоксиметилцеллюлозы, когда визуальное промокание впитывающего слоя приближалось к 50%, эти пациенты исключались из исследования (рис. 3).

В группе III ($n = 100$) рану укрывали марлевой стерильной повязкой, которую фиксировали к коже адгезивной наклейкой Curapor. В течение всего периода госпитализации пациентам данной группы один раз в 2 дня осуществляли перевязку с обработкой послеоперационной раны водными растворами антисептиков с полной заменой марлевой повязки. Данная группа пациентов была использована нами в качестве группы сравнения (рис. 4).



Рис. 2. Вид коленного сустава после операции эндопротезирования с повязкой Aquacel Ag Surgical
Fig. 2. View of the knee after total knee arthroplasty with Aquacel Ag Surgical dressing (ConvaTec Inc.)



Рис. 3. Вид коленного сустава после операции эндопротезирования с повязкой Aquacel Ag Surgical с промоканием более 50%

Fig. 3. View of the knee after total knee arthroplasty with Aquacel Ag Surgical dressing (ConvaTec Inc.) with leakage more than 50%



Рис. 4. Вид коленного сустава после операции эндопротезирования с марлевой повязкой

Fig. 4. View of the knee after total knee arthroplasty with a gauze dressing

В послеоперационном периоде у всех пациентов оценивались следующие клинические параметры: появление признаков блистеринга, количество перевязок, потребовавшихся во время госпитализации, количество ранних послеоперационных инфекционных осложнений, влияние использованных повязок на реабилитацию, выраженность болевого синдрома по ВАШ. Также учитывалась субъективная оценка пациентов. Через 90–120 дней с момента операции всех пациентов опрашивали по телефону для того, чтобы удостовериться в отсутствии инфекционных осложнений после выписки и оценивали функцию коленного сустава по шкале Knee Society Score (KSS).

Статистический анализ

После получения исходных данных пациентов были составлены электронные таблицы с использованием компьютерной программы Microsoft Excel. Для статистической обработки полученных данных мы использовали программу Past ver.3.17. Все данные проверялись на соответствие с нормальным (гауссовым) распределением при помощи критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Данные, не соотносившиеся с нормальным распределением, были исследованы с использованием методов непараметрической статистики. Выборки сравнивали при помощи критериев Манна–Уитни и Краскела–Уоллиса. Для поиска корреляции мы использовали критерий линейной корреляции Пирсона и критерий ранговой корреляции Спирмена.

Результаты

Болевой синдром является одним из субъективных показателей, определяющим самочувствие пациента и его удовлетворенность выполненным хирургическим вмешательством. Данный параметр анализировали по визуальной аналоговой шкале (ВАШ). Для исключения или подтверждения предположения о возможной связи интенсивности болевого синдрома и типа повязок были проанализированы и статистически обработаны оба этих параметра. Было подтверждено, что независимо от вида повязок и времени их наложения во всех группах нет статистически достоверных отличий ($p = 0,09–0,12$) в степени выраженности болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде (рис. 5).

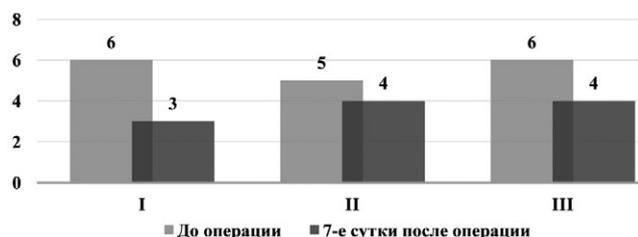


Рис. 5. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ до и после операции

Fig. 5. VAS before and after surgery

Далее было проведено изучение возможной статистической связи показателей функции коленного сустава по шкале KSS до операции и в срок 3 мес. после нее. Было установлено, что при идентичных исходных показателях в ближайшие послеоперационные сроки определялись небольшие различия в абсолютных числовых значениях

во всех группах, однако статистически значимые различия отсутствовали ($p > 0,05$). В I группе на сроке 3 мес. среднее значение по шкале KSS составило 77,1 (Me 75,0±1,5) и оказалось самым низким среди

групп сравнения. Во II и III группах аналогичные значения оказались практически идентичными — 80,1 (Me 77,0±2,5) и 79,0 (Me 77,0±2,7) соответственно (рис. 6).

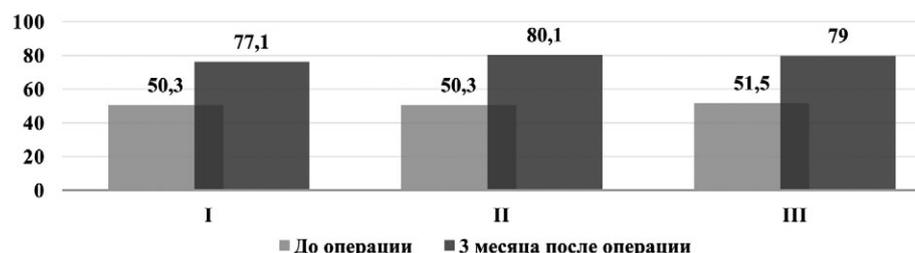


Рис. 6. Оценка функции коленного сустава по шкале KSS

Fig. 6. Knee function according to the KSS

Осложнения

Общеизвестным осложнением применения адгезивных повязок является развитие эпидермальных пузырей вокруг раны, в литературе называемое «блистеринг». Нам удалось установить, что в раннем послеоперационном периоде явления блистеринга чаще возникали у пациентов III группы, которым рана укрывалась классическими клейкими повязками Sugarco ($n = 11$). Данный факт не только оказался клинически видимым, но и имел статистически значимое обоснование. В I группе описываемый вид осложнений был выявлен всего в одном случае и составил 2%.

При рассмотрении общего количества осложнений, возникших на госпитальном этапе, было установлено, что 17 (8,5%) пациентов имели какой-либо один из видов осложнений. случаев возникновения двух и более видов осложнения у одного пациента выявлено не было. Максимальное количество осложнений (15 случаев; 15%) было зарегистрировано в III группе. При этом самым частым из них был блистеринг. Затем по порядку снижения частоты определены некроз краев раны

($n = 2$; 2%), поверхностная инфекция области хирургического вмешательства ($n = 1$; 1%) и грубый послеоперационный рубец ($n = 1$; 1%) (табл. 2).

На финальном этапе исследования нами было проведено изучение одного из немаловажных для пациента факторов — насколько комфортным для пациента является использование данного раневого покрытия. Несмотря на общую удовлетворенность большинства пролеченных пациентов всех групп, максимальный дискомфорт отмечали 43 (43%) пациента III группы. В I группе количество аналогичных пациентов составило 18 (36%), при этом 15 из них предъявляли настойчивые требования о смене имеющейся повязки и переходе на регулярные перевязки с динамическим наблюдением за раной лечащим врачом. Во второй группе количество пациентов с жалобами на дискомфорт от повязки было самым низким — 7 (14%) случаев или от общего количества группы. Статистический анализ при сравнении всех групп поочередно выявил изменение коэффициента от $p = 0,003$ до 0,048, что свидетельствует о наличии статистически значимых различий.

Таблица 2

Послеоперационные осложнения в исследуемых группах

Осложнение	Группа пациентов		
	I ($n = 50$)	II ($n = 50$)	III ($n = 100$)
Глубокая инфекция области хирургического вмешательства	0	0	0
Поверхностная инфекция области хирургического вмешательства	0	0	1 (1%)
Краевой некроз кожи	1 (2%)	0	2 (2%)
Грубый послеоперационный рубец	0	0	1 (1%)
Блистеринг	1 (2%)	0	11 (11%)
Дискомфорт, связанный с использованием повязки	18 (36%)*	7 (14%)	43 (43%)

* 15 пациентов из 18 (30%) потребовали перевязки с мотивацией: «Хочу посмотреть, все ли в порядке», «Пусть меня перевязывают, как и других пациентов».

Обсуждение

Инфекция области хирургического вмешательства возникает у 1–2% пациентов после тотальной артропластики коленного сустава [11, 12, 13]. Исследование причин, повлекших за собой ревизионное вмешательство после тотального эндопротезирования, показало, что перипротезная инфекция (ППИ) составляет 14,5% от общего объема ревизий и 26,8% случаев, если повторное вмешательство было выполнено в течение года после первичной артропластики [14]. Одним из важнейших факторов риска, связанных с ППИ, является инфицирование послеоперационной раны [15, 16]. Это, безусловно, делает профилактику поверхностных раневых осложнений одним из базовых аспектов периоперационного менеджмента тотальной артропластики [11]. Одним из эффективных средств этого может стать использование современных перевязочных материалов [17].

В материалах Второй международной конференции по скелетно-мышечной инфекции отдельный раздел посвящен обсуждению послеоперационного ведения пациентов. В ходе дискуссии был достигнут сильный консенсус по поводу того, что окклюзионные и импрегнированные серебром повязки снижают частоту раневых осложнений по сравнению со стандартными марлевыми повязками. При этом смену повязок рекомендовано выполнять только по мере их промокания [18]. Хотя такое заключение по своей сути является компиляцией экспертного мнения и не имеет прямого статистического подтверждения, оно демонстрирует интерес к этой теме ортопедических хирургов. Причем этот интерес имеет сугубо практические корни — какое количество перевязок является минимально возможным и влияют ли они на течение раневого процесса у пациентов после больших ортопедических операций?

Общую концепцию, которая легла в основу нашего исследования, сформулировать достаточно просто: нужно найти эффективное раневое покрытие, способное быть барьером для проникновения бактерий, справляться с избытком раневого отделяемого, создавая оптимальную среду для заживления раны, и при этом оказывать антибактериальное воздействие [19]. На сегодняшний день при обсуждении того, какой перевязочный материал в наибольшей степени соответствует этим требованиям, авторы прибегают к оценке самых различных показателей, что, в свою очередь, может приводить к сложностям в интерпретации и сравнении результатов [11]. Это можно объяснить тем, что многие критерии, используемые для описания состояния послеоперационной раны, относятся к качественным, а не количественным, что делает их оценку слишком субъективной. Например,

для описания нарушения целостности кожных покровов, возникшего в результате использования перевязочного материала в литературе используется целый ряд терминов — эритема, эрозии, мацерация, эпидермальные пузыри и блистеринг. Наиболее показательным и клинически значимым принято считать блистеринг. Этот термин обозначает отслойку эпидермиса от подлежащей дермы, что, вероятнее всего, вызвано нарастанием настолько выраженного отека мягких тканей, для которого эластичность кожи становится недостаточной. Это также может быть связано с малой растяжимостью традиционных повязок, что приводит к формированию значительного натяжения верхних слоев кожи при движениях в оперированном суставе [20].

К факторам, повышающим частоту возникновения блистеринга, связанным с пациентом, можно отнести ожирение, венозную недостаточность и наличие сахарного диабета [1]. В связи с тем, что эндопротезирование коленного сустава часто выполняется у пожилых людей с тонкой кожей, вероятность возникновения этого осложнения становится еще выше [21], поэтому смена повязки должна быть минимально травматичной. В исследовании, проведенном J.V. Clarke с соавторами, выполняли оценку частоты возникновения блистеринга при применении различных видов повязок. Ими было показано, что данное осложнение встречалось на 19,5% реже при использовании современных эластичных повязок по сравнению с традиционными [6]. Это также было подтверждено и в проведенной нами работе.

Помимо этого, возникновение проблем с эпителизацией раны может затруднять мобилизацию пациента, тем самым увеличивая продолжительность реабилитации (как в условиях стационара, так и общей). Очевидно, что послеоперационные раны после выполнения тотальной артропластики расположены в проекции прооперированных суставов, и, соответственно, раневые покрытия не должны ограничивать движения в них, должны приспособливаться к динамическим изменениям размеров раны, чтобы не оказывать негативного влияния на раннюю послеоперационную реабилитацию [22]. Это подтверждается и исследованием T. Cosker с соавторами, которые выявили, что недостаток эластичности повязок в сочетании с послеоперационным отеком раны является фактором, способствующим возникновению блистеринга и, кроме того, плохо переносится пациентами, причиняя излишний дискомфорт во время реабилитации [23]. В то же время адгезивные интерактивные повязки обеспечивают широкий спектр субъективных преимуществ для пациента, включая возможность принимать душ сразу после операции [24, 25, 26].

Следующим, достаточно субъективным критерием является количество раневого отделяемого, так как не существует унифицированного метода определения его «избыточности». В ходе конференции по лечению скелетно-мышечной инфекции был достигнут консенсус относительно того, что чем обильнее и длительнее отмечается раневое отделяемое, тем выше вероятность возникновения инфекционных осложнений [18]. В своем исследовании J.V. Clarke с соавторами сообщают об эффективном поглощении и удержании адгезивной повязкой раневого экссудата, что позволило значительно сократить количество выполняемых перевязок [6]. Помимо низкой частоты блистеринга, были установлены и другие клинические преимущества данного вида перевязочного материала, такие как уменьшение среднего койко-дня, малое количество требуемых перевязок в течение госпитализации, при этом не выявлено увеличения частоты развития инфекции области хирургического вмешательства [23].

Еще одним субъективным критерием является удовлетворенность врачей, медсестер и пациентов. Каждый врач и медсестра оценивают ход перевязки, руководствуясь личным опытом и традициями конкретного отделения, что может в значительной мере отличаться как между отделениями одной клиники, так и между различными стационарами. Индивидуальная удовлетворенность пациента может тоже в значительной мере варьировать как в отношении оценки болевого синдрома, ассоциированного со сменой раневых покрытий, так и комфорта при перевязке или занятиях по реабилитации [25].

Отдельного обсуждения требует целесообразность применения повязок, изготовленных по технологии гидрофайбер, импрегнированных антисептиками. Позволяет ли это сузить показания к применению антибиотиков? Это особенно важно с учетом факта наличия госпитальных штаммов полирезистентных микроорганизмов, являющихся причиной развития хирургической инфекции [27, 28]. Ряд современных исследователей сообщают о положительной динамике при использовании серебросодержащих повязок в лечении хирургических ран [29]. Как известно, ионы серебра обладают высокой противомикробной активностью в отношении грамположительной и грамотрицательной флоры, включая антибиотикорезистентные штаммы, и их использование в современных раневых покрытиях имеет значимые потенциальные преимущества [27]. Переоценить это трудно, потому что исследование L.A. Poultides с соавторами, проведенное по поводу причин инфекции области хирургического вмешательства в стационаре после первичной артропластики тазобедренного и коленного суставов, показало, что общие затраты

на лечение таких пациентов примерно вдвое превышают затраты на пациентов без данного осложнения [30].

Исследование, проведенное F.C. Куо с соавторами, выявило, что применение серебросодержащей повязки позволило увеличить время между перевязками по сравнению со стандартным подходом ($5,2 \pm 0,7$ против $1,7 \pm 0,4$ дня; $p < 0,0001$) и соответственно сократить количество перевязок ($1,0 \pm 0,2$ против $3,6 \pm 1,3$ раза; $p < 0,0001$). При использовании стандартных повязок пациенты отмечали дискомфорт во время их смены, а также при занятии с инструктором ЛФК, чего не было отмечено при применении современных раневых покрытий. Было отмечено повышение удовлетворенности пациентов повязкой ($p < 0,0001$) [25].

M. Chowdhry с соавторами сообщают о преимуществах раневых покрытий с применением технологии гидрофайбер по сравнению с традиционными повязками [31]. В данном исследовании были выявлены статистические различия в скорости стихания воспалительных явлений в группе с современными повязками. Это проявлялось более выраженной динамикой нормализации температуры тела, снижением уровня лейкоцитов и нормализацией заживления послеоперационной раны. Другое исследование (56 пациентов), сравнивающее традиционные повязки с адгезивными, показало меньшее среднее число перевязок в группе современных раневых покрытий по сравнению с группой, в которой были использованы пассивные повязки (0,3 против 1,9 при $p < 0,001$) [32].

Научная работа, проведенная L.M. Nherera с соавторами, свидетельствует о том, что использование современных адгезивных повязок сопряжено с меньшим количеством осложнений, нежели при использовании традиционных перевязочных материалов [33].

Современные исследования показывают, что адгезивные раневые покрытия уменьшают количество требуемых перевязок, позволяя снизить затраты на послеоперационное лечение пациентов, даже с учетом их высокой стоимости по сравнению с традиционными материалами [25]. Поскольку смену повязок на послеоперационной ране после эндопротезирования в среднем осуществляют через день, уменьшение количества перевязок снижает материальные затраты, время загрузки персонала, а также снижает риск контаминации раны патогенными микроорганизмами [24].

Хотя, безусловно, адсорбирующие адгезивные повязки также не являются идеальными, и к одной из проблем, с которой сталкиваются ортопеды при их использовании, относится тот факт, что повязка не позволяет врачу осмотреть рану в ближайшие дни после оперативного вмеша-

ства. Перевязка в этом случае выполняется либо при чрезмерном промокании повязки, как было продемонстрировано в нашем исследовании, либо по личному желанию врача, что не всегда является обоснованным. Для ряда хирургов и пациентов было непривычно впервые осматривать рану лишь через 5–7 дней после оперативного лечения [8]. Поэтому было бы оптимально, если используемое после операции раневое покрытие не препятствовало осмотру раны, позволяя оценить гиперемии паравульнарных кожных покровов, выявить изменение местной температуры, что крайне важно для диагностики ранних инфекционных послеоперационных осложнений [17].

Можно заключить, что полученные нами данные согласуются с современными крупными исследованиями и метаанализами, позволяя говорить о том, что, хотя современные повязки и более дорогие по сравнению с традиционными перевязочными материалами, они способны вызывать меньшее количество кожных осложнений (блистеринг). При этом их использование сокращает время госпитализации, повышая удовлетворенность пациентов проводимым лечением, а врачей и медсестер — снижением количества осложнений и комфортом использования инновационных методик ухода за ранами. В то же время для корректной оценки как экономической эффективности, так и роли современных раневых покрытий в про-

филактике инфекционных осложнений необходимы долгосрочные многоцентровые проспективные клинические исследования.

Ограничения исследования

Настоящее исследование было одноцентровым, с небольшой выборкой пациентов. Для адекватной оценки влияния фактора раневого покрытия на риск развития глубокой инфекции области хирургического вмешательства требуется многоцентровый анализ лечения нескольких тысяч больных.

Заключение

Использование адсорбирующих повязок из натрийкарбоксиметилцеллюлозы с ионами серебра в проведенном нами исследовании не повлияло на количество гнойно-септических осложнений у пациентов и не оказало негативного влияния на реабилитацию. У пациентов обеих клинических групп объем движений в коленном суставе при выписке и через 3 мес. после операции статистически значимо не отличался при использовании разных видов раневых покрытий. Применение инновационных повязок позволило снизить частоту развития эпидермальных пузырей у пациентов после перенесенного эндопротезирования, уменьшить количество выполняемых в течение госпитализации перевязок без негативных последствий для пациента.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Чугаев Д.В. — разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных, написание статьи.

Коновальчук Н.С. — разработка дизайна исследования, редактирование статьи.

Коган П.Г. — сбор данных, редактирование статьи.

Корнилов Н.Н. — редактирование статьи.

Сорокин Е.П. — редактирование статьи.

Глазнев Д.Н. — редактирование статьи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию его результатов.

Disclaimers

Author contribution

Dmitrii V. Chugaev — the idea and design of the study, collection and processing of data, writing the draft.

Nikita S. Konovalchuk — the idea and design of the study, text editing.

Pavel G. Kogan — the collection and processing of data, text editing.

Nikolai N. Kornilov — text editing.

Evgenii P. Sorokin — text editing.

Daniil N. Glaznyov — text editing.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Литература [References]

1. Bredow J., Oppermann J., Hoffmann K., Hellmich M., Wenk B., Simons M. et al. Clinical trial to evaluate the performance of a flexible self-adherent absorbent dressing coated with a soft silicone layer compared to a standard wound dressing after orthopedic or spinal surgery: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2015;16:81. doi: 10.1186/s13063-015-0599-z.
2. Sharma G., Lee S.W., Atanacio O., Parvizi J., Kim T.K. In search of the optimal wound dressing material following total hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop*. 2017;41(7):1295-1305. doi: 10.1007/s00264-017-3484-4.
3. Dumville J.C., Gray T.A., Walter C.J., Sharp C.A., Page T. Dressings for the prevention of surgical site infection. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;(9):CD003091. doi: 10.1002/14651858.CD003091.pub3.
4. Cosker T., Elsayed S., Gupta S., Mendonca A.D., Tayton K.J. Choice of dressing has a major impact on blistering and healing outcomes in orthopaedic patients. *J Wound Care*. 2005;14(1):27-29. doi: 10.12968/jowc.2005.14.1.26722.
5. Acar N., Er A., Erduran M. The assessment of portal-tract healing after knee arthroscopy. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2017;51(5):372-376. doi: 10.1016/j.aott.2017.05.002.
6. Clarke J.V., Deakin A.H., Dillon J.M., Emmerson S., Kinninmonth A.W. A prospective clinical audit of a new dressing design for lower limb arthroplasty wounds. *J Wound Care*. 2009;18(1):5-11. doi: 10.12968/jowc.2009.18.1.32128.
7. Zarghooni K., Bredow J., Siewe J., Deutloff N., Meyer H.S., Lohmann C. Is the use of modern versus conventional wound dressings warranted after primary knee and hip arthroplasty? Results of a Prospective Comparative Study. *Acta Orthop Belg*. 2015;81(4):768-775.
8. Maessen-Visch M.B., van Montfrans C. Wound dressings, does it matter and why? *Phlebology*. 2016;31(1 Suppl):63-67. doi: 10.1177/0268355516633383.
9. Dumville J.C., Gray T.A., Walter C.J., Sharp C.A., Page T., Macefield R. et al. Dressings for the prevention of surgical site infection. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;12(12):CD003091. doi: 10.1002/14651858.CD003091.pub4.
10. López-Parra M., Gil-Rey D., López-González E., González-Rodríguez E.M., Simó-Sánchez I., Zamora-Carmona F. et al. Open-label randomized controlled trial to compare wound dressings for patients undergoing hip and knee arthroplasty: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2018;19(1):357. doi: 10.1186/s13063-018-2755-8.
11. Blanco J.F., Díaz A., Melchor F.R., da Casa C., Pescador D. Risk factors for periprosthetic joint infection after total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(2):239-245. doi: 10.1007/s00402-019-03304-6.
12. Романо К.Л., Божкова С.А., Артюх В., Романо Д., Цучия Х., Драго Л. Применение имплантатов с антибактериальным покрытием в ортопедии и травматологии: современное состояние проблемы. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(4):64-74. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-64-74. Romano K.L., Bozhkova S.A., Artyukh V., Romano D., Tsuchiya H., Drago L. [The use of implants with antibacterial coating in orthopedics and traumatology: current state of the problem]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(4):64-74. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-64-74.
13. Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В., Гончаров М.Ю. Результаты этапного лечения пациентов с перипротезной инфекцией после эндопротезирования коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(1):98-107. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107. Preobrazhensky P.M., Bozhkova S.A., Kazemirsky A.V., Goncharov M.Yu. [Results of staged treatment of patients with periprosthetic infection after knee arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):98-107. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107.
14. Thiele K., Perka C., Matziolis G., Mayr H.O., Sostheim M., Hube R. Current failure mechanisms after knee arthroplasty have changed: polyethylene wear is less common in revision surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(9):715-720. doi: 10.2106/JBJS.M.01534.
15. Saleh K., Olson M., Resig S., Bershadsky B., Kuskowski M., Gioe T. et al. Predictors of wound infection in hip and knee joint replacement: results from a 20-year surveillance program. *J Orthop Res*. 2002;20(3):506-515. doi: 10.1016/S0736-0266(01)00153-X.
16. Bebek S.P., Green D.M., Awad S.S. Effect of a preoperative decontamination protocol on surgical site infections in patients undergoing elective orthopedic surgery with hardware implantation. *JAMA Surg*. 2015;150(5):390-395. doi: 10.1001/jamasurg.2014.3480.
17. Kim K.Y., Anoushiravani A.A., Long W.J., Vigdorichik J.M., Fernandez-Madrid I., Schwarzkopf R. A Meta-Analysis and Systematic Review Evaluating Skin Closure After Total Knee Arthroplasty-What Is the Best Method? *J Arthroplasty*. 2017;32(9):2920-2927. doi: 10.1016/j.arth.2017.04.004.
18. Материалы второй международной согласительной конференции по скелетно-мышечной инфекции. Под общ. ред. Р.М. Тихилова, С.А. Божковой, И.И. Шубнякова. СПб.: РНИИТО им. Р.Р. Вредена; 2019. 314 с. [Proceedings of the second international consensus conference on musculoskeletal infection]. Eds. R.M. Tikhilov, S.A. Bozhkova, I.I. Shubnyakov. Saint Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2019. 314 p.
19. Yu A.L., Alfieri D.C., Bartucci K.N., Holzmeister A.M., Rees H.W. Wound Hygiene Practices After Total Knee Arthroplasty: Does It Matter? *J Arthroplasty*. 2016;31(10):2256-2259. doi: 10.1016/j.arth.2016.03.040.
20. Sadik K., Flener J., Gargiulo J., Post Z., Wurzelbacher S., Hogan A., Hollmann S., Ferko N. A US hospital budget impact analysis of a skin closure system compared with standard of care in hip and knee arthroplasty. *Clinicoecon Outcomes Res*. 2018;11:1-11. doi: 10.2147/CEOR.S181630.
21. Davies P., McCarty S., Hamberg K. Silver-containing foam dressings with Safetac: a review of the scientific and clinical data. *J Wound Care*. 2017;26(Sup6a):S1-S32. doi: 10.12968/jowc.2017.26.Sup6a.S1.
22. Arroyo A.A., Casanova P.L., Soriano J.V., Torra I Bou J.E. Open-label clinical trial comparing the clinical and economic effectiveness of using a polyurethane film surgical dressing with gauze surgical dressings in the care of post-operative surgical wounds. *Int Wound J*. 2015;12(3):285-292. doi: 10.1111/iwj.12099.
23. Cosker T., Elsayed S., Gupta S., Mendonca A.D., Tayton K.J. Choice of dressing has a major impact on blistering and healing outcomes in orthopaedic patients. *J Wound Care*. 2005;14(1):27-29. doi: 10.12968/jowc.2005.14.1.26722.

24. McGuinness W., Vella E., Harrison D. Influence of dressing changes on wound temperature. *J Wound Care*. 2004;13(9):383-385. doi: 10.12968/jowc.2004.13.9.26702.
25. Kuo F.C., Chen B., Lee M.S., Yen S.H., Wang J.W. AQUACEL® Ag Surgical Dressing Reduces Surgical Site Infection and Improves Patient Satisfaction in Minimally Invasive Total Knee Arthroplasty: A Prospective, Randomized, Controlled Study. *Biomed Res Int*. 2017;2017:1262108. doi: 10.1155/2017/1262108.
26. Jenks P.J., Laurent M., McQuarry S., Watkins R. Clinical and economic burden of surgical site infection (SSI) and predicted financial consequences of elimination of SSI from an English hospital. *J Hosp Infect*. 2014;86(1):24-33. doi: 10.1016/j.jhin.2013.09.012.
27. Vermeulen H., van Hattem J.M., Storm-Versloot M.N., Ubbink D.T. Topical silver for treating infected wounds. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007;(1):CD005486. doi: 10.1002/14651858.CD005486.pub2.
28. Back D.A., Scheuermann-Poley C., Willy C. Recommendations on negative pressure wound therapy with instillation and antimicrobial solutions - when, where and how to use: what does the evidence show? *Int Wound J*. 2013;10 Suppl 1:32-42. doi: 10.1111/iwj.12183.
29. DeFranzo A.J., Argenta L.C., Marks M.W., Molnar J.A., David L.R., Webb L.X. et al. The use of vacuum-assisted closure therapy for the treatment of lower-extremity wounds with exposed bone. *Plast Reconstr Surg*. 2001;108(5):1184-1191. doi: 10.1097/00006534-200110000-00013.
30. Poultsides L.A., Ma Y., Della Valle A.G., Chiu Y.L., Sculco T.P., Mementsoudis S.G. In-hospital surgical site infections after primary hip and knee arthroplasty--incidence and risk factors. *J Arthroplasty*. 2013;28(3):385-389. doi: 10.1016/j.arth.2012.06.027.
31. Chowdhry M., Chen A.F. Wound dressings for primary and revision total joint arthroplasty. *Ann Transl Med*. 2015;3(18):268. doi: 10.3978/j.issn.2305-5839.2015.09.25.
32. Downie F., Egdell S., Bielby A., Searle R. Barrier dressings in surgical site infection prevention strategies. *Br J Nurs*. 2010;19(20):S42-46. doi: 10.12968/bjon.2010.19.Sup10.79693.
33. Nherera L.M., Trueman P., Karlakki S.L. Cost-effectiveness analysis of single-use negative pressure wound therapy dressings (sNPWT) to reduce surgical site complications (SSC) in routine primary hip and knee replacements. *Wound Repair Regen*. 2017;25(3):474-482. doi: 10.1111/wrr.12530.

Сведения об авторах

✉ Чугаев Дмитрий Валерьевич — канд. мед. наук, научный сотрудник
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8

<https://orcid.org/0000-0001-5127-5088>

e-mail: dr.chugaev@gmail.com

Коновальчук Никита Сергеевич — канд. мед. наук, лаборант-исследователь

<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>

e-mail: konovalchuk91@yandex.ru

Коган Павел Геннадьевич — канд. мед. наук, младший научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0002-7179-4851>

e-mail: pgkogan@gmail.com

Корнилов Николай Николаевич — д-р мед. наук, профессор кафедры, ведущий научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0002-6398-2377>

e-mail: drkornilov@hotmail.com

Сорокин Евгений Петрович — канд. мед. наук, заведующий отделением

<https://orcid.org/0000-0001-9520-5911>

e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Глазнев Даниил Николаевич — клинический ординатор

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

e-mail: glaznyov.danil@yandex.ru

Authors' information

✉ Dmitrii V. Chugaev — Cand. Sci. (Med.)

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

<https://orcid.org/0000-0001-5127-5088>

e-mail: dr.chugaev@gmail.com

Nikita S. Konovalchuk — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-2762-816X>

e-mail: konovalchuk91@yandex.ru

Pavel G. Kogan — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7179-4851>

e-mail: pgkogan@gmail.com

Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-6398-2377>

e-mail: drkornilov@hotmail.com

Evgenii P. Sorokin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-9520-5911>

e-mail: sorokinortoped@gmail.com

Daniil N. Glaznyov

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

e-mail: glaznyov.danil@yandex.ru



Protein-Energy Malnutrition as a Predictor of Early Recurrent Revisions After Debridement Surgery in Patients With Difficult-to-Treat Periprosthetic Infection

Svetlana A. Bozhkova¹, Vitaly N. Liventsov¹, Rashid M. Tikhilov¹, Carlo L. Romano², Aleksandr Yu. Kochish^{1,3}, Dmitry V. Labutin¹, Vasily A. Artyukh¹

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

² Clinica San Gaudenzio, Novara, Italy

³ Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Background. Protein-energy malnutrition (PEM) is an established risk factor of postoperative complications in orthopedic disorders, including arthroplasty of the large joints. **The study aimed** to evaluate PEM prevalence and its association with the early postoperative revision in patients with the difficult-to-treat (DTT) prosthetic joint infection (PJI) of the hip. **Methods.** The retrospective study included 132 patients with chronic DTT PJI of the hip. The patients underwent orthopedic implant removal, radical debridement of the infected tissues, and resection arthroplasty with non-free transplantation of an axial vastus lateralis muscle flap (n = 57) or installation of an antimicrobial spacer (n = 75). DTT PJI was defined as an infection caused by rifampicin-resistant staphylococcal strains, ciprofloxacin-resistant gram-negative bacteria, fungi of the genus *Candida*, and their associations. The assessment of the patient's protein-energy status included the evaluation of reference laboratory parameters, such as levels of hemoglobin, total protein, and albumin and number of lymphocytes. The degree of PEM was determined by the number of laboratory markers below the threshold values. The statistical comparison was performed using Fisher's test. The odds ratio (OR, 95% confidence interval [CI]) was calculated to assess the risk of PJI recurrence. Differences were considered significant at $p < 0.05$. **Results.** More than 70% of patients with chronic DTT PJI included in the study were diagnosed with preoperative PEM of varying degrees of severity. Hypoalbuminemia and decreased hemoglobin levels were diagnosed more often: 64.3% and 57.1% in the muscle flap plasty and 57.3% and 31.1% in the antimicrobial spacer group, respectively. In muscle plasty and antimicrobial spacer groups, a decrease in the values of three or more reference PEM markers was detected in 28.5% and 16.0% of patients, and this advanced impairment of the nutritional status increased the risk of early revision intervention by two (OR 2.0; CI 95% 0.47–8.56; $p = 0.35$) and six times (OR 6.11; 95% CI 1.06–35.35; $p < 0.04$), respectively. **Conclusion.** In general, the analysis of publications and results of our study show that PEM is associated with the development of surgical site infection and recurrence of PJI after revision surgery. A decrease in the values of three or more reference PEM markers is a significant predictor of repeated revisions after debridement surgery with the installation of an antimicrobial spacer. PEM complicates the postoperative course in patients with resection arthroplasty. Given the high incidence of PEM in patients with DTT PJI of the hip joint, further research is needed to develop methods for nutritional status correction and assessment of their effect on the outcomes of debridement surgery.

Keywords: difficult-to-treat infection, prosthetic joint infection, protein-energy malnutrition, hip resection arthroplasty.

Bozhkova S.A., Liventsov V.N., Tikhilov R.M., Romano C.L., Kochish A.Yu., Labutin D.V., Artyukh V.A. Protein-Energy Malnutrition as a Predictor of Early Recurrent Revisions After Debridement Surgery in Patients With Difficult-to-Treat Periprosthetic Infection. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):39-45. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1717>.

Cite as: Божкова С.А., Ливенцов В.Н., Тихилов Р.М., Романо К.Л., Кочиш А.Ю., Лабутин Д.В., Артюх В.А. [Белково-энергетическая недостаточность как предиктор ранних повторных ревизий после saniрующих операций у пациентов с трудноизлечимой перипротезной инфекцией]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):39-45. (In English). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1717>.

✉ Ливенцов Виталий Николаевич / Vitaly N. Liventsov; e-mail: vnliventsov@yandex.ru

Рукопись получена: 19.12.2021. Рукопись одобрена: 31.01.2022. Статья опубликована онлайн: 11.02.2022. Submitted: 19.12.2021. Accepted: 31.01.2022. Published Online: 11.02.2022.

© Bozhkova S.A., Liventsov V.N., Tikhilov R.M., Romano Carlo L., Kochish A.Yu., Labutin D.V., Artyukh V.A., 2022
© Божкова С.А., Ливенцов В.Н., Тихилов Р.М., Романо К.Л., Кочиш А.Ю., Лабутин Д.В., Артюх В.А., 2022

Белково-энергетическая недостаточность как предиктор ранних повторных ревизий после санирующих операций у пациентов с трудноизлечимой перипротезной инфекцией

С.А. Божкова¹, В.Н. Ливенцов¹, Р.М. Тихилов¹, К.Л. Романо², А.Ю. Кочиш^{1,3},
Д.В. Лабутин¹, В.А. Артюх¹

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

² Клиника Сан-Гауденцио, г. Новара, Италия

³ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО России, г. Санкт-Петербург, Россия

Введение. Белково-энергетическая недостаточность (БЭН) является доказанным фактором риска развития послеоперационных осложнений у ортопедических больных, в том числе и после эндопротезирования крупных суставов. **Целью** исследования была оценка частоты встречаемости БЭН и ее влияния на необходимость выполнения ревизионного вмешательства в раннем послеоперационном периоде у пациентов с трудноизлечимой (ТИ) перипротезной инфекцией (ППИ) тазобедренного сустава. **Материал и методы.** В ретроспективное исследование включено 132 пациента с хронической ТИ ППИ тазобедренного сустава, которым были выполнены удаление ортопедического имплантата, радикальная хирургическая обработка очага инфекции и резекционная артропластика с несвободной пересадкой осевого мышечного лоскута из *m. vastus lateralis* ($n = 57$) или установка антимикробного спейсера ($n = 75$). К ТИ ППИ относили инфекцию, обусловленную рифампицин-резистентными штаммами стафилококков, ципрофлоксацин-резистентными штаммами грамотрицательных бактерий, грибами рода *Candida*, а также их ассоциациями. Оценка белково-энергетического статуса пациента включала определение опорных лабораторных показателей: уровней гемоглобина, общего белка, альбумина и количество лимфоцитов. Степень БЭН определяли по количеству лабораторных маркеров ниже пороговых значений. Сопоставление относительных показателей сравнения выполняли с применением критерия Фишера. Для оценки влияния БЭН на развитие рецидива рассчитывали отношение шансов (ОШ, 95% ДИ). Различия принимали за достоверные при $p < 0,05$. **Результаты.** Более чем у 70% больных с хронической ТИ ППИ, включенных в исследование, до операции была диагностирована БЭН различной степени тяжести. Чаще диагностировали гипоальбуминемию и снижение уровня гемоглобина: соответственно 64,3% и 57,1% в группе мышечной пластики и 57,3% и 31,1% в группе антимикробного спейсера. В группах мышечной пластики и антимикробного спейсера дефицит трех и более опорных показателей БЭН был выявлен соответственно у 28,5% и 16,0% пациентов, при этом наличие таких выраженных нарушений нутриционного статуса увеличивало риск раннего ревизионного вмешательства в 2 раза (ОШ = 2,0; ДИ 95% 0,47–8,56; $p = 0,35$) и в 6 раз (ОШ = 6,11; ДИ 95% 1,06–35,35; $p < 0,04$). **Заключение.** Анализ научных публикаций и результаты нашего исследования показывают, что БЭН связана с развитием ИОХВ и рецидивом ППИ после ревизионных операций. Снижение трех и более опорных показателей БЭН является значимым предиктором повторных ревизий после санирующих операций с установкой антимикробного спейсера, а также ухудшает течение раннего послеоперационного периода у пациентов с резекционной артропластикой. С учетом высокой частоты встречаемости БЭН различной степени тяжести у пациентов с ТИ ППИ тазобедренного сустава необходимы дальнейшие исследования по разработке методов коррекции нутриционного статуса и оценке их влияния на исходы санирующих операций.

Ключевые слова: трудноизлечимая инфекция, перипротезная инфекция, белково-энергетическая недостаточность, резекционная артропластика, тазобедренный сустав.

Introduction

Chronic prosthetic joint infection (PJI) is one of the serious complications of total joint arthroplasty. The worst treatment results are observed in infections caused by drug-resistant strains of bacteria [1, 2]. Lately, the so-called difficult-to-treat (DTT) infection has been defined as an infection caused by difficult-to-eradicate pathogens such as rifampicin-resistant staphylococci, ciprofloxacin-resistant gram-negative bacteria and *Candida* fungi [3]. Multiple attempts to eradicate this infection through

debridement surgery result in large bone defects. Resection arthroplasty of the hip coupled with a flap of vastus lateralis muscle filling the bone defect has been shown as an effective way to achieve the control of infection, particularly, in case of the DTT PJI and in some cases restore its function [4, 5]. This surgical approach improves the blood supply and the delivery of oxygen, leucocytes and antibiotics to the affected tissue which helps to eradicate pathogens responsible for the chronic infection decreasing the risk of PJI recurrence [6].

The imbalance of nutrients or protein-energy malnutrition (PEM) is one of the main causes of increased morbidity and mortality, reduced quality of life, increased frequency and length of hospital stay, and associated health care costs [7, 8]. PEM is a proven risk factor for the development of postoperative complications in orthopedics including patients who underwent arthroplasty of large joints as well as spinal surgery [9, 10, 11]. In addition, PEM not only negatively affects postoperative recovery and wound healing but also increases the risk of early and late surgical site infection [12]. The incidence of PEM in orthopedic patients requiring arthroplasty varies from 8.5% to 50% [13, 14, 15]. PEM has been shown both as a risk factor for the onset of prosthetic joint infection and a predictor of the infection recurrence after primary arthroplasty [16]. Surrogate markers of PEM such as total lymphocyte count, serum albumin and transferrin have been extensively used to assess the underlying nutritional status of patients [17, 18]. Increased risk of complications after total hip arthroplasty including the recurrence of PJI has been associated with hypoalbuminemia [19]. Low levels of albumin in combination with hemoglobin were also associated with the development of PJI [18].

The number of studies that have addressed the role of PEM in the development of PJI is limited. Most of them are hindered by heterogeneous cohorts without any discrimination between cases of primary and revision arthroplasty, or PJI and trauma-related surgery [15, 20]. Given this, we aimed to evaluate the prevalence of PEM in patients DTT PJI of the hip. In addition, the association of preoperative PEM with surgical complications requiring early postoperative revision after resection arthroplasty with a muscle flap or a cement spacer implantation was assessed.

Methods

The data for the study were retrieved from the records of the local PJI register covering the period of 2012–2018. The study was approved by the institutional review board. General informed consent was obtained as a part of the hospital admission.

Of all 132 patients included in the study, 57 were treated with a pedicled muscle flap after the removal of the endoprosthesis. Surgical debridement of the affected tissue was followed by subsequent transplantation of a vastus lateralis muscle flap of the femur retaining the vascular supply. Alternatively, the remaining 75 patients were treated with surgical debridement and installation of an antimicrobial cement spacer in place of the metal components.

The main inclusion criteria were chronic DTT PJI of the hip caused by rifampicin-resistant staphylococci, ciprofloxacin-resistant Gram-negative bacteria and/or Candida fungi. The main laboratory parameters which were taken for the evaluation of the nutritional status

included total lymphocyte count, hemoglobin, albumin and total protein. The cut-off values suggesting PEM were defined as follows: total lymphocyte count (TLC) at $<1.5 \times 10^9$ cells/L, hemoglobin at <12.0 g/dL, albumin at <3.5 g/dL and total protein at <6.5 g/dL. The severity of PEM was defined as the percentage of cases with one, two or three and more of these laboratory values below the cut-off level.

Postoperatively, all patients received intravenous antibiotic therapy followed by oral antibiotics for 6–8 weeks. The proportion of patients requiring revision surgery in the early postoperative period was evaluated regardless of the cause.

Statistic analysis

The data were analyzed using Statistica v10 (StatSoft, Russia) and GraphPad Prism v 9.0 (GraphPad, USA). Categorical variables are shown as percentages. They were evaluated using Fischer’s exact test. Odds ratios (OR) were calculated with respective confidence intervals (CI) at the confidence level of 95%. The P-value below 0.05 was considered as the indication of statistical significance.

Results

General characteristics of the cohort are depicted in Figure 1. Patients treated with a muscle flap had a longer median duration of PJI and a lower percentage of at least two episodes of infection recurrence before the hospital admission as compared to patients managed using two-stage revision with a cement spacer.

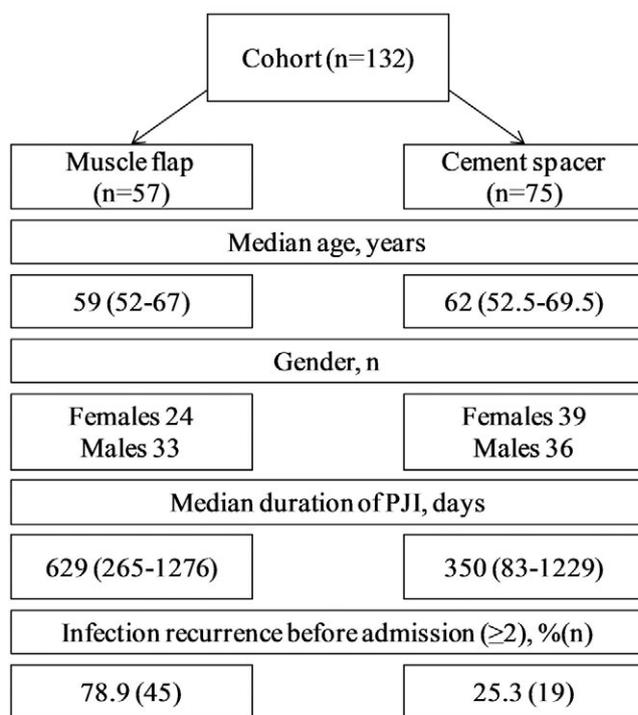


Fig. 1. General characteristics of the cohort

Рис. 1. Общая характеристика пациентов

Hypoalbuminemia and decreased hemoglobin were the most common markers of malnutrition in the cohort (Fig. 2).

Whereas the overall fraction of patients with one abnormal malnutrition marker was comparable to those without PEM in the muscle flap group but higher in the cement spacer group (Fig. 3).

Association of the advanced malnutrition (at least three abnormal markers) and post-operative complications requiring surgical revision was only statistically evident in the cement spacer group (Fig. 4, 5).

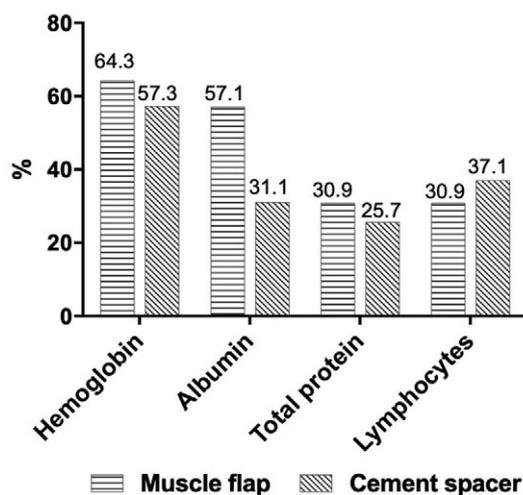


Fig. 2. Percentage of the decreased surrogate markers of protein-energy malnutrition in the cohort

Рис. 2. Доля пациентов со снижением уровня опорных показателей БЭН в группах сравнения

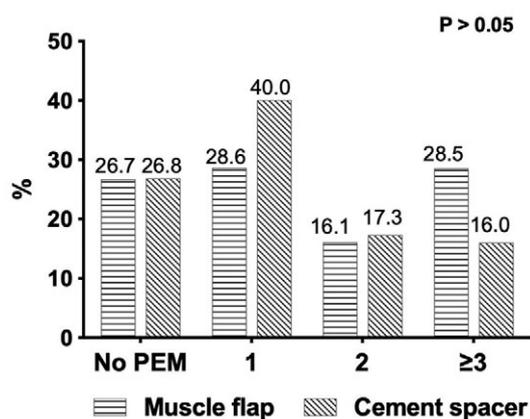


Fig. 3. Preoperative severity of the protein-energy malnutrition

Рис. 3. Частота встречаемости БЭН различной степени выраженности у пациентов групп сравнения

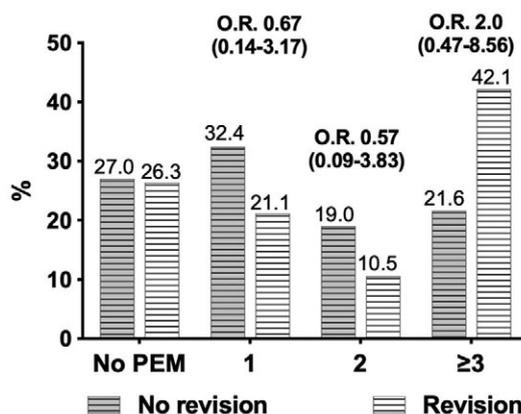


Fig. 4. Association of protein-energy malnutrition and revision surgery in the muscle flap group

Рис. 4. Влияние степени выраженности БЭН на течение раннего послеоперационного периода в группе мышечной пластики

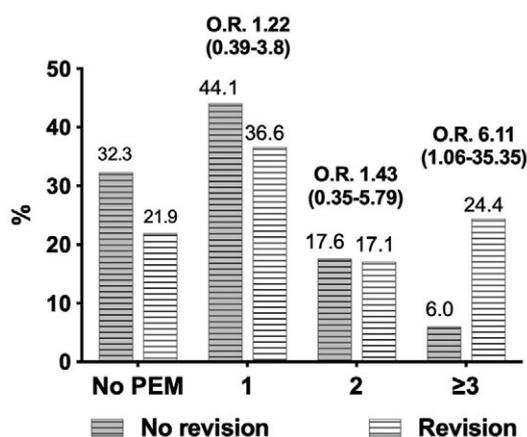


Fig. 5. Association of protein-energy malnutrition and revision surgery in the cement spacer group

Рис. 5. Влияние степени выраженности БЭН на течение раннего послеоперационного периода в группе антимикробного спейсера

Discussion

Despite the worse functional outcomes compared to the use of an antimicrobial spacer, resection arthroplasty of the hip joint using a vastus lateralis muscle flap is an effective procedure to achieve PJI control [4]. The cohort of patients in the present study has previously been assessed to compare the efficacy of resection arthroplasty with a muscle flap and a cement spacer implantation for treatment of DTT PJI [5]. In all patients with the muscle flap and cement spacer, the infection remission was achieved in 96.5% (n = 55) and 45.3% (n = 34) of cases, respectively. Late recurrence of PJI was only in 2.5% (n = 2) of cases with the muscle flap vs 26.7% (n = 20) of cases with a cement spacer. Thus, resection arthroplasty with a vastus lateralis muscle flap proved to be a strategy of choice for management of recurrent DTT PJI. In contrast, for this

study, the cohort was analyzed both for the prevalence of preoperative PEM and the association of PEM with early postoperative complications requiring revision.

The average preoperative prevalence of PEM in patients undergoing arthroplasty depending on the heterogeneity of the cohort has been widely reported at 8.5%, 12.3%, 53% and 80% [13, 15, 15, 20, 21]. At the time of hospital admission, most of our patients (>70%) had laboratory signs of PEM. It is well known that prolonged systemic inflammatory response due to the persistent infection eventually leads to the loss of muscle mass and function, which could itself be the manifestation of PEM [7, 8]. For instance, cases of revision arthroplasty due to septic complications had a higher rate of hypoalbuminemia as compared to aseptic cases [10]. Given this, it is feasible to assume that long-term chronic DTT PJI with multiple prior failed revisions could have been the primary reason for the impaired preoperative nutritional status of our patients. This would also explain the rather high prevalence of PEM in our study compared to previous reports. It is noteworthy to mention that the already abnormal nutritional status of patients at the time of hospital admission could have also been further aggravated by the surgery.

Several laboratory values have been considered as surrogate markers for the early diagnosis of PEM. For instance, albumin and hemoglobin have been shown as independent factors associated with PJI occurrence after primary elective THA [18]. Whereas albumin had the highest specificity and a positive predictive value compared to all other markers such as total lymphocyte count and transferrin. Other studies have also confirmed the association of hypoalbuminemia with complications of arthroplasty from surgical site infection to pneumonia, cardiovascular pathology, and urinary tract infection [9, 21, 22, 23]. Like the above reports, our findings showed low albumin and hemoglobin as the most prevalent (>50%) abnormal laboratory values.

Our previous study showed that in the early postoperative period, the only indication for the secondary revision in the spacer group (28%, n = 21) was the recurrence of the infection. Alternatively, main indications (35%, n = 20) for post-operative revision in the muscle flap group were necrosis of the flap (8.8%, n = 5), culture-negative hematomas (10.5%, n = 6), and recurrence of the infection including

wound dehiscence or prolonged wound drainage for more than 7 days (15.7%, n = 9) [5]. PEM was found to be associated with the prolonged surgical site discharge and subsequent deep infection which required additional treatment after elective total joint arthroplasty [16]. In our cohort, a decrease of 3 or more laboratory markers of PEM increased the risk of postoperative wound revision by 6 times in patients with a cement spacer (OR 6.11, CI95% 1.06–35.35, P<0.04) and 2 times in patients with a muscle flap (OR 2.0, CI95% 0.47–8.56, P = 0.35) (see Fig. 4, 5).

Due to the retrospective nature of our study, some medical records such as BMI index and a complete list of concomitant pathology were missing for a part of the cohort and thus were omitted from the analysis.

Enteral nutrition is a process of providing the patients with necessary supplements has been long regarded as a method of choice for PEM correction in general medicine and hip replacement in geriatric patients [24]. Unfortunately, due to the limited number of studies addressing potential benefits of PEM correction in orthopedic patients the exact guidelines for preventing early post-operative complications including PJI recurrence via nutritional supplementation before and after arthroplasty are yet to be established. In a clinical study of 162 cases of primary knee arthroplasty, it has been shown that patients with constant perioperative nutritional management had a lower number of postoperative complications such as wound drainage, hematomas, superficial and deep infection as well as the reduced number of albumin transfusions and a shorter hospital stay [25]. This suggests that implementing the protocols for hypoproteinemia correction before any major orthopedic surgery such as primary and revision arthroplasty including patients with PJI could improve its outcome.

Overall, both previous reports and our data show that malnutrition is associated with the occurrence of surgical site infection and relapse of PJI after revision arthroplasty. In particular, the risk of postoperative revision was significantly associated with multiple pathological markers of PEM in two-stage revision with a cement spacer but not with a muscle flap surgery. Considering the mounting evidence that malnutrition is a modifiable risk factor for PJI, more studies are required to demonstrate the efficacy of preoperative PEM correction.

Disclaimers

Authors' contributions

Bozhkova S.A. — research concept and design, data statistical processing, manuscript writing and editing.

Liventsov V.N. — data collection and analysis, manuscript writing.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Божкова С.А. — идея и дизайн исследования, написание и редактирование текста статьи, интерпретация полученных данных.

Ливенцов В.Н. — сбор, статистическая обработка данных, интерпретация полученных данных, написание текста статьи.

Tikhilov R.M. — research concept and design.

Carlo L. Romano — research concept and design, final manuscript editing.

Kochish A.Yu. — research concept and design.

Labutin D.V. — data statistical processing, manuscript writing.

Artyukh V.A. — treatment the patients, manuscript editing.

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

Funding source. The funding was provided by the Ministry of the Russian Federation grant No121041300195-3 «Experimental validation and clinical assessment of the approaches towards increasing the effectiveness of complex treatment of patients with periprosthetic infection».

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

References

- Wimmer M.D., Hischebeth G.T.R., Randau T.M., Gathen M., Schildberg F.A., Fröschen F.S. et al. Difficult-to-treat pathogens significantly reduce infection resolution in periprosthetic joint infections. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2020;98(2):115114. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115114.
- Giulieri S.G., Graber P., Ochsner P.E., Zimmerli W. Management of Infection Associated with Total Hip Arthroplasty according to a Treatment Algorithm. *Infection.* 2004;32(4):222-228. doi: 10.1007/s15010-004-4020-1.
- Винклер Т., Трампуш А., Ренц Н., Перка К., Божкова С.А. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016;(1):33-45. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45.
- Winkler T., Trampuz A., Renz N., Perka C., Bozhkova S.A. Classification and algorithm for diagnosis and treatment of hip prosthetic joint infection. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2016;22(1):33-45. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45.
- Suda A.J., Heppert V. Vastus lateralis muscle flap for infected hips after resection arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(12):1654-1658. doi: 10.1302/0301-620X.92B12.25212.
- Ливенцов В.Н., Божкова С.А., Кочиш А.Ю., Артюх В.А., Разоренов В.Л., Лабути Д.В. Трудноизлечимая ППИ тазобедренного сустава: результаты saniрующих операций. *Травматология и ортопедия России.* 2019; 25(4):88-97. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-88-97.
- Liventsov V.N., Bozhkova S.A., Kochish A.Y., Artyukh V.A., Razorenov V.L., Labutin D.V. Difficult-To-Treat Periprosthetic Hip Infection: Outcomes of Debridement. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(4):88-97. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-88-97.
- Тихилов Р.М. — концепция и дизайн исследования.
- Романо К.Л. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста статьи на английском языке.
- Кочиш А.Ю. — концепция и дизайн исследования.
- Лабути Д.В. — статистическая обработка данных, написание текста статьи.
- Артюх В.А. — ведение прооперированных больных, 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.** Государственное задание № 056-00123-21-00, тема № 4 «Экспериментальное обоснование и клиническая оценка путей повышения эффективности комплексного лечения пациентов с перипротезной инфекцией».
- Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
- Этическая экспертиза.** Не применима.
- Информированное согласие.** Не требуется.
- Choa R., Gundle R., Critchley P., Giele H. Successful management of recalcitrant infection related to total hip replacement using pedicled rectus femoris or vastus lateralis muscle flaps. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(6):751-754. doi: 10.1302/0301-620X.93B6.25726.
- Jensen G.L., Bistran B., Roubenoff R., Heimburger D.C. Malnutrition Syndromes: A Conundrum vs Continuum. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2009;33(6):710-716. doi: 10.1177/0148607109344724.
- Jensen G.L., Mirtallo J., Compher C., Dhaliwal R., Forbes A., Figueredo Grijalba R. et al. Adult starvation and disease-related malnutrition: A proposal for etiology-based diagnosis in the clinical practice setting from the International Consensus Guideline Committee. *Clin Nutr.* 2010;29(2):151-153. doi: 10.1016/j.clnu.2009.11.010.
- Walls J.D., Abraham D., Nelson C.L., Kamath A.F., Elkassabany N.M., Liu J. Hypoalbuminemia More Than Morbid Obesity is an Independent Predictor of Complications After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2015;30(12):2290-2295. doi: 10.1016/j.arth.2015.06.003.
- Bohl D.D., Shen M.R., Kayupov E., Cvetanovich G.L., Della Valle C.J. Is Hypoalbuminemia Associated With Septic Failure and Acute Infection After Revision Total Joint Arthroplasty? A Study of 4517 Patients From the National Surgical Quality Improvement Program. *J Arthroplasty.* 2016;31(5):963-967. doi: 10.1016/j.arth.2015.11.025.
- Adogwa O., Martin J.R., Huang K., Verla T., Fatemi P., Thompson P. et al. Preoperative Serum Albumin Level as a Predictor of Postoperative Complication After Spine Fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(18):1513-1519. doi: 10.1097/BRS.0000000000000450.
- Yu P.-J., Cassiere H.A., Dellis S.L., Manetta F., Kohn N., Hartman A.R. Impact of Preoperative Prealbumin on Outcomes After Cardiac Surgery. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2015;39(7):870-874. doi: 10.1177/0148607114536735.

13. Rai J., Gill S.S., Kumar B.R.J.S. The influence of preoperative nutritional status in wound healing after replacement arthroplasty. *Orthopedics*. 2002;25(4):417-421.
14. Schwarzkopf R., Russell T.A., Shea M., Slover J.D. Correlation between nutritional status and Staphylococcus colonization in hip and knee replacement patients. *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 2011;69(4):308-311.
15. Huang R., Greenky M., Kerr G.J., Austin M.S., Parvizi J. The Effect of Malnutrition on Patients Undergoing Elective Joint Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2013;28(8 Suppl):21-24. doi: 10.1016/j.arth.2013.05.038.
16. Jaber F.M., Parvizi J., Bs C.T.H., Joshi A., Purtill J. Procrastination of wound drainage and malnutrition affect the outcome of joint arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(6):1368-1371. doi: 10.1007/s11999-008-0214-7.
17. Cross M.B., Yi P.H., Thomas C.F., Garcia J., Della Valle C.J. Evaluation of malnutrition in orthopaedic surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(3):193-199. doi: 10.5435/JAAOS-22-03-193.
18. Blevins K., Aalirezaie A., Shohat N., Parvizi J. Malnutrition and the Development of Periprosthetic Joint Infection in Patients Undergoing Primary Elective Total Joint Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018;33(9):2971-2975. doi: 10.1016/j.arth.2018.04.027.
19. Rynecki N.D., Congiusta D.V., Fields M., Patel R., Vobikian M.M., Ahmed I.H. Increased risk of complications in patients with hypoalbuminemia undergoing revision total hip arthroplasty. *J Orthop*. 2020;21:253-257. doi: 10.1016/j.jor.2020.03.006.
20. Yi P.H., Frank R.M., Vann E., Sonn K.A., Moric M., Della Valle C.J. Is Potential Malnutrition Associated With Septic Failure and Acute Infection After Revision Total Joint Arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(1):175-182. doi: 10.1007/s11999-014-3685-8.
21. Eminovic S., Vincze G., Eglseer D., Riedl R., Sadoghi P., Leithner A. et al. Malnutrition as predictor of poor outcome after total hip arthroplasty. *Int Orthop*. 2021;45(1):51-56. doi: 10.1007/s00264-020-04892-4.
22. Kamath A.F., McAuliffe C.L., Kosseim L.M., Pio F., Hume E. Malnutrition in Joint Arthroplasty: Prospective Study Indicates Risk of Unplanned ICU Admission. *Arch Bone Jt Surg*. 2016;4(2):128-131.
23. Tsantes A.G., Papadopoulos D.V., Lytras T., Tsantes A.E., Mavrogenis A.F., Korompilias A.V. et al. Association of malnutrition with periprosthetic joint and surgical site infections after total joint arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Hosp Infect*. 2019;103(1):69-77. doi: 10.1016/j.jhin.2019.04.020.
24. Volkert D., Berner Y.N., Berry E., Cederholm T., Coti Bertrand P., Milne A. et al. ESPEN Guidelines on Enteral Nutrition: Geriatrics. *Clin Nutr*. 2006;25(2):330-360. doi: 10.1016/j.clnu.2006.01.012.
25. Cao G., Huang Q., Xu B., Huang Z., Xie J., Pei F. Multimodal Nutritional Management in Primary Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *J Arthroplasty*. 2017;32(11):3390-3395. doi: 10.1016/j.arth.2017.06.020.

Authors' information

✉ Vitaly N. Liventsov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-8748-2134>
e-mail: vnliventsov@yandex.ru

Svetlana A. Bozhkova — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

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

Carlo L. Romano — MD, PhD, Professor
<https://orcid.org/0000-0001-6726-0593>
e-mail: info@carlolucaromano.com

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

Dmitry V. Labutin
<https://orcid.org/0000-0002-4405-7688>
e-mail: mailbox@dlabutin.com

Vasily A. Artyukh — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>
e-mail: artyukhva@mail.ru

Сведения об авторах

✉ Ливенцов Виталий Николаевич — канд. мед. наук, заместитель главного врача
Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8
<https://orcid.org/0000-0001-8748-2134>
e-mail: vnliventsov@yandex.ru

Божкова Светлана Анатольевна — д-р мед. наук, заведующая научным отделением
<https://orcid.org/0000-0002-2083-2424>
e-mail: clinpharm-rniito@yandex.ru

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

Романо К.Л. — доктор медицины, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-6726-0593>
e-mail: info@carlolucaromano.com

Кочиш Александр Юрьевич — д-р мед. наук, профессор, ¹ заместитель директора; ³ профессор кафедры
<https://orcid.org/0000-0002-2466-7120>
e-mail: auk1959@mail.ru

Лабутин Дмитрий Владимирович — младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-4405-7688>
e-mail: mailbox@dlabutin.com

Артыух Василий Алексеевич — канд. мед. наук, заведующий отделением
<https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>
e-mail: artyukhva@mail.ru



Применение ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса: ближайшие результаты

П.И. Бортулёв¹, С.В. Виссарионов^{1,2}, Т.В. Баскаева¹, Д.Б. Барсуков¹, И.Ю. Поздникин¹, Т.В. Мурашко¹, В.Е. Басков¹, М.С. Познович¹

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

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

Цель работы — оценить ближайшие результаты применения ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса. **Материал и методы.** Исследование основано на результатах комплексного обследования 10 пациентов (10 тазобедренных суставов) в среднем возрасте $7,2 \pm 0,7$ лет. Всем детям для стабилизации сустава и соблюдения принципа “containment therapy” была выполнена тройная остеотомия таза, которая была дополнена трансфизарной имплантацией ортопедического электрета. В послеоперационном периоде оценивали выраженность болевого синдрома по ВАШ, амплитуду движений, выполняли рентгенометрию строения и стабильность тазобедренного сустава, УЗИ, МСКТ и МРТ тазобедренных суставов. **Результаты.** Анкетирование по ВАШ свидетельствовало о наличии умеренно выраженного болевого синдрома уже на 3-и сутки послеоперационного периода с его полным купированием к 7-м суткам. УЗИ показало отсутствие синовита, а гониометрия — достижение физиологических показателей сгибания и отведения к окончанию срока госпитализации. По данным лучевых методов исследования, у всех пациентов был устранен подвывих с восстановлением стабильности тазобедренного сустава, значительное улучшение формы головки бедренной кости с формированием ее единого костного контура. Величина объема костной части головки увеличилась на 15–35% ($2\text{--}3\text{ см}^3$) от исходной. Также значительно улучшилась форма хрящевой модели с полным отсутствием очага некроза в головке бедренной кости, положение *labrum acetabulum* приблизилось к физиологическому. **Заключение.** Применение ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса групп III–IV по Catterall и подвывихом бедра позволяет купировать болевой синдром и проявления синовита в ранние сроки после операции за счет противовоспалительного эффекта, начать восстановительное лечение с достижением физиологической амплитуды движений в тазобедренном суставе в ближайшем послеоперационном периоде. Остеорепаративный эффект электростатического поля электрета приводит к увеличению объема новообразованной костной ткани головки бедра и уменьшению зоны ее дефекта или отсутствию компрессии центральной части эпифиза с дифференцировкой начальных элементов трабекулярного рисунка в сравнении с гомогенной высокоинтенсивной структурой головки бедренной кости.

Ключевые слова: дети, болезнь Пертеса, подвывих бедра, тройная остеотомия таза, ортопедический электрет.

Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Баскаева Т.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Мурашко Т.В., Басков В.Е., Познович М.С. Применение ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса: ближайшие результаты. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):46–57. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1726>.

Cite as: Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskaeva T.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Murashko T.V., Baskov V.E., Poznovich M.S. [The Use of Electret In the Surgical Treatment of Children With Perthes Disease: Early Outcomes]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):46–57. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1726>.

Бортулёв Павел Игоревич / Pavel I. Bortulev; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Рукопись получена: 12.01.2022. Рукопись одобрена: 14.02.2022. Статья опубликована онлайн: 16.02.2022.
 Submitted: 12.01.2022. Accepted: 14.02.2022. Published Online: 16.02.2022.

The Use of Electret In the Surgical Treatment of Children With Perthes Disease: Early Outcomes

Pavel I. Bortulev¹, Sergei V. Vissarionov^{1,2}, Tamila V. Baskaeva¹, Dmitriy B. Barsukov¹, Ivan Yu. Pozdnykin¹, Tatyana V. Murashko¹, Vladimir E. Baskov¹, Makhmud S. Poznovich¹

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

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

The study aimed to evaluate the immediate results of the use of electret in the surgical treatment of children with Perthes disease. **Material and Methods.** The study was based on the results of a comprehensive examination of 10 patients (10 hip joints; average age, 7.2±0.7 years). To stabilize the joint and comply with the principle of "containment therapy," all children underwent triple pelvic osteotomy, which was supplemented by a transphyseal implantation electret. Postoperatively, all patients were evaluated for the severity of pain syndrome and amplitude of movements and underwent ultrasonography, radiometry of the main indicators of the structure and stability of the hip joint, computed tomography, and magnetic resonance imaging of the hip joints. **Results.** The visual analog scale questionnaire indicated the presence of a moderately pronounced pain syndrome on postoperative day 3, with its complete relief by day 7. Ultrasound studies showed the absence of synovitis, and goniometry revealed the achievement of physiological indicators of flexion and abduction to the end of the hospitalization period. According to the radiation methods, all patients had elimination of subluxation with the restoration of hip joint stability and a significant improvement in the shape of the femoral head with the appearance of its single bone contour. The volume of the bone part of the femoral head increased by 15%–35% from the original, and there was a significant improvement in the shape of the cartilaginous model with the complete absence of a necrosis focus in the femoral head, close to the physiological position of the labrum acetabulum. **Conclusion.** The use of electret in the surgical treatment of children with Perthes disease in Catterall groups III–IV and hip subluxation due to the anti-inflammatory effect makes it possible to alleviate pain syndrome and manifestations of synovitis early after surgery and to begin rehabilitation treatment with the achievement of the physiological amplitude of movements in the hip joint in the immediate postoperative period. The osteoreparative effect of the electrostatic electret field alone or in combination with anti-inflammatory treatment increased the volume of the newly formed bone tissues of the femoral head with a decrease in the area of its defect or disappearance of compression of the central part of the epiphysis with the differentiation of the initial elements of the trabecular pattern, in comparison with the homogeneous high-intensity structure of the femoral head.

Keywords: children, Perthes disease, hip subluxation, triple pelvic osteotomy, orthopedic electret.

Введение

В настоящее время болезнь Пертеса остается одной из наиболее тяжелых и сложных с точки зрения лечения заболеваний тазобедренного сустава у детей. Частота встречаемости данной патологии составляет от 0,4 до 29,0 на 100 000 детей с пиком заболевания от 4 до 8 лет [1, 2, 3]. В патогенезе заболевания лежит нарушение артериальной перфузии проксимального эпифиза бедренной кости с его последующим инфарктом и формированием очага некроза с различным объемом поражения головки бедренной кости [4, 5]. Естественное течение болезни Пертеса у детей в III–IV группах по классификации Catterall [6] приводит к деформации головки бедренной кости с формированием экзтрузионного подвывиха последней. При такой лучевой картине заболевания адекватным методом лечения является хирургический — "primary surgical containment". Одной из наиболее распространенных методик опера-

тивного лечения, позволяющей стабилизировать тазобедренный сустав и значительно улучшить форму проксимального эпифиза бедренной кости, является тройная остеотомия таза. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что отсутствуют исследования, позволяющие оценить течение процессов ревитализации очага некроза в головке бедренной кости.

На сегодняшний день с целью сокращения сроков восстановления формы и структуры проксимального эпифиза бедренной кости широко применяются такие методы консервативного лечения, как физиотерапия (различные виды электрофореза, лазеро- и магнитотерапия), однако их эффективность остается недоказанной. Также в последнее время установлено, что электрические поля служат эффективным инструментом контроля и регулирования клеточного и тканевого гомеостаза, а электрические потенциалы играют важную роль в пролиферации, миграции

и ремоделировании костных клеток [7]. Однако все имеющиеся электростимуляторы функционируют от внешних источников питания, что в значительной степени ограничивает их применение в связи с вызываемыми неудобствами и отсутствием возможности их длительного использования. В последние годы появляются данные о методиках стимуляции позитивных биологических процессов в организме человека близкодействующими статическими электрическими полями, созданными автономно функционирующими электретами [8]. Электреты — электрические аналоги постоянных магнитов, физика работы которых основана на достаточно сложных явлениях, лежащих в основе так называемого электретного состояния диэлектриков [9]. Электреты относятся к классу активных диэлектриков и представляют собой материалы, способные после снятия внешнего воздействия сохранять длительное время (месяцы и даже годы) остаточную поляризацию и генерировать сравнительно сильное (до 106 В/м) квазистатическое (медленно меняющееся во времени) электрическое поле. Наряду с наличием поля электреты обладают весьма слабым электрическим током (плотность 10–14 А/мм²), который течет по градиенту напряжения поля. Этот ток, многократно возрастающий при нагревании электрета, называют термостимулированным током (ТСТ). Совокупность проявлений электрета (электрическое поле и ТСТ) называют электретным эффектом. В настоящее время в литературе имеются публикации, сообщающие об успешных результатах лечения взрослых пациентов с остеоартрозом суставов нижних конечностей с применением ортопедического электрета [10, 11, 12, 13]. Исследования, касающиеся эффективности применения электретов в хирургическом лечении ортопедических заболеваний тазобедренного сустава у детей, в нашей стране носят единичный характер.

Цель исследования — оценить ближайшие результаты применения ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса.

Материал и методы

Дизайн исследования

Выполнено моноцентровое открытое когортное проспективное исследование (STROBE).

Критериями включения пациентов в исследование являлись: возраст детей от 6 до 8 лет, наличие подвывиха бедра, субтотальное или то-

тальное поражение эпифиза (группы Catterall III–IV), стадия фрагментации головки бедренной кости, отсутствие в анамнезе хирургических вмешательств на тазобедренном суставе, отсутствие неврологических нарушений со стороны нижних конечностей, системных и генетических заболеваний, добровольное информированное согласие пациентов и их родителей на участие в данном исследовании.

Критерии исключения: возраст менее 6 и старше 8 лет; поражение эпифиза бедренной кости, соответствующее группам Catterall I–II; отсутствие нестабильности тазобедренного сустава; стадия остеонекроза, импрессионного перелома или восстановления; наличие подтвержденных неврологических, системных и генетических заболеваний.

Пациенты

В исследование вошли 10 пациентов (10 тазобедренных суставов) в возрасте от 6 до 8 ($7,2 \pm 0,7$) лет с болезнью Пертеса в стадии фрагментации с поражением эпифиза бедренной кости, соответствующим группам Catterall III–IV, и наличием экстрюзийного подвывиха бедра. Пациентов мужского пола было 8 (80%), женского — 2 (20%). Всем детям после установления диагноза проводили консервативное лечение по месту жительства без соблюдения принципа “containment therapy” — центрации головки бедренной кости в вертлужной впадине при коэффициенте костного покрытия равного 100%. В связи с этим у всех пациентов сформировалась нестабильность тазобедренного сустава на стороне поражения в виде подвывиха бедра, который требовал хирургического лечения. Целью вмешательства являлось восстановление стабильности сустава с созданием условий для формирования сферичности головки бедренной кости и конгруэнтности суставных поверхностей тазобедренного сустава в целом.

Хирургическая техника

В качестве методики хирургического лечения была выбрана тройная остеотомия таза, которая была дополнена имплантацией ортопедического электрета «Имплантат электретный стимулятор остеорепарации — ИМПЛЭСО» (ООО «Медэл», Россия) в шейку и головку бедренной кости таким образом, что проксимальная его часть была трансфизарно подведена максимально близко к очагу некроза в головке бедренной кости (рис. 1).



Рис. 1. Послеоперационные рентгенограммы пациентки 2015 г.р.:

a – в переднезадней проекции;

b – в аксиальной проекции.

Проксимальная часть ортопедического электрета подведена через шейку бедренной кости трансфизарно максимально близко к очагу некроза в головке

Fig. 1. Postoperative X-ray images of the patient, born in 2015:

a – AP projection;

b – axial projection.

The proximal part of the orthopedic electret is brought through the neck of the femur physis to the focus of head necrosis as close as possible

Методы исследования

Клиническое исследование заключалось в классической методике осмотра пациентов с ортопедической патологией тазобедренных суставов. Предоперационное комплексное обследование включало УЗИ и рентгенографию тазобедренных суставов в переднезадней и аксиальной проекциях, а также в положении отведения и внутренней ротации нижних конечностей с целью оценки центрации головки бедренной кости в вертлужной впадине и исключения симптома “hinge adduction”, МСКТ и МРТ тазобедренных суставов. Рентгенографию проводили на аппарате Philips Digital Diagnost, МСКТ – на мультисрезовом томографе Philips CT Brilliance 64, МРТ – на аппарате Philips Ingenia Elition 3.0T X.

В послеоперационном периоде обследование включало оценку выраженности болевого синдрома по шкале ВАШ на 3-и, 7-е и 14-е сут. после вмешательства, амплитуды движений – на 7-е и 14-е сут., УЗИ тазобедренных суставов на 3-и, 7-е и 14-е сут., рентгенографии тазобедренных суставов в переднезадней и аксиальной проекциях, МСКТ и МРТ через 6 мес. после операции. По результатам УЗИ оценивали наличие и выраженность синовита тазобедренного сустава. На основании рентгенограмм проводили рентгенометрию основных показателей анатомического строения и стабильности тазобедренного сустава (углы Sharp и Wiberg, шеечно-диафизарный угол, угол антеторсии проксимального отдела бедренной кости, степени костного покрытия (СКП). По данным МСКТ осуществляли оценку формы, размеров и структуры головки бедренной кости с помощью объемных и мультипланарных реконструкций с применением методик сегментации ткани (картирование цветом пораженной головки) с измерением ее объема, а также проводили оценку денситометрических показателей плотности головки бедренной кости с использованием методики гистрограммы выделенного объема исследуемой зоны. По данным МРТ оценивали форму хрящевых моделей головки бедренной кости и вертлужной впадины.

Статистический анализ

Статистический анализ проводили при помощи программ Excel 2010 и SPSS Statistics v. 26. С помощью описательной статистики рассчитывали средние арифметические величины (M), стандартные отклонения (SD), медиану (Me) с 25-м и 75-м процентиллями (Q1–Q3). Внутригрупповой анализ проводился посредством критерия Вилкоксона.

Результаты

При поступлении на стационарное лечение в отделение патологии тазобедренного сустава основной жалобой пациентов было ограничение движений в тазобедренном суставе, которое характеризовалось типичными для данного заболевания нарушениями амплитуды отведения и внутренней ротации в тазобедренном суставе (табл. 1).

Таблица 1

Амплитуда движений в тазобедренных суставах у пациентов до операции, град.

Движение	Амплитуда (M±SD) / Me (Q1–Q3)
Сгибание	109,0±5,7 / 110 (105–115)
Отведение	13,6±3,2 / 15 (10–15)
Внутренняя ротация	12,7±4,1 / 15 (10–15)
Наружная ротация	44,0±7,4 / 45 (40–50)

Как видно из таблицы 1, функционально значимых изменений в показателях амплитуды сгибания и наружной ротации не было верифицировано. Тест Thomas имел отрицательный характер у всех пациентов.

Проведенное УЗИ тазобедренных суставов выявило, что у 9 (90%) пациентов до операции имело место расширение капсульно-шеечного пространства по сравнению с контралатеральным здоровым суставом, средняя величина которого составила

2,5±0,4 мм. Полученные данные свидетельствовали о наличии умеренно выраженного синовита тазо-

бедренного сустава. Результаты рентгенологического исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение рентгеноанатомических показателей тазобедренного сустава у детей с болезнью Пертеса до операции с нормативными показателями

Показатель	Пациенты с болезнью Пертеса (M±SD) / Me (Q1–Q3)	Нормативные показатели у здоровых детей (Камоско М.М. [14])
Угол Sharp, град.	51,1±2,7 / 49,1 (48,0–52,8)	35–45
Угол Wiberg, град.	9,9±4,1 / 11 (5,5–13,0)	25–40
ШДУ, град.	141,5±5,3 / 141,5 (138,3–145,0)	125–145
УА, град.	15,3±2 / 15 (13,3–16,0)	10–30
СКП, %	58,3±7,0 / 57,5 (51,3–64,5)	85–100

Установлено, что у пациентов с болезнью Пертеса имело место умеренно выраженное превышение верхней границы нормальных значений угла наклона вертлужной впадины во фронтальной плоскости, что может быть обусловлено экстрозионным подвывихом бедра. Об этом свидетельствуют патологические значения угла Wiberg и СКП с наличием участка локальной гиперпрессии суставных поверхностей в верхне-латеральном отделе и формированием вторичной деформации вертлужной впадины. Значения ШДУ и УА находились в пределах физиологической нормы.

Результаты МСКТ тазобедренных суставов показали, что у всех пациентов при первичных исследованиях наблюдалось тотальное поражение головки бедренной кости с частичным сохранением краевых поверхностей эпифиза. Измерение зоны субхондрального некроза производили при оцен-

ке высоты латеральной, центральной и медиальной частей головки. Тотальное снижение высоты центральной части наблюдалось у 30% пациентов, субтотальное — у 70%. Денситометрические характеристики плотности фрагментированной головки бедренной кости по данным гистограммы показали повышенную минерализацию в среднем на 81,8±15,9 ед. Хаундсфилда (НУ) по сравнению со здоровой головкой бедренной кости (рис. 2).

По данным проведенной МРТ, у всех пациентов отмечалась деформация хрящевой модели проксимального эпифиза бедренной кости и *labrum acetabulum* (рис. 3). Последняя, на наш взгляд, возникала за счет формирующейся *соха magna* и подвывиха бедра.

Выраженность болевого синдрома в послеоперационном периоде по результатам анкетирования пациентов представлена на рисунке 4.

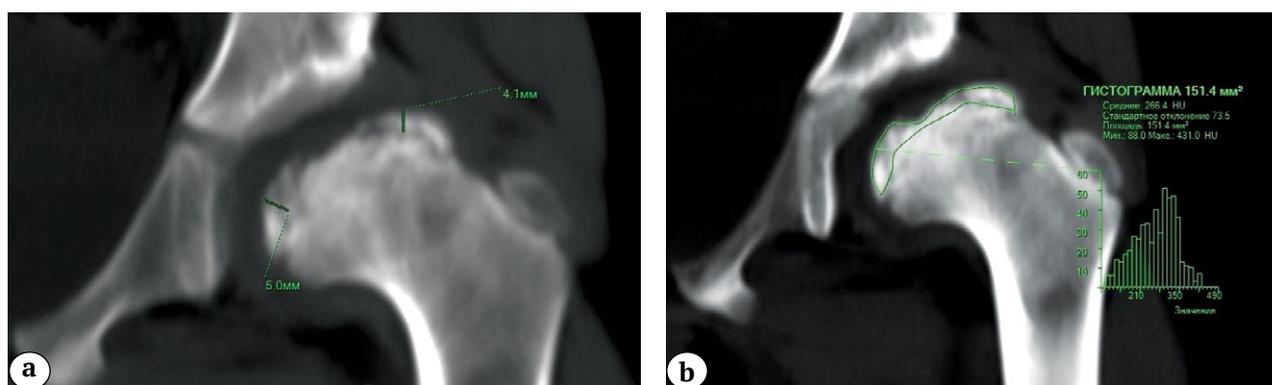


Рис. 2. МСКТ тазобедренных суставов у пациента с болезнью Пертеса (Catterall IV) и подвывихом бедра: а — методика измерения зоны субхондрального некроза; б — оценка денситометрических показателей плотности головки бедренной кости с использованием гистограммы выделенного объема исследуемой зоны

Fig. 2. Computed tomography of the hip in a patient with Perthes disease (Catterall IV) and hip subluxation: а — method of measuring the zone of subchondral necrosis; б — assessment of femoral head density using the histogram technique of the allocated volume of the studied zone

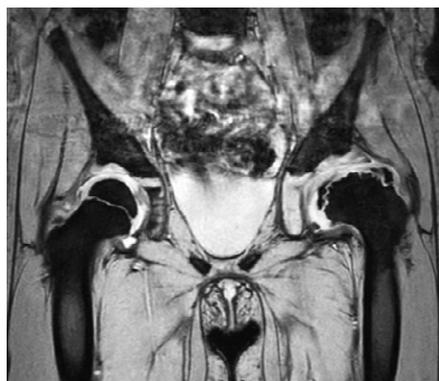


Рис. 3. МРТ пациентки 2015 г.р. с диагнозом болезнь Пертеса в стадии фрагментации с тотальным поражением головки бедренной кости (Catterall IV) и подвывихом бедра (пояснения в тексте)

Fig. 3. Magnetic resonance imaging of a patient, born in 2015, with the diagnosis of Perthes disease in the stage of fragmentation with total lesion of the femoral head (Catterall IV) and hip subluxation (explanations in the text)

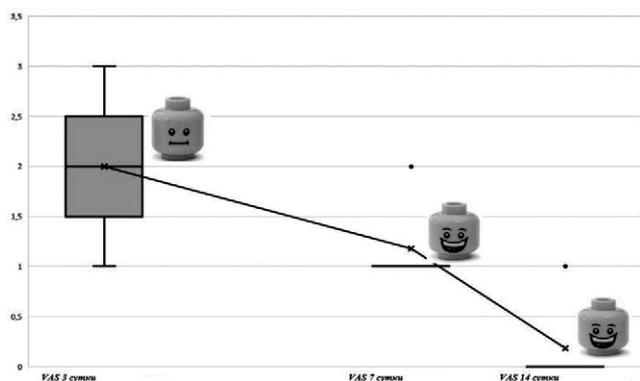


Рис. 4. Выраженность болевого синдрома по ВАШ на 3-и, 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода

Fig. 4. Severity of pain syndrome in patients according to the visual analog scale on postoperative days 3, 7, and 14

Максимальная интенсивность болевого синдрома на 3-и сутки после выполнения тройной остеотомии таза в сочетании с имплантацией ортопедического электрета составила 3 балла, что соответствует умеренной боли. В дальнейшем, к 7-м суткам, лишь у одного из 10 пациентов болевой синдром соответствовал 2 баллам по ВАШ. На 14-е сутки болевые ощущения полностью купировались у всех детей. Отсутствие выраженного болевого синдрома позволило начать раннее восстановительное лечение по разработанным в клинике методикам [15], что, в свою очередь, позволило достичь практически физиологической амплитуды сгибания и отведения к моменту выписки пациентов (табл. 3).

Таблица 3

Амплитуда движений в тазобедренных суставах на 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода, град.

Движение	7-е сутки (M±SD) Me (Q1–Q3)	14-е сутки (M±SD) Me (Q1–Q3)
Сгибание	88,5±4,7 90 (85,0–91,3)	105,0±4,7 105 (100–110)
Отведение	23,0±3,5 22,5 (20–25)	28,0±2,6 30 (25–30)

Проведенное на 3-и сутки после операции УЗИ тазобедренных суставов выявило расширение капсульно-шеечного пространства, величина которого составила 1,4 мм по сравнению со здоровым суставом только у 1 (10%) пациента. Результаты проведенного через 6 мес. анализа рентгеноанатомического строения тазового и бедренного компонентов сустава, а также его стабильности представлены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение рентгеноанатомических показателей тазобедренного сустава у детей с болезнью Пертеса через 6 месяцев после операции с нормативными показателями

Показатель	Пациенты с болезнью Пертеса (M±SD) Me (Q1–Q3)	Нормативные показатели у здоровых детей (Камоско М.М. [14])
Угол Sharp, град.	34,0±3,3 34,0 (30,8–35,5)	35–45
Угол Wiberg, град.	35,4±4,0 36,0 (32,0–38,5)	25–40
ШДУ, град.	141,5±5,3 141,5 (138,3–145,0)	125–145
УА, град.	15,3±2,0 15 (13,3–16,0)	10–30
СКП, %	98,5±2,4 100 (95–100)	85–100

Из таблицы 4 видно, что у всех пациентов произошла ликвидация подвывиха с восстановлением стабильности тазобедренного сустава, о чем свидетельствуют претерпевшие изменения показатели углов Sharp, Wiberg, а также СКП ($p < 0,05$). Умеренно выраженное превышение нижней

границы нормальных значений угла Sharp объясняется необходимостью большего интраоперационного латерального наклона вертлужной впадины, чем у детей с дисплазией тазобедренных суставов в связи с наличием разрушенной латеральной колонны головки бедренной кости и формирующейся *coxa magna*, а также ее исходно меньшей деформацией. Результаты проведенной МСКТ показали, что структура костной ткани головки бедренной кости в динамике позволяла дифференцировать начальные элементы трабекулярного рисунка в сравнении с гомогенной высокоинтенсивной структурой головки исходно, а денситометрические характеристики плотности головки бедренной кости, по данным гистограммы, стали приближаться к значениям на контралатеральном

проксимальном эпифизе. У всех пациентов при контрольном исследовании отмечалось восстановление формы головки в виде как увеличения размеров боковых частей (преимущественно латеральной), так и уменьшения зоны дефекта головки или отсутствия компрессии центральной части эпифиза — значительное улучшение формы головки бедренной кости с возникновением ее единого костного контура. При волюметрии объем костной части головки увеличился на 15–35% (2–3 см³) от исходных значений (рис. 5).

Проведенная МРТ показала значительное улучшение формы хрящевой модели и отсутствие очага некроза в головке бедренной кости, а также приближенное к физиологическому положение *labrum acetabulum* (рис. 6).

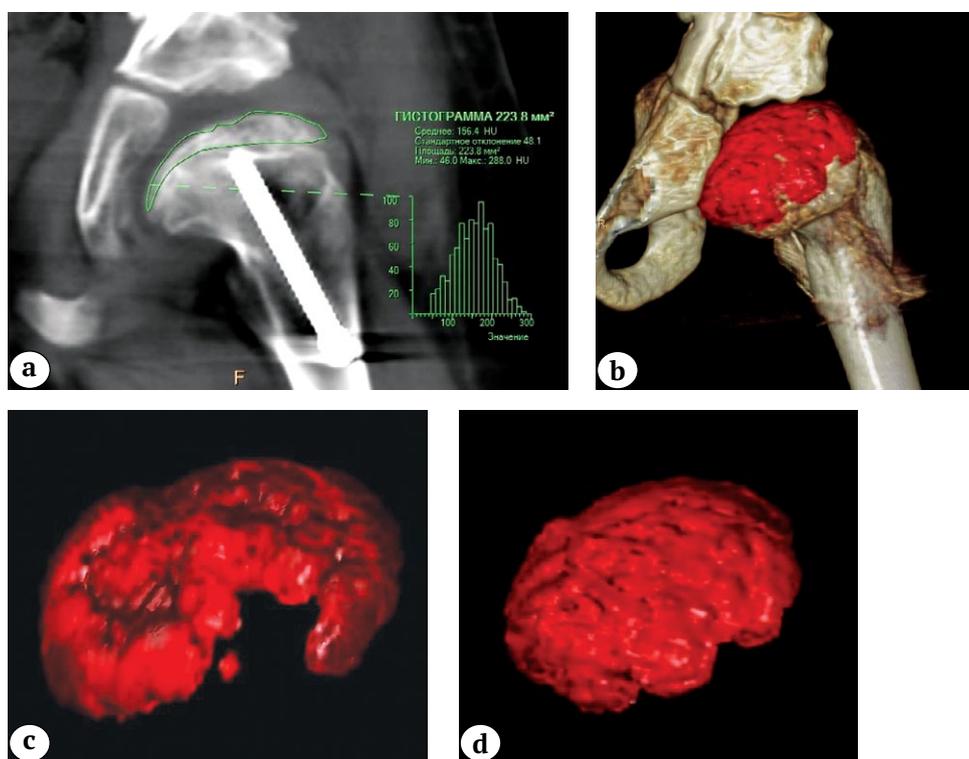


Рис. 5. МСКТ тазобедренного сустава с применением методик объемных и мультипланарных реконструкций и сегментации ткани (картирование цветом пораженной головки) с измерением ее объема: а — оценка денситометрических показателей плотности головки бедренной кости с использованием методики гистограммы выделенного объема исследуемой зоны; б — измерение объема пораженной головки методом мультипланарной реконструкции с картирование цветом; в — измерение объема костной массы пораженной головки до операции; г — через 6 мес. после хирургического лечения

Fig. 5. Computed tomography of the hip: volumetric and multiplanar reconstructions and tissue segmentation (color mapping of the affected head) with the measurement of its volume: а — assessment of the densitometric parameters of the femoral head density using the histogram technique of the selected volume of the area under study; б — measurement of the volume of the affected head by multiplanar reconstruction with color mapping; в — measurement of the bone mass volume of the affected head before surgery; г — 6 months after surgery



Рис. 6. МРТ-картина хрящевых моделей головки бедренной кости и вертлужной впадины через 6 мес. после проведенного хирургического лечения (пояснения в тексте)

Fig. 6. Magnetic resonance imaging of cartilaginous models of the femoral head and acetabulum 6 months after surgery (explanations in the text)

Обсуждение

В основу современного лечения пациентов с болезнью Пертеса положен принцип “containment therapy”, заключающийся в погружении головки бедренной кости в вертлужную впадину с обеспечением степени костного покрытия, равной единице, что позволяет улучшить форму головки бедренной кости и тем самым отсрочить развитие коксартроза [16]. Хирургическое лечение в подавляющем большинстве случаев требуется детям старше 6 лет с тотальным или субтотальным поражением эпифиза по классификации Catterall, поскольку разрушение латеральной колонны головки бедренной кости при повышении внутрисуставного давления провоцирует нестабильность сустава [17, 18]. На сегодняшний день в мировой ортопедической практике в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса с субтотальным или тотальным поражением эпифиза для достижения принципа “containment therapy” применяют методики корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра и тройной остеотомии таза. В научной литературе нет однозначного ответа о преимуществах одной тактики лечения над другой. Одновременно с этим рядом авторов доказано, что типичная величина укорочения нижней конечности после выполнения корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра составляет в среднем 2 см, а сочетание слабости ягодичных мышц и разновысокости нижних конечностей в отдаленном послеоперационном периоде формирует нарушение стереотипа ходьбы в виде хромоты [19, 20, 21, 22, 23]. Тройная остеотомия таза, по мнению многих авторов, считается наиболее оправданной хирургической методикой, поскольку позволяет избежать вмешательства на проксимальном отделе бедренной кости

и тем самым исключить формирование клинически значимого укорочения нижней конечности и ятрогенной гипертрофии большого вертела [24, 25, 26]. Учитывая данные мировой литературы, в настоящем исследовании в качестве методики хирургического лечения детей с болезнью Пертеса была выбрана тройная остеотомия таза. Известно, что под воздействием импульсного электромагнитного поля происходит стимуляция остеобластов и повышается активность остеогенеза в связи с увеличением экспрессии белков TGF-beta1 и BMP-2/4, а также усилением процессов внутриклеточного кальциевого перехода [27, 28, 29].

По мнению ряда авторов, доказан сильный положительный противовоспалительный эффект под воздействием импульсного электромагнитного поля, который вызывает повышение активности аденилатциклазы и снижение продукции супероксидных анионов в результате усиления регуляции рецепторов A_2A , расположенных на поверхности нейтрофилов. Это способствует улучшению кровотока, а также ограничивает расширение некротической зоны, возникающей в результате ишемии [30, 31].

Вместе с тем, в доступной литературе практически отсутствуют данные о применении электрических полей, особенно погружных, в лечении рассматриваемой категории пациентов детского возраста, их влияние на течение послеоперационного периода и о комплексной оценке сроков ревитализации очага некроза в проксимальном эпифизе бедренной кости. В основном публикации касаются оценки функциональных результатов лечения взрослых пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости. Рядом авторов независимо друг от друга доказана эффективность изолированного применения поверхностной электромагнитной стимуляции на ранних стадиях асептического некроза головки бедренной кости (Ficat I и II) у взрослых пациентов [32, 33, 34]. J.L. Cebrían с соавторами и L. Massari с соавторами в своих исследованиях показали, что у подавляющего количества пациентов, получавших электромагнитную терапию, произошло значительное уменьшение болевого синдрома, а у некоторых он купировался полностью [32, 33].

R.K. Aaron с соавторами провели сравнительный анализ эффективности электромагнитной стимуляции у 56 пациентов и хирургической декомпрессии очага некроза у 50 пациентов. Согласно результатам анкетирования по модифицированной функциональной шкале D'Aubigne, у 68% пациентов, получавших этот вид физиотерапевтического лечения, отмечалось клинико-функциональное улучшение, в то время как аналогичный результат у пациентов, получавших хирургическое лечение, был в 44%. Проведенное рентгенологическое исследование

показало прогрессирование патологического процесса в обеих группах, однако менее выражено оно было у пациентов, получавших электромагнитную терапию — 39% против 64% [35].

На основании данных комплексного обследования в ближайшем послеоперационном периоде, полученных в ходе выполнения нашего исследования, можно сделать вывод, что постоянное электростатическое поле, создаваемое имплантированным ортопедическим электретом, обладает противовоспалительным и обезболивающим эффектами. Необходимо отметить, что раньше пациентам приходилось выполнять физиотерапевтическую процедуру по 8 часов в сутки на протяжении нескольких месяцев, что обуславливает значительные социальные трудности. Применение ортопедического электрета позволяет отказаться от проведения этих процедур и повысить качество жизни пациентов и их родителей.

В единственной отечественной тематической публикации Н.И. Нелин с соавторами провели анализ функциональных и рентгенологических результатов лечения 49 детей с болезнью Пертеса, при этом у 15 пациентов применялись электретные имплантаты — пластина типа Блаунта или винт [36]. Авторы отмечают хороший анатомический и функциональный исход у 93,3% пациентов, в то время как у детей, получавших аналогичное хирургическое лечение без применения ортопедических электретов, аналогичные результаты были выявлены в 86,6%. Полученные результаты авторы связывают с положительным действием электростатического поля, которое проявлялось в активации пролиферации и дифференцировке мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток костного мозга, интенсификации процессов синтеза белков остеогенной и хондрогенной направленности, а также уменьшением интенсивности болевого синдрома за счет

блокирования процессов деполяризации мембраны клеток специфических рецепторов кости. Однако авторы не указывают ни сроки купирования болевого синдрома, ни сроки восстановления структуры головки бедренной кости.

Ограничения исследования

Наше исследование имеет следующие ограничения: малая группа пациентов в связи с редкой встречаемостью такой тяжести поражения тазобедренного сустава по совокупности описанных патологических изменений, отсутствие группы сравнения и тематических публикаций.

Заключение

Применение ортопедического электрета в хирургическом лечении детей с болезнью Пертеса в группах Catterall III–IV и подвывихом бедра за счет противовоспалительного эффекта позволяет купировать болевой синдром и проявления синовита в ранние сроки после операции, начать восстановительное лечение с достижением физиологической амплитуды движений в тазобедренном суставе в ближайшем послеоперационном периоде. По всей видимости, остеорепаративный эффект электростатического поля электрета в самостоятельном варианте либо в совокупности с противовоспалительным эффектом обеспечивает увеличение объема новообразованной костной ткани головки с уменьшением зоны ее дефекта или отсутствием компрессии центральной части эпифиза с дифференцировкой начальных элементов трабекулярного рисунка в сравнении с гомогенной высокоинтенсивной структурой головки бедренной кости.

Планируется проведение дальнейшего исследования влияния ортопедического электрета на сроки ревитализации очага некроза и восстановления структуры головки бедренной кости в рамках сравнительного анализа.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Бортулёв П.И. — дизайн и концепция исследования, статистический анализ результатов, обзор литературы, написание текста рукописи, хирургическое лечение пациентов.

Виссарионов С.В. — редактирование текста рукописи.

Баскаева Т.В. — сбор и обработка данных, хирургическое лечение пациентов.

Барсуков Д.Б. — хирургическое лечение пациентов, редактирование текста статьи.

Поздникин И.Ю. — редактирование текста статьи, хирургическое лечение пациентов.

Мурашко Т.В. — оценка и интерпретация данных лучевого исследования.

Басков В.Е. — сбор и обработка данных.

Познович М.С. — сбор и обработка данных.

Disclaimers

Authors' contributions

Bortulev P.I. — research concept and design, data statistical processing, literature review, manuscript writing and editing, surgical treatment of patients.

Vissarionov S.V. — manuscript editing.

Baskaeva T.V. — data collection and processing, surgical treatment of patients.

Barsukov D.B. — surgical treatment of patients, manuscript editing.

Ivan Yu. Pozdnikin — manuscript editing, surgical treatment of patients.

Murashko T.V. — assessment and analysis of radiology examination results.

Baskov V.E. — data collection and processing.

Poznovich M.S. — data collection and processing.

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

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

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

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера, протокол № 21-2 от 02.02.2021 г.

Информированное согласие. Законные представители пациентов дали добровольное письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию его результатов.

Литература [References]

- Loder R.T., Skopelja E.N. The epidemiology and demographics of Legg-Calvé-Perthes' disease. *ISRN Orthop.* 2011;2011:504393. doi: 10.5402/2011/504393.
- Perry D.C., Hall A.J. The epidemiology and etiology of Perthes disease. *Orthop Clin North Am.* 2011;42(3): 279-283, v. doi: 10.1016/j.ocl.2011.03.002.
- Leroux J., Abu Amara S., Lechevallier J. Legg-Calvé-Perthes disease. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(1S):S107-S112. doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.012.
- Guerado E., Caso E. The physiopathology of avascular necrosis of the femoral head: an update. *Injury.* 2016;47 Suppl 6:S16-S26. doi: 10.1016/S0020-1383(16)30835-X.
- Douglas G., Rang M. The role of trauma in the pathogenesis of the osteochondroses. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;(158):28-32.
- Catterall A. The natural history of Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br.* 1971;53(1):37-53.
- Huang X., Das R., Patel A., Nguyen T.D. Physical Stimulations for Bone and Cartilage Regeneration. *Regen Eng Transl Med.* 2018;4(4):216-237. doi: 10.1007/s40883-018-0064-0.
- Александрова О.И., Александрова С.А., Хомутов В.П., Моргунов М.С., Блинова М.И. Жизнеспособность клеток различных типов, культивируемых на поверхности медицинского электрета. *Журнал технической физики.* 2018;88(9):1348-1354. doi: 10.21883/JTF.2018.09.46419.58-18
Aleksandrova O.I., Aleksandrova S.A., Homutov V.P., Morgunov M.S., Blinova M.I. Viability of Different Types of Cells Cultivated on the Surface of Medical Electret. *Zhurnal tehnichej fiziki* [Journal of Technical Physics]. 2018;88(9):1348-1354. (In Russian.)
- Гринберг Я.З. О механизме преобразования вибраций в организме. *Инженерный вестник Дона.* 2014;4-2(32). Режим доступа: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/12_grinberg.pdf_132a9182db.pdf.
Grinberg J.Z. [Transformation mechanism of vibrations in the body]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. 2014;4-2(32). Available from: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/12_grinberg.pdf_132a9182db.pdf. (In Russian).

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, protocol No 21-2, 02.02.2021 g.

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

- Линник С.А., Хомутов В.П. Исследование эффективности электростатического поля в лечении остеоартроза. *PMЖ. Медицинское обозрение.* 2017;1(1):2-5.
Linnik S.A., Khomutov V.P. [Study of the effectiveness of the electrostatic field in the treatment of osteoarthritis]. *RMZh. Meditsinskoe obozrenie* [Russian Medical Journal. Medical Review]. 2017;1(1):2-5. (In Russian).
- Александрова С.А., Александрова О.И., Хомутов В.П., Моргунов М.С., Блинова М.И. Влияние электрического поля электрета на основе анодного оксида тантала на дифференцировочные свойства стромальных клеток костного мозга больного остеоартрозом. *Цитология.* 2018;60(12):987-995. doi: 10.1134/S0041377118120052.
Aleksandrova S.A., Aleksandrova O.I., Khomutov V.P., Morgunov M.S., Blinova M.I. [The influence of an electret-generated electric field based on a tantalum oxide anode on differentiation properties of bone marrow stromal cells from patients with osteoarthritis]. *Tsitologiya.* 2018;60(12):987-995. (In Russian). doi: 10.1134/S0041377118120052.
- Aleksandrova S.A., Aleksandrova O.I., Blinova M.I., Khomutov V.P., Morgunov M.S. The influence of an electret-generated electric field based on a tantalum oxide anode on differentiation properties of bone marrow stromal cells from patients with osteoarthritis. *Cell and Tissue Biology.* 2019;13(2):144-151. doi: 10.1134/s1990519x19020020.
- Вансович Д.Ю., Линник С.А., Хомутов В.П., Сердобинцев М.С. Мини-инвазивное хирургическое лечение больных деформирующим остеоартрозом коленного сустава с использованием электретов. *Современные проблемы науки и образования.* 2020;(3). doi: 10.17513/spno.29869. Режим доступа: <https://science-education.ru/article/view?id=29869>.
Vansovich D.Y., Linnik S.A., Homutov V.P., Serdobintsev M.S. [Minimally invasive surgical treatment of patients with deforming knee joint osteoarthritis using electrets]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2020;(3). (In Russian). doi: 10.17513/spno.29869. Available from: <https://science-education.ru/article/view?id=29869>.

14. Камоско М.М., Баиндурашвили А.Г. *Диспластический коксартроз у детей и подростков (клиника, патогенез, хирургическое лечение)*. Санкт-Петербург: СпецЛит; 2010. с. 54-72.
Kamosko M.M., Baidurashvili A.G. *Displasticheskii koksartroz u detei i podrostkov (klinika, patogenez, khirurgicheskoe lechenie)* [Dysplastic coxarthrosis in children and adolescents (clinic, pathogenesis, surgical treatment)]. St. Petersburg: SpetsLit; 2010. p. 54-72. (In Russian).
15. Бортулёва О.В., Басков В.Е., Бортулёв П.И., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю. Реабилитация подростков после хирургического лечения диспластического коксартроза. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018;6(1):45-50. doi: 10.17816/PTORS6145-50.
Bortuleva O.V., Baskov V.E., Bortulev P.I., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu. [Rehabilitation of adolescents after surgical treatment of dysplastic coxarthrosis]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2018;(6)1:45-50. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS6145-50.
16. Тепленький М.П., Парфёнов Э.М. Хирургическое лечение детей с тяжелыми формами болезни Пертеса. *Гений ортопедии*. 2013;(1):32-35.
Teplen'kii M.P., Parfenov E.M. [Surgical treatment of children with severe forms of Perthes disease]. *Genij Ortopedii*. 2013;(1):32-35. (In Russian).
17. Gigante C., Frizziero P., Turra S. Prognostic value of Catterall and Herring classification in Legg-Calvé-Perthes disease: follow-up to skeletal maturity of 32 patients. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(3):345-349.
18. Kim H.K., Wiesman K.D., Kulkarni V., Burgess J., Chen E., Brabham C. et al. Perfusion MRI in Early Stage of Legg-Calvé-Perthes Disease to Predict Lateral Pillar Involvement: A Preliminary Study. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(14):1152-1160. doi: 10.2106/JBJS.M.01221.
19. Friedlander J.K., Weiner D.S. Radiographic results of proximal femoral varus osteotomy in Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop*. 2000;20(5):566-571. doi: 10.1097/00004694-200009000-00004.
20. Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Волошин С.Ю., Баскаева Т.В. и др. Корректирующая остеотомия бедра в комплексном лечении детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса. *Гений ортопедии*. 2017;23(1):63-70. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-1-63-70.
Barsukov D.B., Krasnov A.I., Baskov V.E., Pozdnikin I.Yu., Voloshin S.Yu., Baskaeva T.V. et al. [Corrective femoral osteotomy in the complex treatment of children with Legg-Calvé-Perthes disease]. *Genij Ortopedii*. 2017;23(1):63-70. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-1-63-70.
21. Futami T., Suzuki S. Different methods of treatment related to the bilateral occurrence of Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br*. 1997;79(6):979-982. doi: 10.1302/0301-620x.79b6.7743.
22. Меншикова Т.И., Мальцева Л.В. Особенности ультразвуковой диагностики начальных проявлений болезни Легг-Кальве-Пертеса у детей. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015;(2, часть 1):54-58. Режим доступа: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6375>.
Menschikova T.I., Maltseva L.V. [Characteristics of ltrasaund diagnostics of the initial manifestations of Legg-Calvé-Perthes, disease in children]. 2015; (2, Suppl 1):54-58. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6375>. (In Russian).
23. Grzegorzewski A., Synder M., Kozłowski P., Szymczak W., Bowen R.J. Leg length discrepancy in Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop*. 2005;25(2):206-209. doi: 10.1097/01.bpo.0000148497.05181.51.
24. Camurcu I.Y., Yildirim T., Buyuk A.F., Gursu S.S., Bursali A., Sahin V. Tönnis triple pelvic osteotomy for Legg-Calvé-Perthes disease. *Int Orthop*. 2015;39(3):485-490. doi: 10.1007/s00264-014-2585-6.
25. Rosello O., Solla F., Oborocianu I., Chau E., ElHayek T., Clement J.-L. et al. Advanced containment methods for Legg-Calvé-Perthes disease: triple pelvic osteotomy versus Chiari osteotomy. *Hip Int*. 2018;28(3):297-301. doi: 10.5301/hipint.5000569.
26. Pailhé R., Cavaignac E., Murgier J., Cahuzac J.P., de Gauzy J.S., Accadbled F. Triple osteotomy of the pelvis for Legg-Calvé-Perthes disease: a mean fifteen year follow-up. *Int Orthop*. 2016;40(1):115-122. doi: 10.1007/s00264-015-2687-9.
27. Tong J., Sun L., Zhu B., Fan Y., Ma X., Yu L. et al. Pulsed electromagnetic fields promote the proliferation and differentiation of osteoblasts by reinforcing intracellular calcium transients. *Bioelectromagnetics*. 2017;38(7): 541-549. doi: 10.1002/bem.22076.
28. Zhou J., He H., Yang L., Chen S., Guo H., Xia L. et al. Effects of pulsed electromagnetic fields on bone mass and Wnt/beta-catenin signaling pathway in ovariectomized rats. *Arch Med Res*. 2012;43(4):274-282. doi: 10.1016/j.arcmed.2012.06.002.
29. Ehnert S., Fentz A.K., Schreiner A., Birk J., Wilbrand B., Ziegler P. et al. Extremely low frequency pulsed electromagnetic fields cause antioxidative defense mechanisms in human osteoblasts via induction of •O₂⁻ and H₂O₂. *Sci Rep*. 2017;7(1):14544. doi: 10.1038/s41598-017-14983-9.
30. Varani K., De Mattei M., Vincenzi F., Gessi S., Merighi S., Pellati A. et al. Characterization of adenosine receptors in bovine chondrocytes and fibroblast-like synoviocytes exposed to low frequency low energy pulsed electromagnetic fields. *Osteoarthritis Cartilage*. 2008;16(3):292-304. doi: 10.1016/j.joca.2007.07.004.
31. Ongaro A., Pellati A., Masieri F.F., Caruso A., Setti S., Cadossi R. et al. Chondroprotective effects of pulsed electromagnetic fields on human cartilage explants. *Bioelectromagnetics*. 2011;32(7):543-551. doi: 10.1002/bem.20663.
32. Massari L., Fini M., Cadossi R., Setti S., Traina G.C. Biophysical stimulation with pulsed electromagnetic fields in osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88 Suppl 3:56-60. doi: 10.2106/JBJS.F.00536.
33. Cebrián J., Milano G., Francés A., Lopiz Y., Marco F., López-Durán L. Role of electromagnetic stimulation in the treatment of osteonecrosis of the femoral head in early stages. *J Biomed Sci Eng*. 2014;7(5):252-257. doi: 10.4236/jbise.2014.75028.
34. Bassett C.A., Schink-Ascani M., Lewis S.M. Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(246):172-185.

35. Aaron R.K., Lennox D., Bunce G.E., Ebert T. The conservative treatment of osteonecrosis of the femoral head. A comparison of core decompression and pulsing electromagnetic fields. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(249):209-218.
36. Нелин Н.И., Хомутов В.П., Э.Г. Квиникадзе, М.П. Пирпилашвили. Опыт применения электретов при остеохондропатии головки бедренной кости у детей. *Opinion Leader.* 2019;1(19):84-89. Nelin N.I., Homutov V.P., Je.G. Kvinikadze, M.P. Pirlilashvili. [Experience in the use of electrets in osteochondropathy of the femoral head in children.]. *Opinion Leader.* 2019;1(19):84-89. (In Russian).

Сведения об авторах

✉ *Бортулёв Павел Игоревич* — канд. мед. наук, руководитель отделения
Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, Парковая ул., 64-68

<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>

e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Виссарионов Сергей Валентинович — член-кор. РАН, д-р мед. наук, профессор, ¹директор; ²профессор кафедры

<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

e-mail: vissarionovs@gmail.com

Баскаева Тамила Владимировна — врач травматолог-ортопед

<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>

e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Барсуков Дмитрий Борисович — канд. мед. наук, старший научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>

e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Поздникин Иван Юрьевич — канд. мед. наук, научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>

e-mail: pozdnikin@gmail.com

Мурашко Татьяна Валерьевна — врач-рентгенолог

<https://orcid.org/0000-0002-0596-3741>

e-mail: popova332@mail.ru

Басков Владимир Евгеньевич — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>

e-mail: dr.baskov@mail.ru

Познович Махмуд Станиславович — научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>

e-mail: poznovich@bk.ru

Authors' information

✉ *Pavel I. Bortulev* — Cand. Sci. (Med.).

Address: 64-68, Parkovaya str., St. Petersburg, 196603, Russia

e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>

Sergei V. Vissarionov — Corresponding member of RAS, Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

e-mail: vissarionovs@gmail.com

Tamila V. Baskaeva

<https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>

e-mail: tamila-baskaeva@mail.ru

Dmitriy B. Barsukov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>

e-mail: dbbarsukov@gmail.com

Ivan Yu. Pozdnikin — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>

e-mail: pozdnikin@gmail.com

Tatyana V. Murashko

<https://orcid.org/0000-0002-0596-3741>

e-mail: popova332@mail.ru

Vladimir E. Baskov — Cand. Sci. (Med.).

<https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>

e-mail: dr.baskov@mail.ru

Makhmud S. Poznovich

<https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>

e-mail: poznovich@bk.ru



Ультразвуковая оценка ядра окостенения проксимального эпифиза бедренной кости у детей до 1 года

Х.Б. Бабаева, Р.Ш. Полухов

Азербайджанский медицинский университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

Актуальность. Нарушение развития ядра окостенения проксимального эпифиза бедренной кости может являться маркером ряда заболеваний детского возраста, требующих своевременной диагностики и лечения. **Цель исследования** — оценить возможности ультразвукового исследования в диагностике процессов оссификации проксимального эпифиза бедренной кости. **Материал и методы.** Исследование базируется на результатах обследования 524 детей с нормально сформированными тазобедренными суставами в возрасте от 2 недель до 1 года, среди них 259 мальчиков и 265 девочек. Всем пациентам было проведено ультразвуковое исследование тазобедренных суставов по методике Р. Графа в стандартном коронарном срезе. У детей более старшего возраста с целью исключения погрешностей в измерении размеров ядра окостенения использовался дополнительный поперечный срез. **Результаты.** В возрасте до 3 мес. у мальчиков и до 2 мес. у девочек ядро окостенения выявлялось в единичных случаях, у 45% девочек в возрасте 3 мес. визуализировалось четкое ядро, у мальчиков этого возраста ядро выявлялось в 5% случаев. К возрасту 5 мес. у 81% девочек выявлялось ядро, в то время как у мальчиков оно появлялось только в 46%. К 7 мес. в обеих группах как у мальчиков, так и у девочек в более чем в 90% случаев определялось ядро окостенения. Таким образом, у девочек наблюдалось более раннее формирование ядра окостенения, чем у мальчиков. Ядро в 82% случаев размещалось в центре головки, в 14% отмечалось его латеральное расположение, в 4% ядро было смещено медиально. У 95% обследуемых детей процесс формирования ядер окостенения происходил симметрично в обоих суставах. Кроме того, при одновременной ультрасонографии и рентгенографии тазобедренных суставов были выявлены несоответствия, обусловленные тем, что при УЗИ ядро становится видимым раньше, чем при рентгенографии. **Заключение.** Уникальные особенности сонографического метода, такие как неограниченный по временным интервалам и частоте мониторинг, относительно раннее выявление ядер окостенения, отсутствие лучевой нагрузки на организм ребенка, делают перспективным дальнейшее изучение и оптимизацию УЗИ-метода в исследовании процессов оссификации проксимального эпифиза бедренной кости у детей раннего возраста. Ультразвуковое исследование процессов оссификации проксимального эпифиза заслуживает более широкого внедрения в практику ортопедов, детских хирургов и педиатров. Это позволит специалистам рано предвидеть будущие нарушения роста и развития проксимального отдела бедренной кости и обеспечить при необходимости раннее вмешательство.

Ключевые слова: тазобедренный сустав, ядро окостенения, дисплазия тазобедренного сустава, артросонография, асептический некроз.

Бабаева Х.Б., Полухов Р.Ш. Ультразвуковая оценка ядра окостенения проксимального эпифиза бедренной кости у детей до 1 года. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):58-66. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1626>.

Cite as: Babaeva Kh.B., Polukhov R.Sh. [Ultrasonographic Assessment of the Proximal Femoral Ossification Center in Children Under 1 Year]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):58-66. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1626>.

Бабаева Халида Бахшали-кызы / Khalida B. Babaeva; e-mail: xalidababayeva.xb@gmail.com

Рукопись получена: 19.04.2021. Рукопись одобрена: 11.01.2022. Статья опубликована онлайн: 07.02.2022.
Submitted: 19.04.2021. Accepted: 11.01.2022. Published Online: 07.02.2022.

Ultrasonographic Assessment of the Proximal Femoral Ossification Center in Children Under 1 Year

Khalida B. Babaeva, Ramiz Sh. Polukhov

Azerbaijan Medical University, Baku, Republic of Azerbaijan

Background. Developmental disorders of the secondary ossification center (SOC) of the proximal femoral epiphysis can be a marker of some childhood diseases that require timely diagnosis and treatment.

The study aimed to assess the capabilities of ultrasonography in the diagnosis of ossification processes of the proximal femoral epiphysis. **Material and Methods.** The study is based on the results of a survey of 524 children aged 2 weeks to 1 year with normal hip joints, including 259 boys and 265 girls. All patients underwent ultrasound examination of the hip joints according to the method of R. Graf in a standard coronary section. In older children, to eliminate errors in measuring the size of the SOC, an additional cross-section was used. **Results.** The SOC was detected in isolated cases in boys aged up to 3 months and girls up to 2 months. At age 3 months, the SOC was visualized in 45% of girls and 5% of boys. By age 5 months, 81% of girls had a SOC compared with 46% of boys. By 7 months, SOC was determined in more than 90% of cases of both groups. Thus, girls showed an earlier formation of the SOC than boys. The SOC was located in the center of the femoral head in 82% of cases, lateral in 14%, and medial in 4%. In 95% of the examined children, SOC development occurred symmetrically in both joints. In addition, discrepancies were revealed with simultaneous ultrasonography and X-ray of the hip joints since the SOC becomes visible earlier during ultrasonography. **Conclusion.** Sonography is a highly informative method for determining the ossification processes of the proximal femur. Knowledge of the normal sonographic appearance of the femoral head SOC by age and sex will help clinicians diagnose and treat hip disorders.

Keywords: hip joint, ossification center, hip dysplasia, arthrosonography, aseptic necrosis.

Введение

Несмотря на то что традиционная рентгенография остается самым распространенным объективным методом диагностики заболеваний опорно-двигательной системы, в последние десятилетия все большее признание получают неионизирующие технологии, такие как МРТ и ультразвуковая артрозонография. Артрозонография — ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата — обладает рядом особенностей, выгодно выделяющих ее среди других методов исследования костно-суставной системы: неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки, возможность исследования в режиме реального времени при движениях и проведении динамических проб, простота, доступность, визуализация соединительнотканых и хрящевых элементов сустава, сканирование нескольких суставов одновременно, возможность проведения мониторинга состояния сустава с произвольными интервалами [1, 2, 3].

Особое место среди областей применения артрозонографии занимает ультразвуковое исследование тазобедренных суставов (УЗИ ТБС) у новорожденных и детей грудного возраста с целью выявления врожденных нарушений формирования ТБС [4, 5, 6, 7]. Методика УЗИ ТБС

у новорожденных впервые была предложена австрийским ортопедом Р. Графом в 1970-х гг. УЗИ ТБС по всем параметрам отвечает требованиям ВОЗ к скрининговым методам: простота, достоверность, надежность, воспроизводимость, безопасность, доступность и относительная дешевизна обследования. Сонография ТБС в качестве скрининга стала применяться с 1992 г. в Австрии, с 1997 г. — в Швейцарии, с 1996 г. — в Германии в качестве метода общего обследования всех новорожденных [8, 9]. В США, Великобритании, скандинавских странах ультразвуковая артрозонография проводится селективно новорожденным группы риска [10, 11, 12]. В настоящее время существует несколько методик УЗИ ТБС: Графа, Харке, Сузуки, Тержесена и т.д. [13, 14, 15]. Все методики посвящены оценке соотношений между элементами сустава для максимально раннего выявления нестабильности сустава. Однако в современных протоколах УЗИ ТБС недостаточно внимания уделено эхографическим особенностям процесса оксификации проксимального эпифиза бедра.

Ядро окостенения (ЯО) проксимального эпифиза бедренной кости является вторичным центром окостенения, участвующим в процессе энхондрального окостенения эпифизов. Последние

исследования показали, что вторичные центры окостенения являются не только показателями зрелости скелета и маркерами сосудистого питания эпифизов, но и защищают эпиметафизарную зону роста от механических факторов и оказывают регуляторное влияние на стволовые клетки эпиметафизарной пластинки роста [16]. Нарушение развития ЯО головки бедренной кости является одним из первых симптомов самого грозного осложнения лечения врожденной дисплазии ТБС — постиммобилизационного асептического некроза головки бедренной кости [17, 18]. Возникающее вследствие постиммобилизационного асептического некроза головки бедренной кости нарушение роста и развития проксимального отдела бедренной кости, деформация головки бедренной кости, нарушение соотношения между вертлужной впадиной и головкой бедренной кости создают условия для раннего развития и быстрого прогрессирования коксартроза [19, 20].

У детей раннего возраста, перенесших закрытую репозицию и находящихся на лечении по поводу вывиха или дисплазии ТБС, самым ранним, а зачастую и единственным признаком развития постиммобилизационного асептического некроза головки бедренной кости является задержка формирования ЯО на стороне поражения [21, 20]. Традиционная рентгенография позволяет установить диагноз асептического некроза головки бедренной кости на более поздних стадиях заболевания [22, 23].

Сведения о рентгенологических сроках появления ядра проксимального эпифиза в литературе крайне разноречивы и определяются чаще в диапазоне от 3 до 9 мес. [24, 25]. Пограничным возрастом, определяющим патологическую задержку окостенения, называют различные сроки: 3–4 мес. у V. Putti, 4 мес. — у H. Hilgenreiner, 6 мес. — у D. Tönnis, 7,5 мес. — у P. Графа [цит. по 6].

По данным P. Графа с соавторами, ультрасонография позволяет выявить ЯО на 4–8 нед. раньше, чем рентгенография [6, 26]. Эту разницу авторы объясняют тем, что УЗ-сканер способен уловить ядро на стадии клеточных скоплений, когда нет выраженного отложения солей кальция либо они незначительны. В этот период ядро становится эхопозитивным и отражается на сонограммах в виде точечных одиночных, а впоследствии множественных гиперэхогенных включений, склонных к слиянию. В дальнейшем по мере усиления процессов оксификации, примерно через 4–8 нед., ядро становится видимым и на рентгенограммах. Учитывая, что своевременная диагностика и лечение постиммобилизационного асептического некроза головки бедренной кости являются определяющими факторами в благоприятном исходе патологии, представляется актуальным изучение

возможностей УЗ-метода в исследовании ЯО бедренной кости. Понимание соаноатомии и физиологических особенностей оксификации проксимального отдела бедренной кости и связанных с ней патофизиологических состояний может повысить точность диагностики, позволит радиологам предвидеть будущие нарушения и обеспечить оптимальную визуализацию с конечной целью своевременного и надлежащего вмешательства.

Цель исследования — оценить возможности ультрасонографии в оценке зон оксификации проксимального отдела бедренной кости и выработать нормативные показатели сроков появления и стадий развития ЯО проксимального эпифиза бедренной кости у здоровых детей до года, изучить половые и возрастные особенности развития ЯО, а также технику его измерения.

Материал и методы

Дизайн исследования

Проведено проспективное наблюдательное неконтролируемое исследование, включающее анализ сонограмм ТБС у 524 детей с центрированными суставами типа 1А и 1Б по Графу, из которых 259 мальчиков и 265 девочек в возрасте от 2 нед. до 1 года. УЗИ проводилось на УЗ-сканере GE Voluson E8 (General Electric, США) в В-режиме линейными датчиками с частотой 5,0–7,5 МГц. Обследование проводилось по методике Графа во фронтальной плоскости с положением пациента на боку в специальной укладке. Сканирование сустава проводилось в срединном срезе, который соответствовал стандартной ситуации по Графу. В редких случаях, при расположении ядра не строго по центру головки, использовались дополнительные параллельные срезы для четкой визуализации ЯО. При больших размерах ядра использовался дополнительный поперечный срез головки бедренной кости из переднего доступа в нейтральном положении ребенка.

Статистический анализ

Полученные количественные и качественные данные анализировались с использованием MS EXCEL-2019 и статистического пакета IBM Statistics SPSS v.26. Для количественных показателей рассчитывался стандартный набор описательных статистик: средние $M \pm m$, медиана и квартили. Для категориальных характеристик определялись частоты появления признаков в изученных группах в абсолютных значениях и проценты. Количественные показатели сравнивались с помощью критерия Манна–Уитни, качественные — с помощью χ^2 Пирсона. Динамика показателей оценивалась как с использованием критерия Уилкоксона, так и при построении кривых Каплана–Мейера с применением лог-ранк теста.

Результаты

У новорожденных и детей до года проксимальный эпифиз бедренной кости, часть метафиза и большой вертел на эхограммах выглядят как одно слитное гипоэхогенное образование, так как состоят из неокостеневшего хряща. Эпифиз покрыт аваскулярным суставным гиалиновым хрящом, центральная зона состоит из эпифизарного гиалинового хряща, в котором присутствуют червеобразные эхосигналы, соответствующие кровеносным сосудам (рис. 1).

Один центр окостенения находится в ядре проксимального эпифиза головки бедренной кости, второй образуется в большом вертеле в более позднем возрасте — к 4 годам [24]. Стадии формирования ЯО проксимального эпифиза бедренной кости нами были обозначены следующим образом:

- 1-я стадия — ядро отсутствует (рис. 2 а);
- 2-я стадия — ядро-точка визуализируется в виде одного или нескольких точечных включений, склонных к слиянию, также эту стадию обозначают как намечающееся ЯО (рис. 2 б);

- 3-я стадия — ядро-пятно визуализируется в виде четкого округлого гиперэхогенного участка без акустической тени, диаметр до 4 мм (рис. 2 с);
- 4-я стадия — ядро-полумесяц, крупное ядро с дистальной акустической тенью (рис. 2 д).

На 4-й стадии латеральные отделы окостеневшего ядра отражают ультразвуковые лучи, медиальные участки остаются в акустической тени, в результате чего крупное ЯО на сонограмме выглядит как полумесяц. Так как на данной стадии ядро имеет форму сплющенного в кранио-каудальном направлении эллипса, при УЗИ более корректным было бы говорить не о диаметре, а о высоте ЯО. Высота ядра на этой стадии больше 5 мм. С целью более точного вычисления размеров ядра и выявления асимметрии между правой и левой сторонами на этой стадии нами рекомендуется дополнительная оценка поперечных срезов головки бедренной кости со сравнением максимального поперечного размера ядер правой и левой сторон из переднего доступа в нейтральной позиции, так как при стандартном подходе из бокового доступа максимальный поперечный размер ядра измерить не представляется возможным [27].

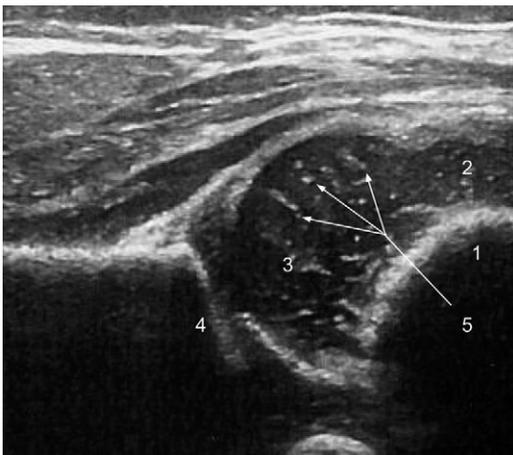


Рис. 1. Сонограмма тазобедренного сустава ребенка в возрасте 6 нед.:
 1 — костно-хрящевая граница;
 2 — большой вертел;
 3 — головка бедренной кости;
 4 — костная крыша вертлужной впадины;
 5 — червеобразные эхосигналы, соответствующие сосудистым синусоидам

Fig. 1. Ultrasound image of the hip joint of a 6-week-old baby:
 1 — chondro-osseous junction;
 2 — greater trochanter;
 3 — femoral head;
 4 — bony acetabular roof;
 5 — vermiform echo signals corresponding to vascular sinusoids

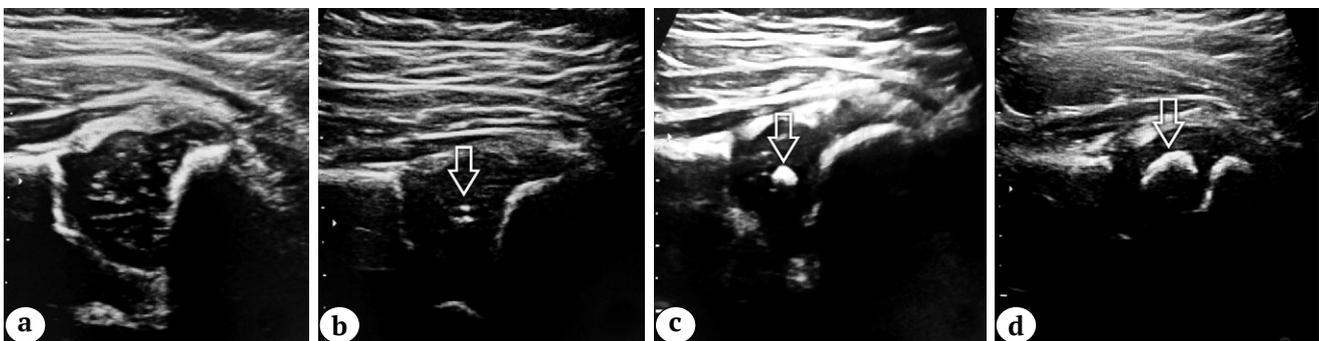


Рис. 2. Сонографические стадии формирования ядра окостенения головки бедренной кости (отмечено стрелками): а — ядро не визуализируется; б — точечное ядро; с — ядро-пятно; д — ядро-полумесяц с акустической тенью

Fig. 2. Ultrasonographic stages of the formation of the secondary ossification center (SOC) of the femoral head (marked by arrows):

- а — the SOC is not visualized; б — point stage; с — spot stage; д — crescent stage with acoustic shadow

По мере увеличения ядра область акустической тени также растет и затрудняет визуализацию Y-образного хряща и костной крыши вертлужной впадины — главного ориентира в УЗИ ТБС на предмет выявления дисплазии. Это является ограничивающим фактором в применении сонографии ТБС у детей старше года [28].

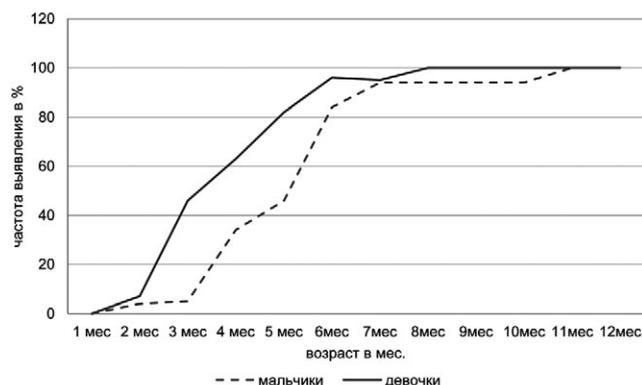


Рис. 3. Частота выявления ядра окостенения проксимального эпифиза бедренной кости в возрастном-гендерном аспекте, %

Fig. 3. Frequency of the detection of the secondary ossification center of the proximal femoral epiphysis in the age-gender aspect, %

Обследуемые дети были разделены на 12 групп в зависимости от возраста — от 1 до 12 мес. Количество мальчиков и девочек в каждой возрастной группе было примерно одинаковым. В каждой группе вычислялся процент детей с видимым на сонограмме ЯО. До 3 мес. у мальчиков ядро выявлялось в единичных случаях, в то время как у 45% девочек в возрасте 3 мес. визуализировалось четкое ядро. К 5 мес. у 81% девочек выявлялось ядро, в то время как у мальчиков в этом возрасте оно появилось только в 46% случаев. К 7 мес. в обеих группах как у мальчиков, так и у девочек в более чем 90% случаев определялось ЯО. К 9 мес. и старше как у мальчиков, так и у девочек ядро выявлялось в 100% случаев (рис. 3).

Также отмечались различия в размерах ЯО у мальчиков и девочек: средний размер ЯО у девочек превышал таковой у мальчиков (табл. 1).

У 12 пациентов была изучена динамика роста ЯО путем проведения ежемесячной сонометрии: средний ежемесячный прирост составил 0,715 мм у мальчиков и 0,782 мм — у девочек. В первом полугодии отмечались более высокие темпы роста ЯО (1,0–1,3 мм), чем во втором (0,6–0,8 мм). Используя метод множительной оценки и средние темпы прироста ЯО в группе пациентов с видимым при УЗИ ЯО (316 пациентов), ретроспективно был определен примерный возраст самого раннего обнаружения ЯО, который составил 5 нед. для девочек и 7 нед. для мальчиков (табл. 2).

Таблица 1

Средние размеры ядра окостенения в поло-возрастном аспекте

Возраст, мес.	Пол												p_t	p_u
	Мальчики						Девочки							
	n	M	$\pm m$	Me	Q1	Q3	n	M	$\pm m$	Me	Q1	Q3		
1	21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	>0,05	1,000
2	25	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	28	0,13	0,09	0,00	0,00	0,00	>0,05	0,656
3	38	0,13	0,10	0,00	0,00	0,00	37	1,12	0,25	0,00	0,00	2,00	<0,001	<0,001
4	29	1,10	0,31	0,00	0,00	3,00	30	2,15	0,33	2,25	0,00	4,00	0,026	0,029
5	28	1,88	0,40	0,00	0,00	4,00	27	3,30	0,38	4,00	2,00	5,00	0,014	0,018
6	19	3,29	0,40	3,50	3,00	4,50	22	4,16	0,32	4,50	3,50	5,00	>0,05	0,076
7	18	4,14	0,34	4,50	3,00	5,00	21	4,76	0,40	5,00	4,00	6,00	>0,05	0,266
8	18	4,25	0,34	4,75	3,50	5,00	17	6,12	0,37	6,00	5,00	7,00	0,001	0,001
9	18	5,03	0,36	5,00	5,00	6,00	18	6,33	0,38	6,25	5,00	7,50	0,018	0,022
10	17	5,44	0,41	6,00	5,00	6,50	16	6,19	0,28	6,25	5,00	7,00	>0,05	0,195
11	15	6,70	0,38	7,00	6,00	8,00	14	7,61	0,26	7,50	7,00	8,00	>0,05	0,111
12	13	7,00	0,46	6,50	6,00	8,00	13	7,88	0,36	8,00	7,00	9,00	>0,05	0,147

n — число детей; M — среднее арифметическое; $\pm m$ — стандартная ошибка; Me — медиана, Q1 — первый квартиль; Q3 — третий квартиль; статистическая значимость различий: p_t — по t -Стьюденту – Бонферрони, p_u — Манна – Уитни.

Таблица 2

Сравнение времени обнаружения ядра в гендерном аспекте у детей с выявленными ядрами окостенения

Количественные данные								
Пол	Всего	Учтенные, <i>n</i>	Цензурированные					
			<i>n</i>	%				
Мальчики	259	137	122	47,1				
Девочки	265	179	86	32,5				
Всего	524	316	208	39,7				

Средние и среднеструктурные показатели								
Пол	Средние				Среднеструктурные			
	М	±m	95% ДИ		Me	±me	95% ДИ	
			Нгр	Вгр			Нгр	Вгр
Мальчики	1,66	0,12	1,42	1,90	1,30	0,21	0,88	1,72
Девочки	1,28	0,10	1,10	1,47	1,00	0,14	0,73	1,27
Всего	1,46	0,08	1,31	1,61	1,20	0,09	1,02	1,38

Результат анализа			
	χ^2	df	<i>p</i>
Лог-ранк тест (Каплан – Мейер)	7,442	1	0,006

n – кол-во; М – среднее арифметическое; ±m – стандартная ошибка средней арифметической; Me – медиана; ±me – стандартная ошибка медианы; 95% ДИ – 95% доверительный интервал; Нгр – нижняя граница; Вгр – верхняя граница ; χ^2 – коэффициент Пирсона, df – степень свободы; *p* – статистическая значимость различий.

Кроме того, у 41 ребенка (возраст от 5 до 8 мес.) УЗИ проводилось после рентгенографии ТБС, которая выявила отсутствие ЯО при нормально сформированной крыше вертлужной впадины без признаков дисплазии. Временной интервал между рентгенологическим и ультразвуковым обследованиями составлял не более 1 недели. УЗИ у этой группы пациентов в 27 случаях выявило симметричные ЯО на 2-й сонографической стадии у 17 детей (точечное ядро) и на 3-й стадии – у 10 детей (ядро-пятно диаметром до 2,5 мм).

Обсуждение

Таким образом, мы наблюдали более раннее формирование ЯО проксимального отдела бедренной кости у девочек по сравнению с мальчиками. Средние размеры ядра у девочек превышали таковые у мальчиков. Ядро в 80% случаев размещалось в центре головки, в 14% отмечалось его латеральное расположение, в 4% ядро было смещено медиально, в одном случае наблюдались множественные ЯО. У подавляющего большинства обследуемых (95%) процесс формирования ЯО происходил симметрично в обоих суставах. Предложенная нами техника измерения ядра в дополнительном попе-

речном срезе у детей старшей возрастной группы (старше 7–8 мес.) с более крупным ядром с дистальной акустической тенью позволяет избежать ошибок диагностики. Так, в исследовании Н. Atalar с соавторами обсуждается клинический случай, когда у 8-месячной девочки с типом 1А по Графу и симметричными при УЗИ с обеих сторон ядрами рентгенография выявила выраженную одностороннюю гипоплазию ЯО [27]. Причиной ошибки в данном конкретном случае является то, что примерно после 8 мес. круглая форма ядра становится овально-вытянутой с максимальным длинником в поперечной плоскости, на что в своих исследованиях указывают также J.C. Nguyen с соавторами и O. Zouari с соавторами [29, 30]. Использование одного стандартного фронтального среза по Графу, который отражает кранио-каудальный размер эллипсоидного ядра, то есть его высоту, является недостаточным. Медио-латеральный размер возможно измерить при поперечном расположении УЗИ-датчика, совпадающим с большой осью эллипсоидного ядра. Н.Т. Harcke с соавторами также обращают внимание на разные проекционные подходы к измерениям при УЗИ и рентгенографии [26].

Также в работах Н.Т. Нарске с соавторами и О. Zouari с соавторами указывается на выраженную асимметрию ЯО при одностороннем вывихе [26, 30]. После успешной репозиции авторы наблюдали активный рост отстающего ЯО, который в течение 12–24 мес. достигал размеров противоположной стороны. Такой бурный рост ЯО авторы считали хорошим индикатором витальности головки бедренной кости.

Этнические особенности формирования ЯО исследовали А. Paganjare с соавторами [25]. Сравнительное сонографическое исследование ЯО проводилось в индийской и израильской популяциях. Ядро впервые становилось видимым в 2 нед. у израильских детей и в 8 нед. — у индийских младенцев. Тем не менее к 20 нед. ядро выявлялось у 81% индийских и 22–74% израильских детей, к 24 нед. в обеих группах ядро визуализировалось в более чем 90% случаев. В наших результатах без учета гендерных отличий впервые ядро становится видимым в возрасте 1,5–2,0 мес., в 5 мес. (21–22 нед.) ЯО выявлялось у 64% детей, к 6 мес. — у 89% и к 7 мес. — у более чем 94% детей. После 9 мес. у 100% детей определялось четкое ядро окостенения.

При одновременной ультрасонографии и рентгенографии ТБС были выявлены несоответствия,

обусловленные тем, что при УЗИ ядро становится видимым раньше, что совпадает с результатами исследований Р. Графа с соавторами [6] и Н.Т. Нарске с соавторами [26]. Этот факт, несомненно, повышает ценность УЗ-исследования, т.к. дает возможность предположить нарушение оксификации проксимального отдела бедренной кости на 6–8 нед. раньше (по Графу) по сравнению с традиционной рентгенографией.

Заключение

Уникальные особенности сонографического метода, такие как неограниченный по временным интервалам и частоте мониторинг, относительно раннее выявление ядер окостенения, отсутствие лучевой нагрузки на организм ребенка, делают перспективным дальнейшее изучение и оптимизацию УЗ-метода в исследовании процессов оксификации проксимального эпифиза бедренной кости у детей раннего возраста. Ультразвуковое исследование процессов оксификации проксимального эпифиза заслуживает более широкого внедрения в практику ортопедов, детских хирургов и педиатров. Это позволит специалистам рано предвидеть будущие нарушения роста и развития проксимального отдела бедренной кости и обеспечить при необходимости раннее вмешательство.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Бабаева Х.Б. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, редактирование.

Полухов Р.Ш. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

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

Disclaimers

Authors' contributions

Babaeva Kh.B. — the idea and design of the study, the collection and processing of material, the statistical analysis, writing the draft, editing.

Polukhov R.Sh. — the idea and design of the study, the collection and processing of material, the statistical analysis.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

Литература [References]

- Strakowski J.A., Visco C.J. Diagnostic and therapeutic musculoskeletal ultrasound applications of the shoulder. *Muscle Nerve*. 2019;60(1):1-6. doi: 10.1002/mus.26505.
- Okano T., Mamoto K., Di Carlo M., Salaffi F. Clinical utility and potential of ultrasound in osteoarthritis. *Radiol Med*. 2019;124(11):1101-1111. doi: 10.1007/s11547-019-01013-z.
- Carotti M., Galeazzi V., Catucci F., Zappia M., Arrigoni F., Barile A. et al. Clinical utility of eco-color-power Doppler ultrasonography and contrast enhanced magnetic resonance imaging for interpretation and quantification of joint synovitis: a review. *Acta Biomed*. 2018;89(1-S):48-77. doi: 10.23750/abm.v89i1-S.7010.
- Hien N.M. The Importance of Hip Ultrasound. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117(35-36):600-601. doi: 10.3238/arztebl.2020.0600b
- Вовченко А.Я. Суставы. Путеводитель по ультразвуковому исследованию в травматологии и ортопедии. Киев: Украинский доплеровский клуб; 2011. 73-84 с. Vovchenko A.Ya. Sustavy. Putevoditel' po ul'trazvukovomu issledovaniyu v travmatologii i ortopedii [Joints. Guide to ultrasound examination in traumatology and orthopedics]. Kiev: UDC, 2011. p. 73-84. (In Russian).
- Граф Р., Чаунер К., Франк П., Лерхер К. Сонография тазобедренных суставов новорожденных. Диагностические и терапевтические аспекты: руководство. Пер. с нем. Томск: Из-во ТГУ; 2005. с. 46-49. Graf R., Chauner K., Frank P., Lerher K. Sonografiya tazobedrennykh sustavov novorozhdennykh. Diagnosticheskie i terapevticheskie aspekty: rukovodstvo [Sonography of the Hip Joints of Newborns. Diagnostic and therapeutic aspects: a handbook]. Tomsk: TGU; 2005. p. 46-49 (In Russian).
- Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop*. 2015; 6(11):886-901. doi: 10.5312/wjo.v6.i11.886.
- Thaler M., Biedermann R., Lair J., Krismer M., Landauer F. Cost-effectiveness of universal ultrasound screening compared with clinical examination alone in the diagnosis and treatment of neonatal hip dysplasia in Austria. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(8):1126-1130. doi: 10.1302/0301-620X.93B8.25935.
- von Kries R., Ihme N., Oberle D., Lorani A., Stark R., Altenhofen L. et al. Effect of ultrasound screening on the rate of first operative procedures for developmental hip dysplasia in Germany. *Lancet*. 2003;362(9399):1883-1887. doi: 10.1016/S0140-6736(03)14957-4.
- Clinical practice guideline: early detection of developmental dysplasia of the hip. Committee on Quality Improvement, Subcommittee on Developmental Dysplasia of the Hip. American Academy of Pediatrics. *Pediatrics*. 2000;105(4 Pt 1):896-905. doi: 10.1542/peds.105.4.896.
- Баиндурашвили А.Г., Чухраева И.Ю. Ультразвуковое исследование тазобедренных суставов в структуре ортопедического скрининга новорожденных (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2010;(3):171-178. Baidurashvili A.G., Chukhraeva I.Yu. [Ultrasonography of hip joints in structure of newborn orthopedic screening (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2010;(3):171-178. (In Russian).
- Husum H.C., Maimburg R.D., Kold S., Thomsen J.L., Rahbek O. Self-reported knowledge of national guidelines for clinical screening for hip dysplasia: a web-based survey of midwives and GPs in Denmark. *BJGP Open*. 2021;5(4):BJGPO.2021.0068. doi: 10.3399/BJGPO.2021.0068
- Graf R., Mohajer M., Plattner F. Hip sonography update. Quality-management, catastrophes — tips and tricks. *Med Ultrason*. 2013;15(4):299-303. doi: 10.11152/mu.2013.2066.154.rg2.
- Suzuki S. Ultrasound and the Pavlik Harness in CDH. *J Bone Surg Br*. 1993;75(3):483-487. doi: 10.1302/0301-620X.75B3.8496228.
- Terjesen T., Bredland T., Berg V. Ultrasound for hip assessment in the newborn. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(5):767-773. doi: 10.1302/0301-620X.71B5.2684989.
- Xie M., Chagin A.S. The epiphyseal secondary ossification center: Evolution, development and function. *Bone*. 2021;142:115701. doi: 10.1016/j.bone.2020.115701.
- Connolly P., Weinstein S.L. The course and treatment of avascular necrosis of the femoral head in developmental dysplasia of the hip. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2007; 41(Suppl 1):54-59. (In Turkish).
- Тепленький М.П., Чиркова Н.Г. Асептический некроз головки бедра при врожденной дисплазии тазобедренного сустава. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2012; 2(3):84-87. Teplenky M.P., Chirkova N.G. [Avascular necrosis of the femoral head in developmental hip dysplasia]. *Rossiiskii vestnik detskoi khirurgii, anesteziologii i reanimatologii* [Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care]. 2012; 2(3):84-87. (In Russian).
- Marks A., Cortina-Borja M., Maor D., Hashemi-Nejad A., Roposch A. Patient-reported outcomes in young adults with osteonecrosis secondary to developmental dysplasia of the hip - a longitudinal and cross-sectional evaluation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):42. doi: 10.1186/s12891-020-03865-3.
- Weinstein S.L., Dolan L.A. Proximal femoral growth disturbance in developmental dysplasia of the hip: what do we know? *J Child Orthop*. 2018;12(4):331-341. doi: 10.1302/1863-2548.12.180070.
- Tudisco C., Botti F., Bisicchia S., Ippolito E. Ischemic necrosis of the femoral head: an experimental rabbit model. *J Orthop Res*. 2015;33(4):535-541. doi: 10.1002/jor.22788.
- Azzali E., Milanese G., Martella I., Ruggirello M., Seletti V., Ganazzoli C. et al. Imaging of osteonecrosis of the femoral head. *Acta Biomed*. 2016;87(3):6-12.
- Хисаметдинова Г.Р. Современные данные об анатомии и кровоснабжении тазобедренного сустава, клинике и диагностике его воспалительно-некротического поражения. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2008;(8):18. Режим доступа: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v8/papers/hisamet_v8. Khisametdinova G.R. [The modern knowledge about anatomy and blood supply of hip joint in clinics and diagnostics of its inflammatory-necrotic lesions]. *Vestnik Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2008;(8):18. Available from: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v8/papers/hisamet_v8. (In Russian).

24. Садофьева В.И. Рентгено-функциональная диагностика заболеваний опорно-двигательного аппарата у детей. Ленинград: Медицина; 1986. с. 56-57.
Sadofyeva V.I. Rentgeno-funktsional'naya diagnostika zabolevanii oporno-dvigatel'nogo apparata u detei [X-ray functional diagnostics of diseases of the musculoskeletal system in children]. Leningrad: Meditsina; 1986. p. 56-57. (In Russian).
25. Paranjape M., Cziger A., Katz K. Ossification of femoral head: normal sonographic standards. *J Pediatr Orthop.* 2002;22(2):217-218.
26. Harcke H.T., Lee M.S., Sinning L., Clarke N.M., Borns P.F., MacEwen G.D. Ossification center of the infant hip: sonographic and radiographic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 1986;147(2):317-321. doi: 10.2214/ajr.147.2.317.
27. Atalar H., Gunay C., Aytakin M.N. Abnormal Development of the Femoral Head Epiphysis in an Infant with no Developmental Dysplasia of the Hip Apparent on Ultrasonography. *J Orthop Case Rep.* 2014;4(3):46-48. doi: 10.13107/jocr.2250-0685.195.
28. Kitay A., Widmann R.F., Doyle S.M., Do H.T., Green D.W. Ultrasound Is an Alternative to X-ray for Diagnosing Developmental Dysplasia of the Hips in 6-Month-Old Children. *HSS J.* 2019;15(2):153-158. doi: 10.1007/s11420-018-09657-9.
29. Nguyen J.C., Markhardt B.K., Merrow A.C., Dwek J.R. Imaging of Pediatric Growth Plate Disturbances. *Radiographics.* 2017;37(6):1791-1812. doi: 10.1148/rg.2017170029.
30. Zouari O., Hadidane R., Gargouri A., Daghfous M-S. [Proximal femoral epiphysis growth after closed reduction for congenital hip dislocation]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2004;90(2):132-136. (In French). doi: 10.1016/s0035-1040(04)70034-3.

Сведения об авторах

✉ Бабаева Халида Бахшали-кызы — докторант
Адрес: AZ1022, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Самеда Вургун, 155
<https://orcid.org/0000-0001-9974-1631>
e-mail: xalidababayeva.xb@gmail.com

Полухов Рамиз Шамиль-оглы — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой
<https://orcid.org/0000-0003-2256-7086>
e-mail: ramizpoluxov@mail.ru

Authors' information

✉ Khalida B. Babaeva — MD
Address: 155, Samad Vurgun str., Baku city, AZ1022, Republic of Azerbaijan
<https://orcid.org/0000-0001-9974-1631>
e-mail: xalidababayeva.xb@gmail.com

Ramiz Sh. Polukhov — MD, Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-2256-7086>
e-mail: ramizpoluxov@mail.ru

Научная статья

УДК 616.718.4-009.12-001.6-089-053.2

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1661>

Выбор способа хирургического лечения детей грудного и дошкольного возраста с вывихом бедра при амиоплазии

С.Ф. Баткин¹, С.В. Виссарионов^{1,2}, А.Г. Баиндурашвили^{1,2}, О.Е. Агранович¹, Д.Б. Барсуков¹, Д.С. Буклаев¹, Е.В. Петрова¹, С.И. Трофимова¹, Е.А. Коченова¹, М.В. Савина¹

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

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

Актуальность. У пациентов с вывихом бедра при амиоплазии встречаются различные варианты контрактур тазобедренных суставов и характерные для каждого из них деформации сустава, однако отсутствуют различия в выборе способа лечения. **Цель исследования** — обосновать и оценить эффективность оригинального алгоритма выбора способа хирургического лечения детей до 3 лет с вывихом бедра при амиоплазии. **Материал и методы.** Обследовано 70 больных. Основную группу составили 40 детей, из них 21 ребенку в возрасте до 1 года было выполнено 25 операций открытого вправления бедра, у 19 детей в возрасте с 1,5 до 3 лет открытое вправление дополнялось подвздошной остеотомией по Солтеру, корригирующей остеотомией бедренной кости. В контрольную группу вошли 30 пациентов в возрасте от 3 до 7 лет, ранее не получавшие консервативного и хирургического лечения. Пациенты основной и контрольной групп были разделены на подгруппы в зависимости от варианта контрактуры тазобедренного сустава: отводящая (первые подгруппы) и приводящая (вторые подгруппы). Использовалась оригинальная шкала оценки функции ТБС, основанная на измерении пассивных движений по отношению к функциональному диапазону движений, необходимому для выполнения повседневных действий. Для оценки результатов лучевых методов исследования применялась предложенная авторами шкала рентгенологической оценки ТБС. **Результаты.** У детей первой подгруппы после открытого вправления бедра хорошие результаты отмечены в 17% случаев, удовлетворительные — в 50%, неудовлетворительные — в 33% с развитием осложнений III и IV классов по модифицированной классификации Clavien–Dindo–Sink в 83% наблюдений. После открытого вправления бедра, подвздошной остеотомии по Солтеру, корригирующей остеотомии бедренной кости, выполненных пациентам первой подгруппы, хорошие результаты отмечены в 50% случаев, удовлетворительные и неудовлетворительные — по 25% при меньшем количестве тяжелых осложнений (50%) ($p = 0,041$). У детей второй подгруппы после открытого вправления бедра хорошие результаты получены в 90% случаев, удовлетворительные — в 10% при частоте тяжелых осложнений 10%, а при сочетании данной операции с подвздошной остеотомией по Солтеру, корригирующей остеотомией бедренной кости хорошие результаты отмечены в 75% наблюдений, удовлетворительные — в 19% и неудовлетворительные — в 6% при частоте тяжелых осложнений 25% ($p = 0,05$). **Заключение.** Дифференцированный подход к лечению детей с данной патологией позволит повысить эффективность оперативных вмешательств, а его внедрение в клиническую практику будет способствовать улучшению исходов лечения.

Ключевые слова: амиоплазия, дети, вывих бедра, открытое вправление бедра, остеотомия бедра, подвздошная остеотомия по Солтеру.

Баткин С.Ф., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Агранович О.Е., Барсуков Д.Б., Буклаев Д.С., Петрова Е.В., Трофимова С.И., Коченова Е.А., Савина М.В. Выбор способа хирургического лечения детей грудного и дошкольного возраста с вывихом бедра при амиоплазии. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):67-78. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1661>.

Cite as: Batkin S.F., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Agranovich O.E., Barsukov D.B., Buklaev D.S., Petrova E.V., Trofimova S.I., Kochenova E.A., Savina M.V. [Surgical Treatment of Children with Hip Dislocation in Amyoplasia-Type Arthrogryposis: A Rational Approach to Treatment Selection]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):67-78. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1661>.

Баткин Сергей Федорович / Sergey F. Batkin; e-mail: sergey-batkin@mail.ru

Рукопись получена: 08.08.2021. Рукопись одобрена: 06.12.2021. Статья опубликована онлайн: 11.02.2022. Submitted: 08.08.2021. Accepted: 06.12.2021. Published Online: 11.02.2022.

© Баткин С.Ф., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Агранович О.Е., Барсуков Д.Б., Буклаев Д.С., Петрова Е.В., Трофимова С.И., Коченова Е.А., Савина М.В., 2022

© Batkin S.F., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Agranovich O.E., Barsukov D.B., Buklaev D.S., Petrova E.V., Trofimova S.I., Kochenova E.A., Savina M.V., 2022

Surgical Treatment of Children with Hip Dislocation in Amyoplasia-Type Arthrogyrosis: A Rational Approach to Treatment Selection

Sergey F. Batkin¹, Sergey V. Vissarionov^{1,2}, Alexey G. Baindurashvili^{1,2}, Olga E. Agranovich¹, Dmitriy B. Barsukov¹, Dmitriy S. Buklaev¹, Ekaterina V. Petrova¹, Svetlana I. Trofimova¹, Evgenia A. Kochenova¹, Margarita V. Savina¹

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

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

Background. Patients with amyoplasia-type arthrogyrosis and hip dislocation have different variants of hip contractures and deformities, but there is no difference in the selection of the type of surgery. **The study aimed** to justify and evaluate the effectiveness of the original algorithm of the rational selection of surgical approaches in children aged <3 years with hip dislocation in amyoplasia. **Material and Methods.** Level of evidence II. Seventy patients were examined, including 21 children aged <1 year (main group) who underwent 25 hip open reductions; 19 children aged 1.5–3 years (main group) who underwent hip open reductions, Salter innominate osteotomy, and femoral osteotomy; and 30 patients aged 3–7 years (control group) who had not previously received conservative and surgical treatment. All patients were divided into two subgroups depending on the variant of hip contracture: flexion–extension–abduction–external rotation (frog-like) (subgroup 1) and flexion–extension–adduction–external rotation (subgroup 2). Clinical, radiological, and statistical methods were used. **Results.** In subgroup 1, after hip open reduction, good results were noted in 17% of cases, satisfactory in 50%, and unsatisfactory in 33%. Severe complications, i.e., classes III and IV according to the modified Clavien–Dindo–Sink classification, were noted in 83% of the cases. After hip open reduction, Salter innominate osteotomy, and femoral osteotomy in subgroup 1, good results were noted in 50% of cases and satisfactory and unsatisfactory each in 25%, and 50% had less severe complications ($p = 0.041$). In subgroup 2, after hip open reduction, good results were obtained in 90% of cases and satisfactory in 10%, and 10% had severe complications. When this surgery was combined with Salter innominate osteotomy and femoral osteotomy, good results were noted in 75% of cases, satisfactory in 19%, and unsatisfactory in 6%, and 25% had severe complications ($p = 0.05$). **Conclusion.** A differentiated treatment approach of children with hip dislocation in amyoplasia-type arthrogyrosis will increase the effectiveness of treatment methods, and its introduction into clinical practice will help to improve outcomes.

Keywords: amyoplasia-type arthrogyrosis, children, hip dislocation, open reduction, femoral osteotomy, Salter innominate osteotomy.

Введение

Актуальность проблемы лечения детей с вывихом бедра при амиоплазии обусловлена высокой частотой встречаемости (15–41%), тяжестью анатомических и функциональных нарушений в суставе, а также большим количеством осложнений после проведенного лечения [1, 2]. Консервативное лечение детей с вывихом бедра, успешно применяемое при дисплазии развития тазобедренного сустава (ТБС), неэффективно при амиоплазии, поэтому данная патология требует первичного хирургического лечения [3, 4, 5, 6]. Известно, что у пациентов с вывихом бедра при амиоплазии встречаются различные варианты контрактур ТБС и характерные для каждого из них деформации структур сустава, однако отсутствуют различия в выборе способа лечения [7, 8, 9, 10]. Доказано, что у больных с данной патологией имеется избыточная антеверсия вертлужной впадины с недоразвитием переднего и верхнего ее краев. В частности, для пациентов

с сопутствующими сгибательно-разгибательно-отводяще-наружноротационными (отводящими) контрактурами ТБС характерна ретроторсия бедренной кости, а для детей со сгибательно-разгибательно-приводяще-наружноротационными (приводящими) контрактурами — антеторсия, которая может варьировать в широком диапазоне [10].

Анализ литературы по данной проблеме за последние 10 лет показал, что большинство публикаций представлены небольшими сериями клинических случаев, посвященных раннему хирургическому лечению, а именно выполнению операции открытого вправления бедра (ОВБ) в сочетании с периартикулярными релизами. При этом хорошие результаты лечения варьируют в широком диапазоне — от 54 до 90% случаев, однако имеются сообщения, указывающие на неэффективность данного вмешательства [10, 11, 12, 13]. Некоторые авторы предлагают дополнять ОВБ корригирующей остеотомией бедренной кости

(КОБ) и различными вариантами периацетабулярных остеотомий или ацетабулопластик в более старшем возрасте, но при этом акцентируют внимание на наибольшем количестве послеоперационных осложнений у детей старше 3 лет. Хорошие результаты лечения после ОВБ, КОБ и различных периацетабулярных реконструкций составляют от 70 до 80% случаев [6, 7, 14].

К сожалению, отсутствуют публикации, посвященные оценке эффективности различных способов хирургического лечения в зависимости от возраста и варианта контрактуры ТБС.

Цель исследования — обосновать и оценить эффективность оригинального алгоритма выбора способа хирургического лечения детей до 3 лет с вывихом бедра при амиоплазии, направленного на улучшение исходов лечения.

Материал и методы

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое ретроспективное когортное контролируемое исследование результатов до- и послеоперационного обследования 70 детей в возрасте от 5 месяцев до 7 лет с вывихом

бедра (86 ТБС) при амиоплазии, из них 42 (60%) мальчика и 28 (40%) девочек.

Основную группу составили 40 пациентов (49 ТБС), из них 21 ребенок (25 ТБС) в возрасте от 5 мес. до 1 года и 19 детей (24 ТБС) в возрасте от 1,5 до 3 лет, которым были выполнены хирургические вмешательства по поводу вывиха бедра. У 10 детей (14 ТБС) наблюдались отводящие контрактуры и у 30 пациентов (35 ТБС) — приводящие контрактуры.

Для оценки результатов хирургического лечения была сформирована контрольная группа из 30 больных (37 ТБС) с амиоплазией и вывихом бедра в возрасте от 3 до 7 лет, не получивших ранее консервативного и хирургического лечения, из них у 3 детей (5 ТБС) имелись отводящие контрактуры и у 27 больных (32 ТБС) — приводящие контрактуры.

Пациенты основной и контрольной групп были разделены на две подгруппы в зависимости от варианта контрактур ТБС. В первые подгруппы вошли пациенты с отводящими контрактурами ТБС, во вторые подгруппы — пациенты с приводящими контрактурами (рис. 1).

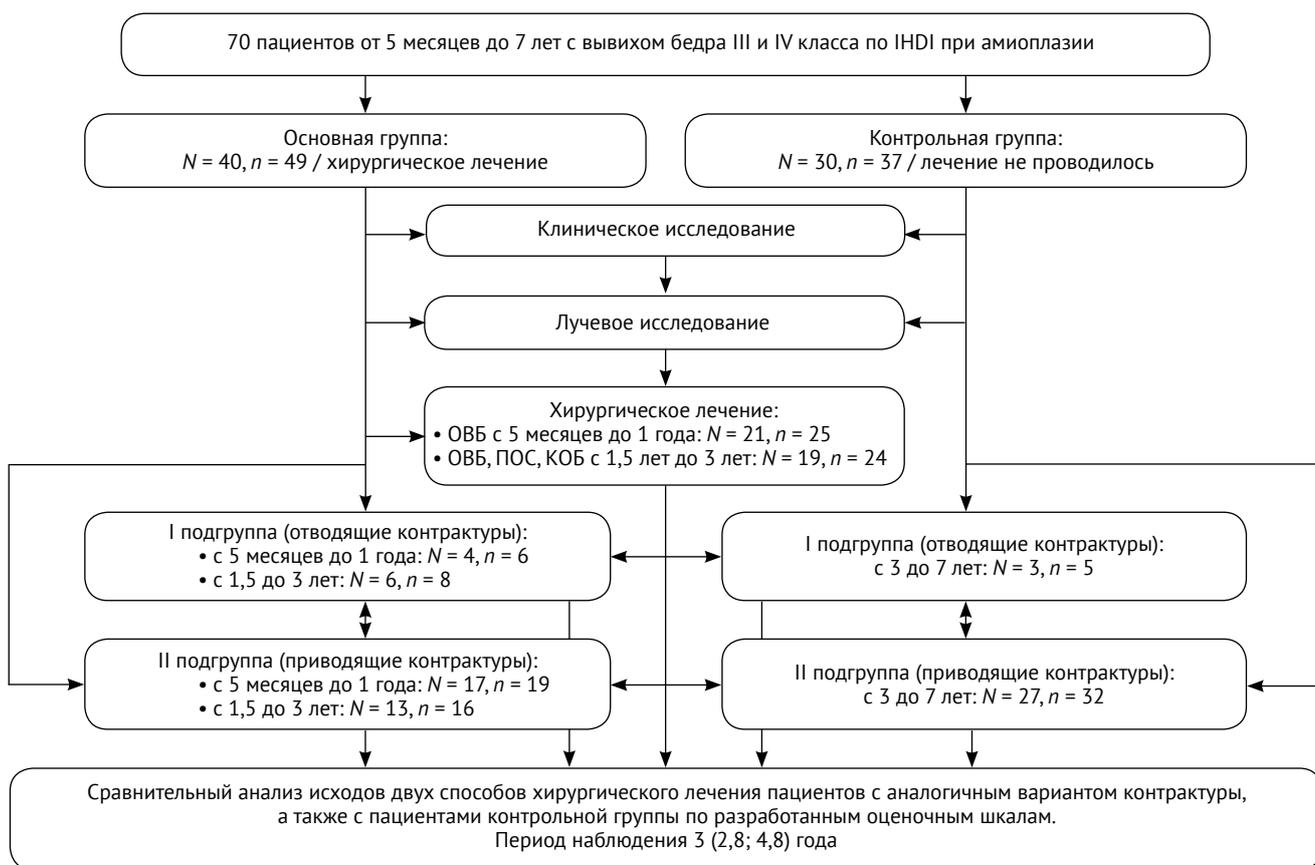


Рис. 1. Блок-схема дизайна исследования (N — число пациентов, n — число суставов)

Fig. 1. Study flowchart (N — number of patients; n — number of joints)

Критерии включения пациентов в исследование:

- 1) диагноз «амиоплазия»;
- 2) рентгенологические признаки вывиха бедра III и IV классов по классификации International Hip Dysplasia Institute (IHDI) [15];
- 3) дети с амиоплазией в возрасте до 3 лет, получавшие хирургическое лечение по поводу вывиха бедра;
- 4) дети с амиоплазией в возрасте от 3 до 7 лет, ранее не получавшие хирургического и консервативного лечения по поводу вывиха бедра.

Всем пациентам основной группы в возрасте до 1 года без учета варианта контрактур ТБС выполнялось ОВБ, а детям с 1,5 до 3 лет это вмешательство дополнялось подвздошной остеотомией по Солтеру (ПОС) и КОБ. Во всех случаях применялся переднелатеральный доступ к ТБС Уотсон-Джонса, выполнялись тенотомии *m. rectus femoris*, *m. iliopsoas*. После Т-образной передне-нижней артротомии удалялись *lig. teres*, *lig. transversum acetabuli* и фиброзно-жировая подушка, при операции ОВБ в изолированном виде осуществлялась трансартикулярная фиксация спицей Киршнера. Детям первых подгрупп проведено 14 операций: во всех случаях были выполнены тенотомии *m. rotator triceps coxae*, *m. piriformis* с целью коррекции наружноротационной контрактуры и достижения концентрического вправления бедра. У пациентов первой подгруппы при выполнении ОВБ (6 операций) с равной частотой (по 3 случая) выполнялись Z-образное удлинение сухожильных частей *mm. gluteus medius et minimus* и задняя капсулотомия, которая позволяла увеличить амплитуду пассивной внутренней ротации для лучшей центрации головки во впадине. Показанием к удлинению сухожильных частей *mm. gluteus medius et minimus* мы считали отводящую контрактуру ТБС более 20°.

Р.М. Тихилов с соавторами при обследовании взрослых пациентов с анкилозами ТБС выявили, что превышение функционально выгодного (по Merle d'Aubigné) сгибания на 15°, отведения более 10° или приведения более 6° приводит к неопороспособности конечности [16]. При выполнении ОВБ, КОБ, ПОС (8 операций) с равной частотой, по 2 случая, выполнялись задняя капсулотомия и Z-образное удлинение сухожильных частей *mm. gluteus medius et minimus*.

Пациентам вторых подгрупп всего выполнено 35 хирургических вмешательств. При выполнении ОВБ (19 операций) тенотомии *m. rotator triceps coxae*, *m. piriformis* выполнялись в 12 (63%) случаях. Также с равной частотой, по 2 случая, данная манипуляция сочеталась с задней капсулотомией и тенотомиями *mm. adductor longus et brevis*, *m. gracilis*. При выполнении ОВБ, КОБ, ПОС (16 вмешательств) для достижения концентрического вправления

детям второй подгруппы в 100% случаях потребовалось выполнение тенотомий *m. rotator triceps coxae*, а также с равной частотой, по 2 случая (по 12,5%), были выполнены задняя капсулотомия и тенотомии *mm. adductor longus et brevis*, *m. gracilis*.

Продолжительность иммобилизации кокситной гипсовой повязкой во всех случаях составила 6 недель. Оценка эффективности применяемых способов хирургического лечения в различных возрастных группах проводилась в дошкольном возрасте (от 3 до 7 лет). Исходы лечения пациентов основной группы с отводящими или приводящими контрактурами после выполнения двух способов хирургического лечения сравнивались между собой, а также с исходами в контрольной группе с аналогичным вариантом контрактуры. Период наблюдения составил от 2,6 до 6 лет, медиана — 3 (2,8; 4,8) года.

Методы исследования

При клиническом исследовании использовалась оригинальная шкала оценки функции ТБС (ШОФТБС), основанная на измерении пассивных движений по отношению к функциональному диапазону движений, необходимому для выполнения повседневных действий. Для оценки результатов лучевых методов исследования применялась также оригинальная шкала рентгенологической оценки ТБС — ШРОТБС [10].

Дополнительно выполняли рентгенографию и МСКТ ТБС для измерения ацетабулярного индекса (АИ), угла переднего края вертлужной впадины (УПК), истинного шеечно-диафизарного угла (ист. ШДУ), а также угла торсии бедренной кости (УТБК) [17, 18]. За норму УПК, УЗК, СУ были взяты данные Е.В. Огарева и А.К. Морозова [18]. Рентгенометрия данных выполнялась измерительным инструментарием в системе Picture Archiving and Communication System (PACS).

Послеоперационные осложнения оценивались по модифицированной для детской ортопедии классификации хирургических осложнений Clavien–Dindo–Sink, при этом учитывались осложнения только II–IV классов [18]. Ко II классу осложнений, не требующих дополнительных хирургических операций, были отнесены случаи развития асептического некроза головки бедренной кости (АНГБК) I группы по Kalamchi–McEwen, являвшиеся обратимым осложнением и требовавшие лишь увеличения срока ограничения осевой нагрузки. III класс осложнений включал релюксацию и подвывих бедра, а также ложный сустав тела подвздошной кости, которые требовали повторного хирургического лечения. К IV классу осложнений были отнесены АНГБК III и IV групп, приводящие к деформации структур ТБС и ухудшению функции [19].

Результаты лечения оценивались в совокупности на основании оригинальных ШОФТБС и ШРОТБС. К хорошим результатам мы относили 14–18 баллов по ШОФТБС и 10–11 баллов по ШРОТБС, к удовлетворительным — 8–13 баллов по ШОФТБС и 8–9 баллов по ШРОТБС, к неудовлетворительным — 7 и менее баллов по ШРОТБС и ШОФТБС.

Статистический анализ

Статистическая обработка количественных данных была проведена с использованием непараметрических методов при помощи программы IBM SPSS Statistics v.22. Рассчитывали медианы (Me), 1-й и 3-й квартильные интервалы (Q1; Q3). Сравнение количественных признаков между независимыми группами проводили при помощи U-критерия Манна–Уитни. Оценка внутригрупповой динамики проводилась при помощи T-критерия Вилкоксона. Статистически значимым считался результат при $p \leq 0,05$.

Результаты

После ОВБ, выполненной детям первой подгруппы, только в одном случае (17%) была отмечена хорошая функция ТБС, в остальных 5 (83%) наблюдениях был получен удовлетворительный функциональный результат согласно ШОФТБС. При внутригрупповом и межгрупповом анализе с группой контроля значимого улучшения функции ТБС после ОВБ отмечено не было ($p = 0,157$; $p = 0,177$).

Согласно ШОФТБС после ОВБ, КОБ, ПОС у детей первой подгруппы получены в равном количестве, по 4 случая (по 50%), хорошая и удовлетворительная функция ТБС. После данной операции улучшилось функциональное состояние ТБС при внутригрупповом и межгрупповом анализе с группой контроля, что обусловлено увеличением пассивной внутренней ротации в ТБС ($p = 0,023$; $p = 0,003$).

У пациентов первых подгрупп выявлено значительно лучшее функциональное состояние ТБС по ШОФТБС после операции ОВБ, КОБ, ПОС (14 (13; 14,7) баллов), чем после ОВБ (13 (11; 13) баллов) ($p = 0,002$) (рис. 2).

По данным рентгенографии и МСКТ, у детей первой подгруппы после ОВБ выявлена незначимая внутригрупповая динамика уменьшения АИ с 41° (39,2°; 41°) до 37° (31,5°; 41,2°) ($p = 0,172$), УПК с $73,5^\circ$ (69,2°; 101°) до 73° (68°; 100°) ($p = 0,357$), значимое увеличение УТБК с -10° (-18°; -5°) до -5° (-15,0°; -2,2°) ($p = 0,027$). Ист. ШДУ не имел значимых различий и составил $122,5^\circ$ (120°; 125°) до и 125° (120°; 125°) после лечения ($p = 0,317$). При межгрупповом анализе данных с аналогичными показателями детей контрольной группы, где АИ составил 37° (36°; 40°), УПК составил 75° (64,5°; 76,0°), УТБК -9° (-10°; 0°), ист. ШДУ 125° (125,0°; 127,5°), как до, так и после лечения значимых различий получено не было ($p > 0,05$).

Согласно ШРОТБС после ОВБ у детей первой подгруппы хорошее состояние ТБС отмечено только в 1 случае (17%), удовлетворительное — в 3 наблюдениях (50%) и неудовлетворительное — в 2 случаях (33%). Внутригрупповой и межгрупповой анализ с контрольной группой показал отсутствие улучшения по ШРОТБС после ОВБ ($p = 0,792$; $p = 0,247$).

У больных первой подгруппы после ОВБ, КОБ, ПОС отмечено значимое уменьшение АИ с 38° (35°; 45°) до 10° (2°; 14°) ($p = 0,012$), увеличение УТБК — с 10° (-18°; -10°) до 10° (6°; 20°) ($p = 0,017$), уменьшение УПК с 79° (72°; 80°) до 58° (54°; 62°) ($p = 0,011$), ист. ШДУ не имел значимых различий и составлял 125° (121°; 125°) до лечения и 125° (123°; 125°) — после ($p = 0,577$). При межгрупповом анализе полученных данных с аналогичными показателями детей контрольной группы получены значимые различия по АИ, УПК, УТБК ($p \leq 0,05$).

После ОВБ, КОБ, ПОС у пациентов первой подгруппы в 4 случаях (50%) отмечено хорошее рентгенологическое состояние ТБС, в 2 наблюдениях (25%) удовлетворительное и в 2 (25%) — неудовлетворительное. Внутригрупповой и межгрупповой анализ с контрольной группой по ШРОТБС показал улучшение рентгенологического состояния ТБС у детей первой подгруппы после проведенного лечения ($p = 0,017$; $p = 0,003$).

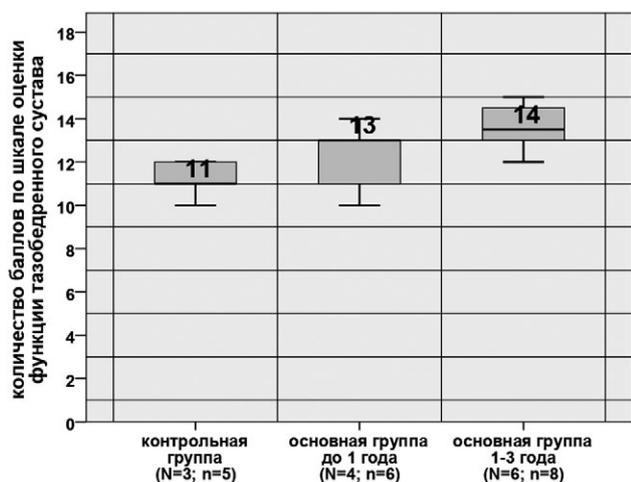


Рис. 2. Диаграмма размаха баллов по ШОФТБС у пациентов первых подгрупп после хирургического лечения ($p \leq 0,05$, U-критерий Манна–Уитни), где N — количество пациентов, n — количество тазобедренных суставов

Fig. 2. Distribution of the values according to the hip functional scale in subgroup 1 after surgical treatment ($p \leq 0,05$, Mann–Whitney U-test); N — number of patients; n — number of hips

У пациентов из первых подгрупп рентгенологическое состояние ТБС по ШРОТБС было значимо лучше после ОВБ, КОБ, ПОС (10 (7,5; 11) баллов), чем после ОВБ (8 (6; 8) баллов) ($p = 0,043$) (рис. 3).

После выполнения 6 операций ОВБ 4 пациентам первой подгруппы отмечено по 2 случая (по 33%) релюксации и подвывиха бедра, потребовавших выполнения повторного ОВБ в сочетании с КОБ,

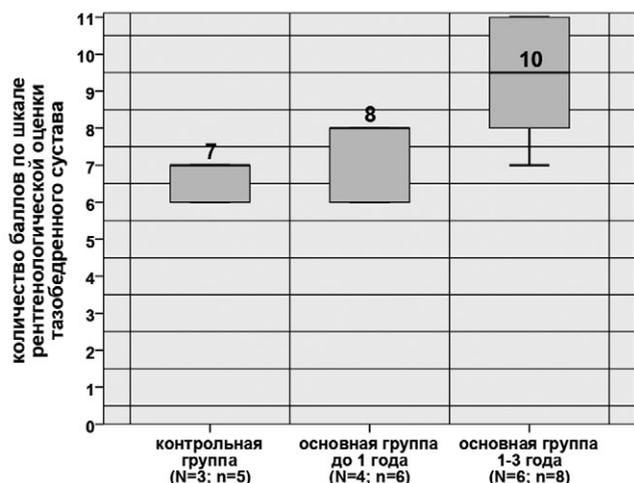


Рис. 3. Диаграмма размаха баллов по ШРОТБС у пациентов первых подгрупп после хирургического лечения ($p \leq 0,05$; U-критерий Манна – Уитни)

Fig. 3. Distribution of the values according to the hip X-ray assessment scale in subgroup 1 after surgical treatment ($p \leq 0,05$, Mann–Whitney U-test)

ПОС в дошкольном возрасте, и один (17%) случай АНГБК III группы по Kalamchi–MacEwen, приведший к формированию деформации проксимального отдела бедренной кости по типу *coxa vara trochanterica*. Таким образом, осложнения III класса были отмечены в 66% случаев, осложнения IV класса — в 17%.

После выполнения 8 операций ОВБ, КОБ, ПОС 6 детям первой подгруппы АНГБК развился в 3 случаях (38%), из них к III группе был отнесен 1 сустав (12%), к IV группе — 2 сустава (26%), и в 1 наблюдении (12%) развился ложный сустав подвздошной кости. Осложнения III класса отмечены в 12% случаев, а IV класса — в 38%.

Осложнения после хирургического лечения у детей первых подгрупп чаще наблюдались после ОВБ, чем после ОВБ, КОБ, ПОС ($p = 0,041$).

У пациентов первой подгруппы после ОВБ, КОБ, ПОС хорошие результаты лечения были получены в 4 (50%) случаях, а также по 2 (по 25%) случая удовлетворительных и неудовлетворительных результатов. После операции ОВБ у больных первой подгруппы только в 1 (17%) наблюдении отмечен хороший результат, в 3 (50%) случаях — удовлетворительный и в 2 (33%) наблюдениях — неудовлетворительный. Таким образом, у пациентов первых подгрупп операция ОВБ, КОБ, ПОС позволила получить значимо лучшие результаты лечения, чем операция ОВБ, что обусловлено лучшим как функциональным, так и рентгенологическим состоянием ТБС ($p = 0,043$) (рис. 4).

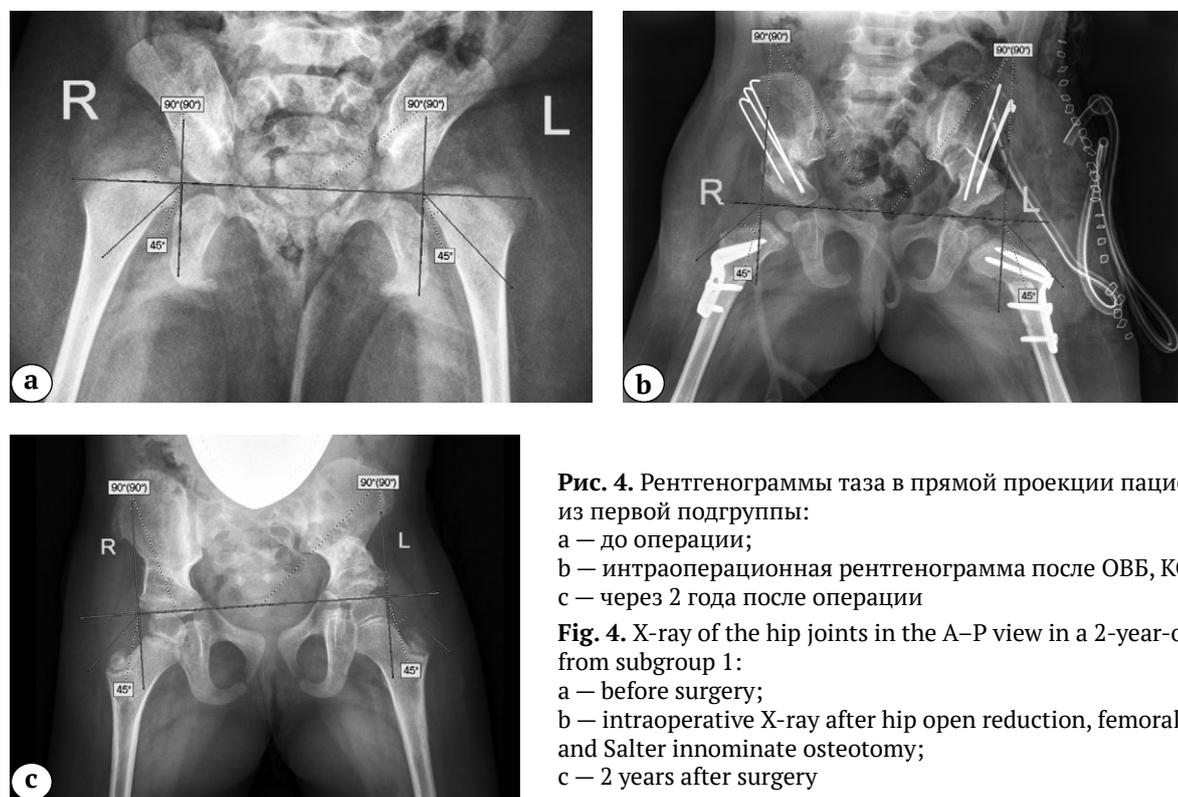


Рис. 4. Рентгенограммы таза в прямой проекции пациентки 2 лет из первой подгруппы: а — до операции; б — интраоперационная рентгенограмма после ОВБ, КОБ, ПОС; в — через 2 года после операции

Fig. 4. X-ray of the hip joints in the A–P view in a 2-year-old patient from subgroup 1: а — before surgery; б — intraoperative X-ray after hip open reduction, femoral osteotomy, and Salter innominate osteotomy; в — 2 years after surgery

У детей вторых подгрупп после ОВБ в 1 случае (5%) отмечена удовлетворительная функция по ШОФТБС, в остальных 18 наблюдениях (95%) — хорошая, а после операции ОВБ, КОБ, ПОС в 1 случае (6%) отмечена удовлетворительная функция и в 15 наблюдениях (94%) — хорошая.

По ШОФТБС у детей вторых подгрупп после ОВБ (17 (14; 17) баллов) и после ОВБ в сочетании с КОБ и ПОС (16 (15; 16) баллов) значимых различий выявлено не было ($p = 0,423$). Отмечено лучшее функциональное состояние ТБС у больных вторых подгрупп после хирургического лечения, чем у детей второй подгруппы контрольной группы (14 (13; 14) баллов) ($p = 0,000$). Улучшение функции ТБС связано со значимым увеличением амплитуд пассивного сгибания и отведения после операции ОВБ, а также с увеличением объема пассивного отведения после операции ОВБ, КОБ, ПОС (рис. 5).

По данным рентгенометрии, у больных второй подгруппы после ОВБ отмечено значимое уменьшение АИ с 44° ($39,7^\circ$; $45,0^\circ$) до 26° (24° ; 31°) ($p = 0,001$), значимое уменьшение УПК с 70° (70° ; 73°) до 64° (61° ; 67°) ($p = 0,001$), значимо не изменились ист. ШДУ, который составил 130° (125° ; 130°) до лечения и 125° (120° ; 135°) после ($p = 0,317$), а также УТБК — 12° (10° ; 33°) до лечения и 15° (12° ; 25°) после лечения ($p = 0,304$). При сравнении отмечена значимая динамика уменьшения УПК у детей второй подгруппы основной группы после лечения по сравнению с аналогичным показателем у пациентов контрольной группы, который составил 68° (59° ; 80°) ($p = 0,046$). Отмечено умень-

шение АИ у детей второй подгруппы основной группы по сравнению с контрольной группой, где его значение составило 45° ($38,5^\circ$; $47,0^\circ$) ($p = 0,000$). У детей контрольной группы УТБК составил 17° ($13,5^\circ$; $24,0^\circ$), ист. ШДУ 125° (125° ; 130°), при сравнении с аналогичными углами основной группы как до, так и после лечения значимых различий выявлено не было ($p > 0,05$).

В результате анализа по ШРОТБС у детей второй подгруппы после ОВБ в 2 случаях (10%) отмечено удовлетворительное рентгенологическое состояние ТБС и в 17 наблюдениях (90%) — хорошее. После проведенного лечения согласно ШРОТБС отмечено значимо лучшее рентгенологическое состояние ТБС, чем до него ($p = 0,000$).

У детей второй подгруппы после ОВБ, КОБ, ПОС отмечено значимое уменьшение АИ с $42,5^\circ$ ($33,2^\circ$; $51,5^\circ$) до $15,5^\circ$ ($10,5^\circ$; $20,5^\circ$), УТБК с 17° ($7,5^\circ$; $30,0^\circ$) до 10° (10° ; 15°) ($p = 0,013$), УПК с 79° ($67,5^\circ$; $83,0^\circ$) до 61° ($57,2^\circ$; $62,7^\circ$) ($p = 0,000$), ист. ШДУ значимо не изменился и составил $127,5^\circ$ (120° ; 130°) до лечения и 125° (125° ; 130°) после ($p = 0,564$). При сравнительном анализе АИ, УПК, УТБК между пациентами контрольной и основной групп после лечения выявлено их значимое уменьшение ($p \leq 0,05$), а также отсутствие значимой динамики ист. ШДУ ($p = 0,377$).

После операции ОВБ, КОБ, ПОС, выполненной пациентам второй подгруппы, в 1 случае (6%) отмечено неудовлетворительное рентгенологическое состояние по ШРОТБС, в 3 наблюдениях (19%) — удовлетворительное, в остальных 12 случаях (75%) — хорошее. Таким образом, рентгенологическое состояние ТБС после лечения стало лучше, чем до него ($p = 0,000$).

Результаты обследования по ШРОТБС у больных вторых подгрупп, которым хирургическое лечение было выполнено в объеме ОВБ (10 (10; 11) баллов) и в сочетании с КОБ и ПОС (11 (10; 11) баллов), значимо не отличались ($p = 0,880$), но были лучше, чем у детей контрольной группы ($p = 0,000$) (рис. 6).

После выполнения 19 операций ОВБ 17 больным второй подгруппы в 1 (5%) наблюдении развился подвывих бедра, потребовавший выполнения повторного вмешательства в объеме КОБ, ПОС в дошкольном возрасте. АНГБК развился в 4 случаях (21%), из них в 3 наблюдениях (16%) отмечена I группа по Kalamchi–MacEwen с полным восстановлением сферичности головки бедренной кости через 1,5 года и в 1 случае (5%) — III группа с формированием *coxa vara trochanterica*. Таким образом, осложнения III и IV классов развились в равном количестве — по 5% случаев, а осложнения II класса наблюдались в 16%, которые не повлияли на отдаленные результаты лечения.

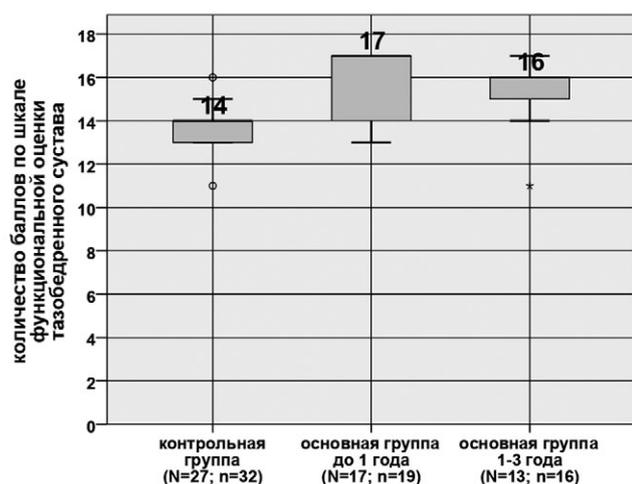


Рис. 5. Диаграмма размаха баллов по ШОФТБС у пациентов вторых подгрупп после хирургического лечения ($p \leq 0,05$; U-критерий Манна – Уитни)

Fig. 5. Distribution of the values according to the hip functional scale in subgroup 2 after surgical treatment ($p \leq 0,05$, Mann–Whitney U-test)

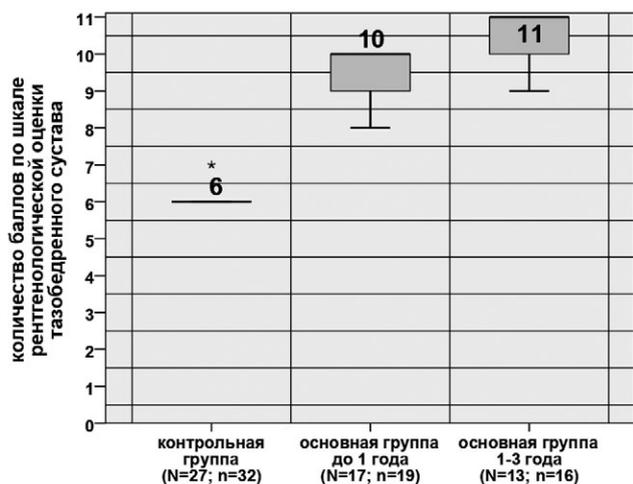


Рис. 6. Диаграмма размаха баллов по ШРОТБС у пациентов вторых подгрупп после хирургического лечения ($p \leq 0,05$; U-критерий Манна – Уитни)

Fig. 6. Distribution of the values according to the hip X-ray assessment scale in subgroup 2 after surgical treatment ($p \leq 0.05$, Mann–Whitney U-test)

После выполнения 16 операций ОВБ, КОБ, ПОС 13 пациентам второй подгруппы релюксация бедра отмечена в 1 наблюдении (6%), в остальных 4 случаях (25%) развился АНГБК, из них к III группе по Kalamchi–MacEwen были отнесены 3 сустава (19%), а к I группе – 1 сустав (6%). Осложнения

II класса наблюдались в 6% случаев и не повлияли на отдаленные результаты лечения, III и IV классы осложнений отмечены в 4 наблюдениях в виде релюксации и АНГБК III группы, что составило 25%, которые потребовали повторного хирургического лечения или привели к деформации ТБС, ухудшив его функцию.

Таким образом, у детей вторых подгрупп послеоперационные осложнения по модифицированной классификации Clavien–Dindo–Sink III и IV классов наблюдались в 25% случаев после ОВБ, КОБ, ПОС и только в 10% после операции ОВБ ($p = 0,05$).

У детей вторых подгрупп после операции ОВБ хорошие результаты отмечены в 17 случаях (90%), удовлетворительные – в 2 наблюдениях (10%), а после ОВБ, КОБ, ПОС хорошие результаты отмечены в 12 наблюдениях (75%), удовлетворительные – в 3 случаях (19%), в 1 наблюдении (6%) получен неудовлетворительный результат (рис. 7).

На основании проведенного сравнительного анализа эффективности оперативного лечения детей до 3 лет с вывихом бедра при амиоплазии предложен алгоритм выбора способа хирургического лечения. Первоочередным этапом выбора является правильная постановка диагноза, уточнение варианта контрактуры ТБС. Следующим этапом необходимо выполнить рентгенографию в прямой проекции и МСКТ ТБС с захватом мы-

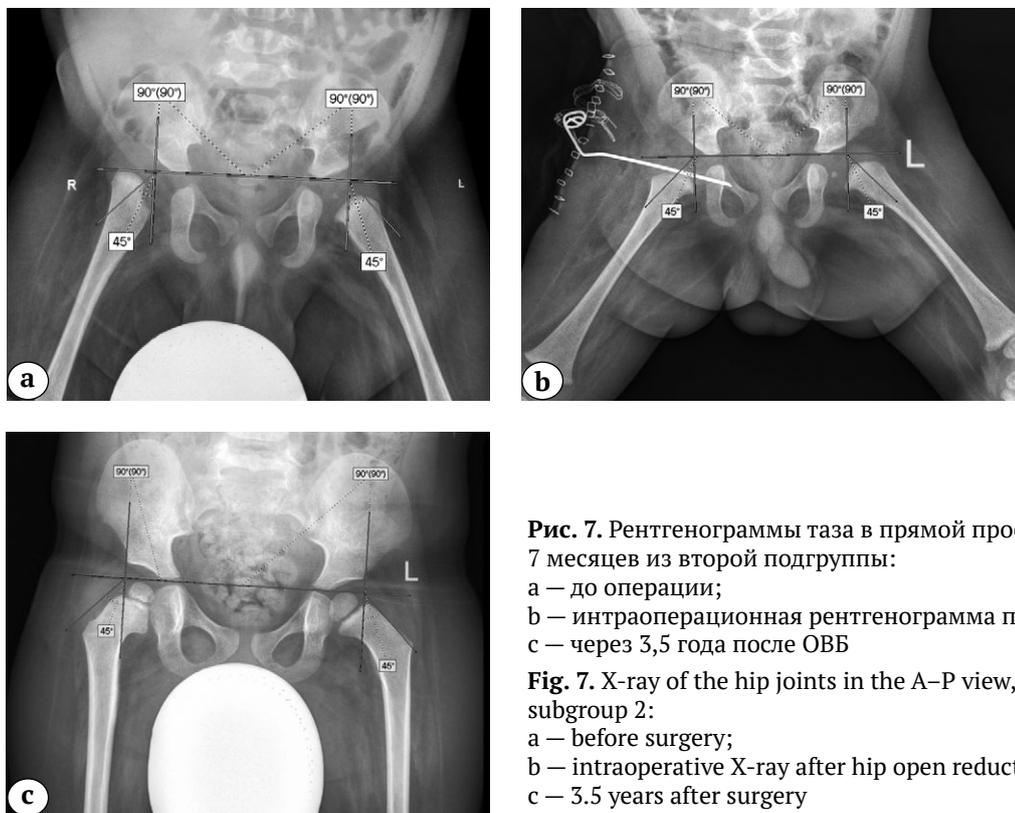


Рис. 7. Рентгенограммы таза в прямой проекции пациента 7 месяцев из второй подгруппы:

- a – до операции;
- b – интраоперационная рентгенограмма после ОВБ;
- c – через 3,5 года после ОВБ

Fig. 7. X-ray of the hip joints in the A–P view, in a 7-month-old patient subgroup 2:

- a – before surgery;
- b – intraoperative X-ray after hip open reduction;
- c – 3.5 years after surgery

щелков бедренной кости для определения рентгеноанатомических особенностей, характерных для пациентов с сопутствующими отводящими или приводящими контрактурами, которые необходимо учитывать в ходе предоперационного планирования. Данный алгоритм позволит с высокой степенью вероятности разделить пациентов на две группы, требующие дифференцированного подхода к лечению, даже если они уже его получили или находятся на этапе лечения по поводу контрактур коленных суставов и/или деформаций стоп. Таким образом, детям с отводящими контрактурами ТБС

до полутора лет следует проводить лечение сопутствующих контрактур и деформаций суставов нижних конечностей и только потом выполнять вмешательства на ТБС в объеме ОВБ, КОБ, ПОС до 3 лет. Пациенты с приводящими контрактурами после рождения должны получать лечение, направленное на коррекцию сопутствующих контрактур и деформаций суставов нижних конечностей, а с 5 мес. до 1 года им необходимо выполнить ОВБ. В случае более позднего обращения за помощью выполнение ОВБ, КОБ, ПОС до 3 лет также допустимо (рис. 8).

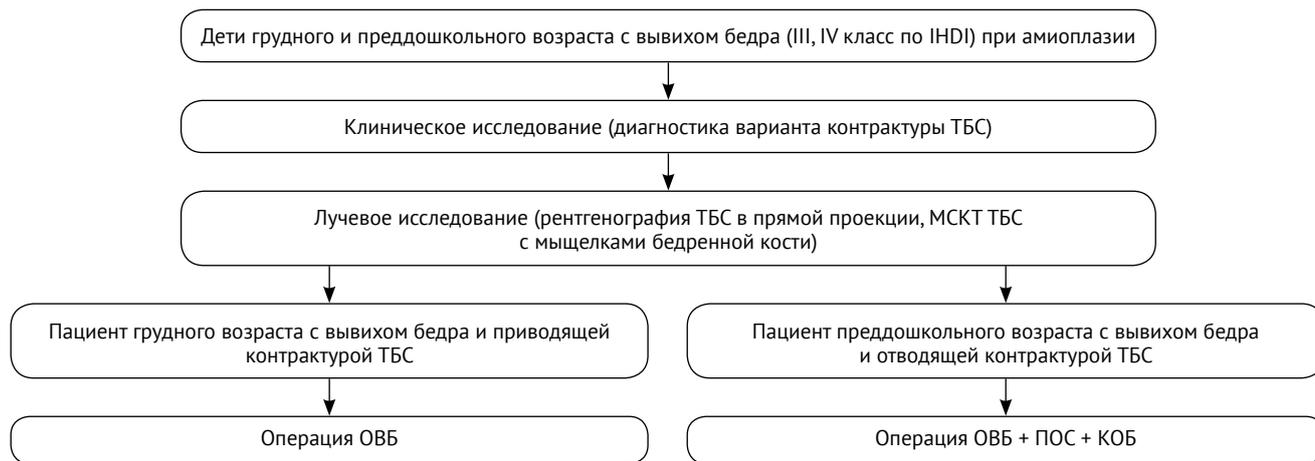


Рис. 8. Алгоритм рационального выбора способа хирургического лечения детей до 3 лет с вывихом бедра при амиоплазии

Fig. 8. Algorithm of the rational selection of the surgical approach in children aged <3 years with hip dislocation in amyoplasia

Обсуждение

Операция ОВБ эффективна только у детей до 1 года с приводящими контрактурами. Данное вмешательство улучшает функцию ТБС согласно ШОФТБС за счет увеличения амплитуды пассивного сгибания и отведения ($p \leq 0,05$). Отмечается восстановление сферичности вертлужной впадины за счет доразвития ее верхнего и переднего краев. Данное состояние обусловлено взаимным стимулирующим влиянием головки бедренной кости и вертлужной впадины, что продемонстрировали значимая динамика уменьшения АИ, УПК, а также улучшение рентгенологического состояния ТБС по ШРОТБС ($p \leq 0,05$). ОВБ сопровождается меньшей частотой осложнений и большим количеством хороших результатов лечения, чем сочетание данной операции с КОБ и ПОС ($p = 0,05$).

Определена эффективность операции ОВБ, КОБ, ПОС у больных с отводящими контрактурами ТБС из-за значимого улучшения функции по ШОФТБС, обусловленной увеличением амплитуды пассивной внутренней ротации в ТБС ($p \leq 0,05$). Данное вмешательство устраняет недо-

статочность переднего и верхнего краев вертлужной впадины, а также ретроторсию бедренной кости, о чем свидетельствует уменьшение АИ, УПК, увеличение УТБК, а также улучшение рентгенологического состояния по ШРОТБС ($p \leq 0,05$). Неэффективность ОВБ у детей с отводящими контрактурами связана, по нашему мнению, с выраженной наружноротационной контрактурой, низким потенциалом доразвития вертлужной впадины, которые в совокупности влияют на стабильность сустава и являются причинами релюксации и формирования подвывиха бедра, преимущественно переднего. Ретроторсия бедренной кости у пациентов с отводящей контрактурой, по нашему мнению, является последствием мышечного дисбаланса наружных и внутренних ротаторов бедра. Полученные данные, указывающие на уменьшение УТБК после ОВБ, связаны, по всей видимости, со скручиванием бедра кнутри во время гипсования и ЛФК, что не противоречит данным литературы [8].

Хорошие исходы лечения пациентов первой подгруппы после ОВБ, КОБ, ПОС (50%), а также

детей вторых подгрупп после ОВБ (90%) и ее сочетания с КОБ, ПОС (75%), полученные в ходе исследования, сопоставимы с данными литературы (54–90%) [11, 12, 13, 20]. Однако, как демонстрирует данное исследование, у детей первой подгруппы после ОВБ хорошие результаты лечения составили лишь 17%, что значительно хуже, чем в проанализированных источниках, а также чем у пациентов второй подгруппы, чего ранее не было описано в публикациях, рассматривающих когорты пациентов с амиоплазией и различными формами врожденного множественного артрогрипоза в совокупности.

Осложнение в виде АНГБК после выполнения операций ОВБ у детей первой и второй подгрупп наблюдалось с частотой 17% и 21% соответственно, что сопоставимо с литературными данными (5–63%) [11, 12, 13, 20]. После сочетания операции ОВБ с КОБ и ПОС частота ишемических нарушений у детей первой и второй подгрупп отмечена в 37% и 25% случаев, что меньше, чем в публикуемых работах (41–70%) [6, 7, 14, 21]. По нашему мнению, это связано, в том числе, с отказом от гиперкоррекции ацетабулярного фрагмента, так как при низведении вертлужной впадины увеличивается расстояние между точками начала и прикрепления ягодичных мышц и наружных ротаторов бедра, что приводит к компрессии сустава, а также к избыточной наружной ротации бедра с предпосылками к передней нестабильности.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера, протокол № 20-3 от 20.11.2020 г.

Информированное согласие. Законные представители пациентов дали письменное добровольное согласие на участие в исследовании и публикацию клинических наблюдений.

Ограничения исследования

При интерпретации результатов исследования необходимо учитывать, что оно имеет ряд ограничений. Работа посвящена оценке эффективности двух способов хирургического лечения, примененных у детей с достаточно редкой патологией. Следствием этого является небольшая выборка пациентов и разница по количественному составу в подгруппах. В исследовании сделана попытка оценить функциональные и рентгенологические результаты лечения после выполнения операции ОВБ и ее сочетания с КОБ, ПОС детям с вывихом бедра и различными вариантами контрактур ТБС при амиоплазии. Авторы отдают себе отчет, что наблюдение за прооперированными пациентами по примененным методикам в указанные сроки не может рассматриваться как полноценное доказательство их эффективности. Необходимо дальнейшее наблюдение для оценки функции, а также формирования тазобедренного сустава после проведенного хирургического лечения.

Заключение

Дифференцированный подход, лежащий в основе разработанного алгоритма выбора способа хирургического лечения детей до 3 лет с вывихом бедра при амиоплазии позволит повысить эффективность применяемых вмешательств, а его внедрение в клиническую практику будет способствовать улучшению исходов лечения.

Disclaimers

Authors' contributions

All authors made equal contributions to the study and the publication.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, protocol No 20-3, 20.11.2020.

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

Литература [References]

- Dubousset J., Guillaumat M. Long-term outcome for patients with arthrogryposis multiplex congenita. *J Child Orthop.* 2015;9(6):449-458. doi: 10.1007/s11832-015-0692-6.
- Батькин С.Ф., Агранович О.Е., Барсуков Д.Б. Тактика лечения вывиха бедра у больных с артрогрипозом (обзор литературы). *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2014;2(2):55-62. doi: 10.17816/PTORS2255-62. Batkin S.F., Agranovich O.E., Barsukov D.B. [Management of hip dislocation in patients with arthrogryposis (review)]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2014;2(2): 55-62. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS2255-62.
- Лечение высокого врожденного вывиха бедра у детей младшего возраста: клинические рекомендации. Сост. С.Э. Кралина. Москва: 2013. 34 с. Режим доступа: <https://roszdravnadzor.gov.ru/i/upload/images/2015/9/16/1442410681.92661-1-22083.pdf>. [Treatment of high congenital hip dislocation in young children (clinical recommendations)]. Kralina S.E. Moscow: 2013. 34 p. (In Russian). Available from: <https://roszdravnadzor.gov.ru/i/upload/images/2015/9/16/1442410681.92661-1-22083.pdf>.
- Баиндурашвили А.Г., Агранович О.Е., Конюхов М.П. Современные тенденции лечения деформаций верхних и нижних конечностей у детей с артрогрипозом первого года жизни. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2014;3(3):3-13. doi: 10.17816/PTORS233-13. Baindurashvili A.G., Agranovich O.E., Konyukhov M.P. [Current trends in the treatment of upper and lower limb deformities in children with arthrogryposis in the first year of life]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2014;3(3):3-13. doi: 10.17816/PTORS233-13. (In Russian).
- Поздник И.Ю., Басков В.Е., Волошин С.Ю., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Познович М.С. с соавт. Ошибки диагностики и начала консервативного лечения детей с врожденным вывихом бедра. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2017;5(2):42-51. doi: 10.17816/PTORS5242-51. Pozdnik I.Yu., Baskov V.E., Voloshin S.Yu., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. [Errors of diagnosis and the initiation of conservative treatment in children with congenital hip dislocation]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2017;5(3):42-51. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS5242-51.
- van Bosse H.J.P., Pontén E., Wada A., Agranovich O.E., Kowalczyk B., Lebel E. et al. Treatment of the Lower Extremity Contracture/Deformities. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(1):16-S23. doi: 10.1097/BPO.0000000000001005.
- Hamdy R.C., van Bosse H., Altiok H., Abu-Dalu K., Kotlarsky P., Fafara A. et al. Treatment and outcomes of arthrogryposis in the lower extremity. *Am J Med Genet C Semin Med Genet.* 2019;181(3):372-384. doi: 10.1002/ajmg.c.31734.
- Bradish C. The hip in arthrogryposis. *J Child Orthop.* 2015;9(6):459-463. doi: 10.1007/s11832-015-0693-5.
- Donohoe M., Pruszcynski B., Rogers K., Bowen J.R. Predicting ambulatory function based on infantile lower extremity posture types in amyoplasia arthrogryposis. *J Pediatric Orthop.* 2019;39(7):531-534. doi: 10.1097/BPO.0000000000001322.
- Батькин С.Ф., Барсуков Д.Б., Агранович О.Е., Буклаев Д.С., Петрова Е.В., Трофимова С.И. и др. Оценка эффективности операции открытого вправления бедра у детей грудного возраста при амиоплазии. *Современные проблемы науки и образования.* 2021;2(2). Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=30687>. doi: 10.17513/spno.30687. Batkin S.F., Barsukov D.B., Agranovich O.E., Buklaev D.S., Petrova E.V., Trofimova S.I. et al. [Evaluation of early open reduction of the hip in children with amyoplasia]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education Surgery]. 2021;2(2). Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=30687>. (In Russian). doi: 10.17513/spno.30687.
- van Bosse H.J.P. Orthopaedic care of the child with arthrogryposis: a 2020 overview. *Curr Opin Pediatr.* 2020;32(1):76-85. doi: 10.1097/MOP.0000000000000847.
- Aydin B.K., Yilmaz G., Senaran H., Durgut F. Short-term results of early (before 6 months) open reduction of dislocated hips in arthrogryposis multiplex congenita. *J Pediatr Orthop B.* 2016;25(6):509-513. doi: 10.1097/BPB.0000000000000371.
- Miao M., Cai H., Wang Z., Hu L., Bian J., Cai H. Early open reduction of dislocated hips using a modified Smith-Petersen approach in arthrogryposis multiplex congenita. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):144. doi: 10.1186/s12891-020-3173-0.
- Wada A., Yamaguchi T., Nakamura T., Yanagida H., Takamura K., Oketani Y. et al. Surgical treatment of hip dislocation in amyoplasia-type arthrogryposis. *J Pediatr Orthop B.* 2012;21(5):381-385. doi: 10.1097/BPB.0b013e328355d040.
- Narayanan U., Mulpuri K., Sankar W.N., Clarke N.M., Hosalkar H., Price C.T. International Hip Dysplasia Institute. Reliability of a new radiographic classification for developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop.* 2015;35(5):478-484. doi: 10.1097/BPO.0000000000000318.
- Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Мясоедов А.А., Плиев Д.Г., Карелкин В.В., Березин Г.В. Эндопротезирования тазобедренного сустава при костных анкилозах различной этиологии, причины и результаты. *Современные проблемы науки и образования.* 2018;2(2). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27426>. doi: 10.17513/spno.27426. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Myasoedov A.A., Pliiev D.G., Karelkin V.V., Berezin G.V. [Hip arthroplasty for bone ankylosis of various etiology, causes and results]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. [Modern problems of science and education. Surgery]. 2018;2(2). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27426>. (In Russian). doi: 10.17513/spno.27426.
- Иванов С.В., Новиков В.А., Умнов В.В., Умнов Д.В., Звозиль А.В. Анализ рентгенологических особенностей тазобедренных суставов у детей со spina bifida. *Современные проблемы науки и образования.* 2021;2(2). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30601>. doi: 10.17513/spno.30601.

- Ivanov S.V., Novikov V.A., Umnov V.V., Umnov D.V., Zvozil' A.V. [Analysis of radiological features of hip joints in children with spina bifida. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education. Surgery]. 2021;(2). Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=30601>. (In Russian). doi: 10.17513/spno.30601.
18. Огарев Е.В., Морозов А.К. Возрастная анатомия вертлужной впадины у детей (анатомо-рентгенологические сопоставления). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2006;(3):3-10.
- Ogarev E.V., Morozov A.K. [Age-related anatomy of the acetabulum in children (anatomical and radiological comparisons)]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2006;(3):3-10. (In Russian).
19. Dodwell E.R., Pathy R., Widmann R.F., Green D.W., Scher D.M., Blanco J.S. et al. Reliability of the Modified Clavien-Dindo-Sink Complication Classification System in Pediatric Orthopaedic Surgery. *JB JS Open Access*. 2018;3(4):e0020. doi: 10.2106/JBJS.OA.18.00020.
20. Stilli S., Antonioli D., Lampasi M., Donzelli O. Management of hip contractures and dislocations in arthrogryposis. *Musculoskelet Surg*. 2012;96(1):17-21. doi: 10.1007/s12306-012-0180-9.

Сведения об авторах

✉ Сергей Федорович Баткин — научный сотрудник. Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, Парковая ул., 64-68

<https://orcid.org/0000-0001-9992-8906>
e-mail: sergey-batkin@mail.ru

Виссарионов Сергей Валентинович — член-кор. РАН, д-р мед. наук, профессор, ¹директор; ²профессор кафедры <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Баиндурашвили Алексей Георгиевич — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, ¹президент; ²заведующий кафедрой <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>
e-mail: a.baindurashvili@szgmu.ru

Агранович Ольга Евгеньевна — д-р мед. наук, руководитель отделения <https://orcid.org/0000-0002-6655-4108>
e-mail: olga_agranovich@yahoo.com.

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

Буклаев Дмитрий Степанович — канд. мед. наук, заведующий отделением <https://orcid.org/0000-0003-1868-3703>
e-mail: dima@buklaev.com

Петрова Екатерина Владимировна — канд. мед. наук, старший научный сотрудник <https://orcid.org/0000-0002-1596-3358>
e-mail: pet_kitten@mail.ru

Трофимова Светлана Ивановна — канд. мед. наук, научный сотрудник <https://orcid.org/0000-0002-4116-8008>
e-mail: trofimova_sv2012@mail.ru

Коченова Евгения Александровна — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед <https://orcid.org/0000-0001-6231-8450>
e-mail: jsummer84@yandex.ru

Савина Маргарита Владимировна — канд. мед. наук, руководитель лаборатории <https://orcid.org/0000-0001-8225-3885>
e-mail: drevma@yandex.ru

Authors' information

✉ Sergey F. Batkin
Address: 64-68, Parkovaya str., St. Petersburg, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9992-8906>
e-mail: sergey-batkin@mail.ru

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

Alexey G. Baindurashvili — Dr. Sci. (Med.), Professor <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>
mail: a.baindurashvili@szgmu.ru

Olga E. Agranovich — Dr. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0002-6655-4108>
e-mail: olga_agranovich@yahoo.com

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

Dmitriy S. Buklaev — Cand. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0003-1868-3703>
e-mail: dima@buklaev.com

Ekaterina V. Petrova — Cand. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0002-1596-3358>
e-mail: pet_kitten@mail.ru

Svetlana I. Trofimova — Cand. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0002-4116-8008>
e-mail: trofimova_sv2012@mail.ru

Evgenia A. Kochenova — Cand. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0001-6231-8450>
e-mail: jsummer84@yandex.ru

Margarita V. Savina — Cand. Sci. (Med.) <https://orcid.org/0000-0001-8225-3885>
e-mail: drevma@yandex.ru



Влияние керамического материала на основе цирконата лантана на динамику гематологических показателей и маркеров ремоделирования костной ткани: экспериментальное исследование

И.П. Антропова^{1,2}, Е.А. Волокитина¹, М.Ю. Удинцева¹, Б.Г. Юшков^{1,5},
 Н.В. Тюменцева³, С.М. Кутепов¹

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России,
 г. Екатеринбург, Россия

² ФГБУН «Институт высокотемпературной электрохимии» Уральского отделения РАН,
 г. Екатеринбург, Россия

³ ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

Актуальность. Керамические материалы на основе оксида циркония активно используются в медицине, однако постоянно ведутся исследования, направленные на улучшение их механических характеристик и биоинтеграции. Изучение материалов на основе цирконата лантана (ЦЛ) является одним из перспективных направлений.

Цель исследования — изучить влияние нового керамического материала на основе цирконата лантана на динамику гематологических показателей и маркеров ремоделирования костной ткани при интрамедуллярном остеосинтезе (ИО) перелома бедра стержнем из ЦЛ в эксперименте. **Материал и методы.** Использовали керамический материал $\text{La}_{1.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Zr}_2\text{O}_7$. Эксперимент проведен на морских свинках, которые были разделены на 4 группы: основная группа — моделирование перелома бедренной кости, ИО перелома стержнем из ЦЛ ($n = 9$); группа сравнения — моделирование перелома бедра, ИО перелома стержнем из β -трикальцийфосфата (ТКФ) ($n = 9$); контрольная группа (К) — моделирование перелома бедренной кости без выполнения остеосинтеза ($n = 9$), нативный контроль (НК). Животные выводились из эксперимента до операции (НК), через 4, 10 и 25 нед. после операции (по три животных на каждую временную точку). Определяли гематологические показатели, маркер остеорезорбции — тартрат-резистентную кислую фосфатазу (ТРКФ), маркер остеогенеза — остеокальцин (ОК). **Результаты.** Количество эритроцитов во всех группах прооперированных животных через 4, 10 и 25 нед. после хирургического вмешательства не имело существенных отличий от группы НК. Значительно более высокий по сравнению с другими группами уровень лейкоцитов отмечался в контрольной группе спустя 10 нед. после операции ($p = 0,044$), что объясняется отсутствием синтеза перелома. Уровень тромбоцитов во всех группах животных в течение срока наблюдения не имел существенных отличий от группы НК. Активность ТРКФ в группах ЦЛ и ТКФ имела максимальные значения через 4 нед., уровень ОК достигал максимума к 10-й нед. после операции без существенных различий между группами животных с выполненным ИО перелома стержнями из ЦЛ и ТКФ. **Заключение.** При определении динамики основных гематологических показателей не выявлено отрицательного влияния ЦЛ на организм экспериментальных животных, обнаружено положительное влияние данного материала на процесс ремоделирования костной ткани. Новый керамический материал на основе цирконата лантана представляется перспективным для использования в травматологии и ортопедии, что может служить основанием для проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: перелом, интрамедуллярный остеосинтез, керамический остеозамещающий материал, ремоделирование кости, гематологические показатели.

Антропова И.П., Волокитина Е.А., Удинцева М.Ю., Юшков Б.Г., Тюменцева Н.В., Кутепов С.М. Влияние керамического материала на основе цирконата лантана на динамику гематологических показателей и маркеров ремоделирования костной ткани: экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1): 79-88. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1704>.

Cite as: Antropova I.P., Volokitina E.A., Udintseva M.Yu., Yushkov B.G., Tyumentseva N.V., Kutepov S.M. [Effect of Lanthanum Zirconate Ceramic on the Dynamics of Hematological Parameters and the Bone Remodeling Markers: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):79-88. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1704>.

Волокитина Елена Александровна / Elena A. Volokitina; e-mail: volokitina_elena@rambler.ru

Рукопись получена: 16.11.2021. Рукопись одобрена: 11.02.2022. Статья опубликована онлайн: 22.02.2022.
 Submitted: 16.11.2021. Accepted: 11.02.2022. Published Online: 22.02.2022.

© Антропова И.П., Волокитина Е.А., Измоденова М.Ю., Юшков Б.Г., Тюменцева Н.В., Кутепов С.М., 2022
 © Antropova I.P., Volokitina E.A., Udintseva M.Yu., Yushkov B.G., Tyumentseva N.V., Kutepov S.M., 2022

Effect of Lanthanum Zirconate Ceramic on the Dynamics of Hematological Parameters and the Bone Remodeling Markers: Experimental Study

Irina P. Antropova^{1,2}, Elena A. Volokitina¹, Maria Yu. Udintseva¹, Boris G. Yushkov^{1,3}, Natalia V. Tyumentseva³, Sergey M. Kutepov¹

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

² Institute of High Temperature Electrochemistry, Ekaterinburg, Russia

³ Institute of Immunology and Physiology, Ekaterinburg, Russia

Background. Zirconium oxide is actively used in medicine; however, research is underway to improve mechanical characteristics and biointegration. One of the promising areas is the study of materials based on lanthanum zirconate (LZ). **The study aimed** to examine the effect of a new ceramic material based on LZ on the dynamics of hematological parameters and markers of bone tissue remodeling after intramedullary osteosynthesis (IO) of a hip fracture with LZ rods. **Material and Methods.** The ceramic material La_{1.95}Ca_{0.05}Zr₂O₇ was used. The experiment was conducted in guinea pigs, which were divided into four groups: main group, modeling of a hip fracture (IO of the fracture with LZ rod, n = 9); comparison group, modeling of a hip fracture (IO of a fracture with a rod from β -tricalcium phosphate [TCP]; n = 9); control (C) group, modeling of a hip fracture without IO (n = 9); and native control (NC) group. Animals were withdrawn from the experiment before surgery (NC) and at 4, 10, and 25 weeks after surgery (n = 3 for each time point). Hematological parameters, i.e., a tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP) as an osteoresorption marker and osteocalcin (OC) as an osteogenesis marker, were determined. **Results.** The red blood cell counts in all groups of the operated animals at 4, 10, and 25 weeks after surgery were not significantly different from the NK group. A significantly higher level of leukocytes in comparison with other groups was observed in the control group 10 weeks after surgery (p = 0.044), which was explained by the absence of fracture synthesis. The platelet level in all groups of the operated animals during the study period was not significantly different from the NK group. The TRAP activity in the LZ and TCP groups had maximum values after 4 weeks, and the OC level reached the maximum by 10 weeks after the operation without significant differences between the LZ and TCP groups of animals. **Conclusion.** The study of the main hematological parameters did not reveal a negative effect of LZ on the experimental animals. A positive effect of this material on bone tissue remodeling was found. A new ceramic material based on LC appears to be promising for use in traumatology and orthopedics.

Keywords: fracture, intramedullary osteosynthesis, ceramic bone graft, bone remodeling, hematological parameters.

Введение

Костная пластика используется при хирургическом лечении переломов, парциальных остеохондральных дефектов, при дегенеративно-дистрофических заболеваниях крупных суставов и онкопатологии костно-мышечной системы [1]. В практической медицине широкое распространение получили керамические остеозамещающие материалы, благодаря их хорошей биосовместимости и оптимальным физико-химическим характеристикам [2, 3]. Вместе с тем активно проводятся исследования, посвященные модификации химической структуры таких материалов для оптимизации качеств, необходимых для их использования в травматологии и ортопедии. Доказано, что введение в состав керамики циркония существенно улучшает механические свойства материалов [4, 5]. Кроме того, присутствие циркония в композитах не оказывает цитотоксического воздействия на преостеобласты и улучшает реакцию

остеобластов *in vitro* [6, 7]. Известно также, что редкоземельные элементы, в частности лантан, оказывают значительное влияние на коррозионную стойкость композитов [8]. Экспериментально показано, что хлорид лантана ингибирует образование остеокластов, функцию и экспрессию генов, специфичных для остеокластов, ослабляет остеолит, вызванный частицами Ti [9]. Наличие кальция в композитном материале и его высвобождение из керамического имплантата может опосредовать экспрессию остеопонтина, который не только связывается с гидроксипатитом кости, участвуя в ее формировании, но и имеет интегрин-связывающий домен и, следовательно, может способствовать прикреплению и пролиферации клеток на поверхности имплантата [10].

В лаборатории твердооксидных топливных элементов ИВТЭ УрО РАН был синтезирован новый композитный керамический материал, содержащий оксид циркония, кальций и лантан

($\text{La}_{1,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Zr}_2\text{O}_7$). Ранее в наших работах было показано, что в эксперименте по использованию данного материала в качестве имплантата система «цирконат лантана – кость» при одноосном сжатии по прочности превосходит неповрежденную костную ткань. Кроме того, анализ Ca/P отношения показал, что уже в раннем послеоперационном периоде образующаяся кость имеет более высокие прочностные характеристики в перимплантной области, чем нативная кость [5]. Вместе с тем важно понимать, оказывает ли новый керамический материал на основе цирконата лантана (ЦЛ) негативное воздействие на организм, а также определить динамику и выраженность процессов резорбции и остеогенеза при имплантации $\text{La}_{1,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Zr}_2\text{O}_7$.

Целью исследования было определение влияния нового керамического материала на основе цирконата лантана на динамику основных гематологических показателей и выраженность маркеров ремоделирования костной ткани при интрамедуллярном остеосинтезе перелома в эксперименте.

Материал и методы

Материал

Цирконат лантана ($\text{La}_{1,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Zr}_2\text{O}_7$) синтезирован цитрат-нитратным методом. Цирконий составляет $19,92 \pm 0,20$ ат.%, лантан — $21,24 \pm 0,16$ ат.%, кислород — $58,54 \pm 0,33$ ат.%, кальций — $0,30 \pm 0,03$ ат.%. По данным растровой электронной микроскопии, материал имеет закрытый тип пористости с объемной долей пор не более 15%, размер пор — 2–30 мкм. Стержни для синтеза перелома (интрамедуллярной имплантации) длиной 25 мм имели квадратное ($1,5 \times 1,5$ мм) сечение. Стержни аналогичного размера были изготовлены из β -трикальцийфосфата.

Исследование выполнено на 30 линейных морских свинок (самки). Животные находились в идентичных условиях кормления и содержания. Все животные имели ветеринарный сертификат. Все процедуры, касающиеся животных, были проведены в соответствии с национальными «Методическими рекомендациями по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений» и Директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях.

Дизайн исследования

В основную группу вошли 9 животных, которым был проведен ИО перелома дистального метадиафиза бедренной кости стержнем из цирконата лантана (группа ЦЛ). Группу сравнения составили 9 животных, которым выполнен ИО стержнем из β -трикальцийфосфата (группа ТКФ). В контроль-

ную группу (К) вошли 9 животных, которым проводилось моделирование перелома, но имплантации стержня не выполнялось. Группу нативного контроля (группа НК) составили 3 морские свинки, которые не были прооперированы.

Перед операцией экспериментальным животным групп ЦЛ, ТКФ и К проводили премедикацию (ксилазин 0,2 мг/кг внутримышечно) и анестезию (золетил 0,1 мг/кг внутримышечно), после чего их укладывали в положении лежа на спине. Для местного обезболивания использовали 0,25% новокаина, которым выполняли также гидравлическую диссекцию тканей. Перелом создавался методом открытой остеоклазии в области дистального метадиафиза бедренной кости. В группах ЦЛ и ТКФ проводили ИО перелома стержнями из ЦЛ и β -трикальцийфосфата соответственно. В группе К синтез перелома стержнем не проводили. Всем прооперированным животным в качестве антибиотикопрофилактики вводили ампициллин (1 раз в сутки, в течение 3 дней после операции).

Животные группы НК выводились из эксперимента без хирургического вмешательства. В группах ЦЛ, ТКФ и К по 3 животных выводились из эксперимента через 4, 10 и 25 недель после операции.

Методы исследования

Забор крови проводился пункцией сердца. Для отбора образцов использовали вакуумные пробирки для гематологических и биохимических исследований (Rustech, Россия). Клинический анализ крови проводился с использованием автоматического гематологического анализатора Cell-70 (Biocode-Hygel, France). Для оценки уровня маркеров костного ремоделирования в сыворотке крови определяли концентрацию остеокальцина (ОС) и активность тартрат-резистентной кислой фосфатазы (ТРКФ) методом двухсайтового твердофазного гетерогенного ИФА. Использовали тест-системы Cloud-Clone Corp (Китай) и планшетный фотометр Termo Scientific Multiskan GO (Япония).

Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась методами вариационной статистики с использованием программы Statistica 8.0. Для сравнения исследуемых групп использовался критерий Краскела – Уоллиса. Парное сравнение между группами проводили с использованием критерия Манна – Уитни. Уровень $p < 0,05$ принимался статистически значимым. Данные представлены как медиана [интерквартильный размах].

Результаты

В таблице 1 представлены основные гематологические показатели экспериментальных животных в послеоперационном периоде.

Таблица 1

Гематологические показатели животных в различные сроки после операции

Группа животных	Срок после операции, нед.				p2
	0 (НК)	4	10	25	
<i>Эритроциты, 10¹²/л</i>					
К	5,20 [4,62; 5,83]	5,88 [5,40; 6,19]	4,27 [3,97; 5,31]	5,11 [4,62; 6,08]	0,159
ТКФ		5,35 [5,25; 5,63]	5,44 [5,21; 5,53]	5,22 [4,32; 5,23]	0,450
ЦЛ		5,18 [4,92; 5,50]	5,32 [4,27; 6,15]	5,10 [5,02; 5,12]	0,863
p1		0,135	0,236	0,875	
<i>Гемоглобин, г/л</i>					
К	135 [129; 151]	129 [121; 139]	11,2 [9,7; 13,2]	13,3 [12,4; 14,3]	0,270
ТКФ		135 [135; 140]	13,5 [12,8; 14,2]	12,5 [10,8; 13,1]	0,164
ЦЛ		136 [136; 140]	13,9 [11,8; 15,1]	12,6 [12,2; 12,9]	0,924
p1		0,326	0,193	0,430	
<i>Лейкоциты, 10⁹/л</i>					
К	6,4 [4,6; 7,7]	6,8 [5,1; 7,4]	8,0 [7,9; 10,6]	7,8 [6,7; 11,3]	0,099
ТКФ		6,7 [5,5; 7,5]	4,9 [4,3; 5,3]	8,4 [6,3; 8,5]	0,229
ЦЛ		7,5 [7,4; 9,9]	5,3 [5,2; 5,6]	6,9 [6,5; 8,8]	0,113
p1		0,246	0,044	0,875	
<i>Гранулоциты, 10⁹/л</i>					
К	4,0 [2,0; 4,5]	2,0 [2,0; 2,3]	5,1 [4,0; 7,4]	3,4 [3,3; 4,2]	0,097
ТКФ		2,8 [1,4; 3,8]	2,3 [2,2; 2,4]	4,2 [3,5; 4,3]	0,269
ЦЛ		3,4 [2,0; 4,1]	2,0 [1,8; 3,6]	4,70 [4,1; 4,9]	0,172
p1		0,209	0,043	0,223	
<i>Лимфоциты, 10⁹/л</i>					
К	1,8 [1,3; 2,0]	1,3 [1,0; 1,9]	1,2 [1,0; 3,4]	1,5 [1,0; 6,3]	0,832
ТКФ		1,7 [0,8; 2,9]	1,1 [0,8; 1,3]	1,7 [1,1; 2,5]	0,535
ЦЛ		2,4 [1,8; 2,8]	1,6 [1,2; 1,7]	1,9 [1,3; 2,1]	0,094
p1		0,532	0,361	0,956	
<i>Моноциты, 10⁹/л</i>					
К	1,1 [0,8; 1,2]	0,1 [0,1; 0,2]	1,9 [0,6; 2,0]	1,6 [1,5; 3,0]	0,049
ТКФ		1,6 [1,2; 1,7]	1,4 [1,3; 1,7]	2,4 [1,0; 2,5]	0,253
ЦЛ		1,7 [1,6; 1,8]	1,5 [0,8; 1,9]	2,2 [1,7; 2,6]	0,170
p1		0,041	0,790	0,875	
<i>Тромбоциты, 10⁹/л</i>					
К	421 [399; 511]	583 [444; 636]	387 [371; 411]	445 [405; 517]	0,092
ТКФ		479 [393; 574]	346 [306; 435]	355 [330; 512]	0,537
ЦЛ		530 [452; 590]	454 [451; 610]	384 [243; 518]	0,270
p1		0,413	0,061	0,561	

		Тромбокрит, %			
К		0,29 [0,24; 0,33]	0,26 [0,21; 0,26]	0,29 [0,27; 0,34]	0,340
ТКФ		0,28 [0,25; 0,37]	0,23 [0,21; 0,27]	0,23 [0,21; 0,31]	0,413
ЦЛ	0,26 [0,25; 0,36]	0,3 [0,3; 0,4]	0,3 [0,3; 0,4]	0,3 [0,2; 0,3]	0,577
p_1		0,722	0,064	0,429	

p_1 — статистическая значимость различий между группами в определенной временной точке; p_2 — статистическая значимость различий между временными точками.

Количество эритроцитов и уровень гемоглобина в группах прооперированных животных через 4, 10 и 25 нед. после хирургического вмешательства не имели существенных отличий от группы животных, которым операция не проводилась. Сравнение между группами ЦЛ, ТКФ и К на протяжении периода исследования также не выявило значимых различий.

Уровень лейкоцитов в группах ЦЛ и ТКФ в исследуемом промежутке времени колебался, но данные изменения не достигали статистической значимости. Значительно более высокий по сравнению с другими группами уровень лейкоцитов отмечался в контрольной группе спустя 10 нед. после операции. Парное сравнение групп в тесте Манна–Уитни подтвердило существенное отличие группы К от групп ЦЛ, ТКФ ($p < 0,05$ в обоих случаях). При этом значимых различий между группами ЦЛ и ТКФ не обнаружено. Парное сравнение показало также существенное повышение уровня лейкоцитов у животных контрольной группы относительно группы НК.

Анализ различных видов лейкоцитов в крови экспериментальных животных выявил значимое повышение уровня гранулоцитов в группе К спустя 10 нед. после операции. Парное сравнение показало значимые отличия как от групп ЦЛ и ТКФ, так и от группы НК ($p < 0,05$ для всех). Умеренный лейкоцитоз с повышением уровня гранулоцитов в группе К может объясняться умеренным воспалением, обусловленным отсутствием фиксации перелома у экспериментальных животных.

Уровень моноцитов в группах ЦЛ и ТКФ был существенно выше, чем в группе К, спустя 4 нед. после операции. Данное отличие объясняется реакцией организма на имплантат. Важно отметить, что не выявлено различий в количестве моноцитов между группами ЦЛ и ТКФ в данной временной точке ($p = 0,539$), что может свидетельствовать

о сходной реакции организма на новый материал ЦЛ и на ТКФ. К 10-й нед. различия между группами К, ЦЛ и ТКФ нивелировались.

Признаки стандартной реакции тромбоцитов на хирургическое вмешательство сохранялись до 4 нед. после операции, что проявилось в небольшом повышении уровня тромбоцитов во всех группах прооперированных животных, хотя различия не имели статистической значимости в сравнении с группой НК. Значимых изменений в уровне тромбоцитов относительно группы НК не обнаружено и в сроки 10 и 25 нед. Существенных различий между группами ЦЛ, ТКФ и К не выявлено в течение изучаемого периода времени.

Динамика маркеров костного ремоделирования после проведения экспериментальным животным хирургического вмешательства представлена в таблице 2.

Концентрация маркера остеорезорбции ТРКФ в группах ЦЛ и ТКФ имела максимальные значения через 4 нед. после операции, к 10-й нед. наблюдалось постепенное снижение уровня данного фермента. В контрольной группе животных высокая концентрация ТРКФ сохранялась до 10-й нед. после операции, что, по-видимому, связано с отсутствием фиксации травмированной кости. К 25-й нед. после операции уровень ТРКФ во всех группах оперированных животных был сопоставим с уровнем данного фермента в группе НК.

Повышение уровня маркера остеогенеза ОК наблюдалось с 4-й нед. после операции во всех группах прооперированных животных. Максимальное повышение ОК в группах ЦЛ и ТКФ приходилось на 10-ю послеоперационную неделю. При этом в группе К по сравнению с группами ЦЛ и ТКФ наблюдался существенно более низкий уровень ОК. К 25-й нед. уровень данного маркера остеогенеза в группах прооперированных животных не имел значимых отличий от группы НК.

Таблица 2

Маркеры костного ремоделирования у животных в различные сроки после операции

Группа животных	Срок после операции, нед.				p2
	0 (НК)	4	10	25	
<i>Тартрат-резистентная кислая фосфатаза, Ед/л</i>					
К	0,27 [0,12; 0,37]	0,78 [0,72; 1,24]	0,82 [0,81; 0,84]	0,17 [0,16; 0,47]	0,040
ТКФ		0,91 [0,68; 1,15]	0,48 [0,25; 0,64]	0,18 [0,09; 0,28]	0,028
ЦЛ		0,80 [0,61; 0,95]	0,49 [0,36; 0,65]	0,21 [0,15; 0,22]	0,038
p1		0,796	0,041	0,957	
<i>Остеокальцин, нг/мл</i>					
К	3,83 [3,33; 4,07]	4,41 [4,22; 4,50]	3,98 [3,75; 4,05]	4,19 [3,61; 4,29]	0,113
ТКФ		4,14 [4,11; 4,16]	4,57 [4,35; 4,93]	3,83 [3,81; 3,97]	0,012
ЦЛ		4,05 [3,84; 4,57]	4,38 [4,30; 4,50]	3,92 [3,83; 4,05]	0,042
p1		0,439	0,051	0,618	

p1 — статистическая значимость различий между группами в определенной временной точке; p2 — статистическая значимость различий между временными точками.

Обсуждение

Керамические материалы на основе диоксида циркония доказали свою перспективность для реконструкции и восстановления функциональности поврежденной кости [11, 12, 13]. Введение в остеозамещающий материал лантана и кальция также способствует улучшению биоинтеграционных свойств имплантатов [9, 10].

Ранее мы показали в эксперименте, что имплантаты из нового керамического материала $La_{1,95}Ca_{0,05}Zr_2O_7$ обладают хорошими механическими свойствами. Было определено, что в перимплантной области отношение Са/Р больше, чем в нативном образце, что свидетельствует о высокой прочности вновь образующейся кости [5]. Вместе с тем важно понимать, какое влияние оказывает на организм введение нового материала. В представленной работе мы изучали динамику основных гематологических показателей через 4, 10, 25 нед. после интрамедуллярного остеосинтеза перелома бедренной кости у экспериментальных животных стержнями из $La_{1,95}Ca_{0,05}Zr_2O_7$. Известно, что при имплантации керамического остеопластического материала у экспериментальных животных наблюдается стереотипная реакция крови с умеренной анемией и лейкоцитозом в раннем послеоперационном периоде и восстановлением дооперационного уровня спустя 2 нед. после операции [14]. Полученные в нашей работе гематологические параметры показывают, что имплантаты на основе цирконата лантана обладают хорошей гемосовместимостью и не стиму-

лируют воспалительную реакцию *in vivo*, поскольку лейкоцитарный уровень не превышает таковой у нативных животных. Отсутствие воспаления при длительном (25 нед.) нахождении имплантата в организме экспериментальных животных подтверждается также уровнем тромбоцитов, который не имеет значимых отличий от нативного. Определение динамики эритроцитарного уровня также не выявило негативного влияния нового материала: не обнаружено признаков гемолиза эритроцитов в течение всего срока наблюдения. ТКФ хорошо известен и широко применяется в качестве остеозамещающего материала [15, 16, 17]. Сравнение нового керамического материала на основе цирконата с ТКФ не выявило существенных различий между ними по основным гематологическим показателям. В среднесрочном и отдаленном периодах показатели крови на фоне имплантации обоими материалами не отличались от аналогичных показателей у нативных животных.

Процессы ремоделирования костной ткани при ее повреждении сопровождаются изменением в крови уровня маркеров, отражающих функциональную активность остеокластов и остеобластов [18, 19, 20]. В частности, ТРКФ секретируется остеокластами, обеспечивая деградацию органического костного матрикса, используется в качестве сывороточного маркера активности остеорезорбции [21, 22]. Остеокальцин экспрессируется в процессе формирования кости и контролирует массу, размер, ориентацию минерального компонента,

участвует в организации внеклеточного матрикса, признается информативным маркером остеогенеза [23, 24].

Различия в локализации и тяжести переломов находят отражение в динамике маркеров костного ремоделирования [18]. Информативность данных маркеров показана при оценке успешности восстановления костной ткани и выявления нарушений остеогенеза при хирургическом лечении травм и ортопедических заболеваний [25, 26, 27, 28]. В экспериментальных исследованиях маркеры остеогенеза и остеорезорбции позволяют определять успешность ремоделирования кости при изучении вновь созданных остеозамещающих материалов, проводить сравнение с материалами, уже используемыми в клинической практике [29].

Ранее в эксперименте на кроликах было показано, что максимум резорбции наблюдается к 4-й нед. после введения остеозамещающего материала [14, 29]. В нашем исследовании также наиболее активная резорбция костной ткани наблюдалась через 4 нед. после операции, причем интенсивность выделения в кровь маркера резорбции была близкой при имплантации ТКФ и ЦЛ. Важно отметить, что отсутствие интрамедуллярного остеосинтеза перелома (в контрольной группе) приводит к более длительному сохранению активного процесса костной резорбции. В отдаленном периоде после имплантации новым керамическим материалом не выявлено признаков активации остеорезорбции, что свидетельствует об эффективной остеоинтеграции имплантата.

Дополнительная информация

Благодарности

Авторы выражают благодарность заведующей лабораторией электрохимического материаловедения Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН д-р хим. наук Л.А. Дунюшкиной за предоставление нового керамического материала, сотрудникам Института иммунологии и физиологии УрО РАН В.В. Герасимовой за помощь в работе с экспериментальными животными и С.А. Бриллиант за содействие в проведении гематологических исследований.

Заявленный вклад авторов

Антропова И.П. — обработка и анализ данных, написание рукописи.

Волокитина Е.А. — концепция и дизайн исследования, написание рукописи.

Удинцева М.Ю. — проведение экспериментальной работы, обработка и анализ данных, написание рукописи.

Юшков Б.Г. — концепция и дизайн исследования.

Тюменцева Н.В. — проведение экспериментальной работы, анализ данных, участие в написании статьи.

Кутепов С.М. — концепция и дизайн исследования.

Данные литературы свидетельствуют о большом разнообразии маркера остеогенеза ОК в динамике при повреждении костной ткани и при замещении дефектов кости различными остеопластическими материалами [18, 30, 31]. Ранее было показано, что применение ТКФ для восполнения травматического дефекта костной ткани ассоциировано с существенно более высоким уровнем выделения в кровь ОК по сравнению с другими материалами, использованными для имплантации [14]. В нашем исследовании изменения ОК в крови были сопоставимы при имплантации ТКФ и ЦЛ, что может свидетельствовать об эффективном остеогенезе у животных, которым вводили новый керамический материал.

Заключение

Таким образом, определение основных гематологических показателей после имплантации интрамедуллярного стержня из нового керамического материала на основе цирконата лантана не выявило отрицательного влияния данного материала на организм экспериментальных животных. Обнаружено его положительное влияние на процесс ремоделирования костной ткани. Новый керамический композит $La_{1.95}Ca_{0.05}Zr_2O_7$ представляется перспективным для использования в качестве остеозамещающего материала в травматологии и ортопедии, что может служить основанием для проведения дальнейших исследований по оптимизации процессов остеоинтеграции при имплантации конструкций из данного материала в костную ткань.

Disclaimers

Acknowledgments

The authors are grateful to Dr. Lilia. A. Dunyushkina for providing a new ceramic material, Valentina.V. Gerasimova for assistance in working with experimental animals, Svetlana A. Brilliant for assistance in conducting hematological studies.

Author contribution

Antropova I.P. — the evaluation and interpretation of the data and the preparation of the text.

Volokitina E.A. — research conception and design, writing the draft.

Udintseva M.Yu. — research conduction, collection and processing of material, writing the draft.

Yushkov B.G. — research conception and design.

Tyumentseva N.V. — research conduction, collection and processing of material, writing the draft

Kutepov S.M. — research conception.

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

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

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

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России Уральского отделения РАН, протокол № 03/20 от 22 сентября 2020 г.

Информированное согласие. Не требуется.

Литература [References]

- Karalashvili L., Kakabadze A., Uhryn M., Vyshnevskaya H., Ediberidze K., Kakabadze Z. Bone grafts for reconstruction of bone defects (review). *Georgian Med News*. 2018;(282):44-49.
- Шумилова А.А., Шишацкая Е.И. Материалы для восстановления костной ткани. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2014;7(2): 209-221.
Shumilova A.A., Shishatskaya E.I. [Materials for bone regeneration]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* [Journal of the Siberian Federal University. Biology]. 2014;7(2):209-221. (In Russian).
- Tanaka T., Komaki H., Chazono M., Kitasato S., Kakuta A., Akiyama S. et al. Basic research and clinical application of beta-tricalcium phosphate (β -TCP). *Morphologie*. 2017;101(334):164-172. doi: 10.1016/j.morpho.2017.03.002.
- Afzal A. Implantable zirconia bioceramics for bone repair and replacement: A chronological review. *Materials Express*. 2014;4(1):1-12. doi: 10.1166/mex.2014.1148. Available from: https://www.researchgate.net/publication/268823433_Implantable_zirconia_bioceramics_for_bone_repair_and_replacement_A_chronological_review.
- Измодедова М.Ю., Гилев М.В., Ананьев М.В., Зайцев Д.В., Антропова И.П., Фарленков А.С. и др. Характеристика костной ткани при имплантации керамического материала на основе цирконата лантана в эксперименте. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(3):130-140. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-130-140.
Izmodenova M.Yu., Gilev M.V., Ananyev M.V., Zaytsev D.V., Antropova I.P., Farlenkov A.S. et al. [Bone Tissue Properties after Lanthanum Zirconate Ceramics Implantation: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(3):130-140. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-130-140.
- Bhowmick A., Pramanik N., Jana P., Mitra T., Gnanamani A., Das M. et al. Development of bone-like zirconium oxide nanoceramic modified chitosan based porous nanocomposites for biomedical application. *Int J Biol Macromol*. 2017;95:348-356. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.11.052.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Ural State Medical University, protocol No 03/20, 22.09.2020.

Consent for publication. Not required.

- Chen Y., Roohani-Esfahani S.I., Lu Z., Zreiqat H., Dunstan C.R. Zirconium Ions Up-Regulate the BMP/SMAD Signaling Pathway and Promote the Proliferation and Differentiation of Human Osteoblasts. *Plos One*. 2015;10(1):e0113426. doi: 10.1371/journal.pone.0113426.
- Willbold E., Gu X., Albert D., Kalla K., Bobe K., Brauneis M. et al. Effect of the addition of low rare earth elements (lanthanum, neodymium, cerium) on the biodegradation and biocompatibility of magnesium. *Acta Biomater*. 2015;11:554-562. doi: 10.1016/j.actbio.2014.09.041.
- Jiang C., Shang J., Li Z., Qin A., Ouyang Z., Qu X. et al. Lanthanum chloride attenuates osteoclast formation and function via the downregulation of rankl-induced Nf- κ b and nfatc1 activities. *J Cell Physiol*. 2016;231(1):142-151. doi: 10.1002/jcp.25065.
- Jung G.Y., Park Y.J., Han J.S. Effects of HA released calcium ion on osteoblast differentiation. *J Mater Sci Mater Med*. 2010;21(5):1649-1654. doi: 10.1007/s10856-010-4011-y.
- Saruta J., Ozawa R., Okubo T., Taleghani S.R., Ishijima M., Kitajima H. et al. Biomimetic Zirconia with Cactus-Inspired Meso-Scale Spikes and Nano-Trabeculae for Enhanced Bone Integration. *Int J Mol Sci*. 2021;22(15):7969. doi: 10.3390/ijms22157969.
- Zhu Y., Liu K., Deng J., Ye J., Ai F., Ouyang H. et al. 3D printed zirconia ceramic hip joint with precise structure and broad-spectrum antibacterial properties. *Int J Nanomedicine*. 2019;14:5977-5987. doi: 10.2147/IJN.S202457.
- Gremillard L., Chevalier J., Martin L., Douillard T., Begand S., Hans K. et al. Sub-surface assessment of hydrothermal ageing in zirconia-containing femoralheads for hip joint applications. *Acta Biomater*. 2018;68:286-295. doi: 10.1016/j.actbio.2017.12.021.
- Gilev M.V., Bazarny V.V., Volokitina E.A., Polushina L.G., Maksimova A.Yu., Kazakova Ya.E. [Laboratory monitoring of bone tissue remodeling augmentation of impression intraarticular fracture with different types of bone graft]. *Bull Exp Biol Med*. 2019; 167(5):681-684. doi: 10.1007/s10517-019-04598-7.

15. Гурин А.Н., Комлев В.С., Фадеева И.В., Петракова Н.В., Варда Н.С. Сравнительное исследование замещения дефектов костной ткани остеопластическими материалами на основе α - и β -трикальцийфосфата. *Стоматология*. 2012;91(6):16-21. Gurin A.N., Komlev V.S., Fadeeva I.V., Petrakova N.V., Varda N.S. [A comparative study of bone regeneration potency of alfa and beta-tricalcium phosphate bone substitute materials]. *Stomatologiya* [Dentistry]. 2012;91(6):16-21 (In Russian).
16. Gagala J. Minimum 10 years clinical and radiological outcomes of acetabular revisions of total hip arthroplasties with tricalcium phosphate/hydroxyapatite bone graft substitute. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):835. doi: 10.1186/s12891-021-04694-8.
17. Wong C.C., Yeh Y.Y., Chen C.H., Manga Y.B., Jheng P.R., Lu C.X. et al. Effectiveness of treating segmental bone defects with a synergistic co-delivery approach with platelet-rich fibrin and tricalcium phosphate. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2021;129:112364. doi: 10.1016/j.msec.2021.112364.
18. Побел Е.А., Бенгус Л.М., Дедух Н.В. Маркёры костного метаболизма при сращении переломов длинных костей. *Остеопороз и остеопатии*. 2012;2:25-32. Pobel E.A., Bengus L.M., Dedukh N.V. [Markers of bone metabolism in long bone's adhesion. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and osteopathy]. 2012;2:25-32. (In Russian).
19. Saveleva M.S., Ivanov A.N., Chibrikova J.A., Abalymov A.A., Surmeneva M.A., Surmenev R.A. et al. Osteogenic capability of vaterite-coated nonwoven polycaprolactone scaffolds for in vivo bone tissue regeneration. *Macromol Biosci*. 2021;21(12):e2100266. doi: 10.1002/mabi.202100266.
20. Hansen R.L., Langdahl B.L., Jørgensen P.H., Petersen K.K., Søballe K., Stilling M. Changes in periprosthetic bone mineral density and bone turnover markers after osseointegrated implant surgery: A cohort study of 20 transfemoral amputees with 30-month follow-up. *Prosthet Orthot Int*. 2019;43(5):508-518. doi: 10.1177/0309364619866599.
21. Janckila A.J., Takahashi K., Sun S.Z., Yam L.T. Tartrate-resistant acid phosphatase isoform 5b as serum marker for osteoclastic activity. *Clin Chem*. 2001;47(1):74-80.
22. Laowalert S., Khotavivattana T., Wattanachanya L., Luangjarmekorn P., Udomkarnjananun S., Katavetin P. et al. Bone turnover markers predict type of bone histomorphometry and bone mineral density in Asian chronic haemodialysis patients. *Nephrology (Carlton)*. 2020;25(2):163-171. doi: 10.1111/nep.13593.
23. Bailey S., Karsenty G., Gundberg C., Vashishth D. Osteocalcin and osteopontin influence bone morphology and mechanical properties. *Ann N Y Acad Sci*. 2017;1409(1):79-84. doi: 10.1111/nyas.13470.
24. Komori T. Functions of osteocalcin in bone, pancreas, testis, and muscle. *Int J Mol Sci*. 2020;21(20):7513. doi: 10.3390/ijms21207513.
25. Kumar M., Shelke D., Shah S. Prognostic potential of markers of bone turnover in delayed-healing tibial diaphyseal fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019;45(1):31-38. doi: 10.1007/s00068-017-0879-2.
26. Cox G., Einhorn T.A., Tzioupis C., Giannoudis P.V. Bone-turnover markers in fracture healing. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(3):329-334. doi: 10.1302/0301-620X.92B3.22787.
27. Ingle B.M., Hay S.M., Bottjer H.M., Eastell R. Changes in bone mass and bone turnover following distal forearm fracture. *Osteoporosis Int*. 1999;10(5):399-407.
28. Szulc P. Bone turnover: Biology and assessment tools. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2018;32(5):725-738. doi: 10.1016/j.beem.2018.05.003.
29. Гилев М.В., Волокитина Е.А., Антропова И.П., Базарный В.В., Кутепов С.М. Маркеры костного ремоделирования при замещении дефекта трабекулярной костной ткани резорбируемыми и нерезорбируемыми остеопластическими материалами в эксперименте. *Гений ортопедии*. 2020;26(2):222-227. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2. Gilev M.V., Volokitina E.A., Antropova I.P., Bazarny V.V., Kutepov S.M. [Bone remodeling markers after experimental augmentation of trabecular bone defects with resorbable and non-resorbable osteoplastic materials in rabbits]. *Genij Ortopedii*. 2020;26(2):222-227. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2.
30. Amiraghoubi N., Fathi M., Pesyan N.N., Samiei M., Barar J., Omid Y. Bioactive polymeric scaffolds for osteogenic repair and bone regenerative medicine. *Med Res Rev*. 2020; 40(5):1833-1870. doi: 10.1002/med.21672.
31. Diemar S.S., Møllehave L.T., Quardon N., Lylloff L., Thuesen B.H., Linneberg A. et al. Effects of age and sex on osteocalcin and bone-specific alkaline phosphatase-reference intervals and confounders for two bone formation markers. *Arch Osteoporos*. 2020;15(1):26. doi: 10.1007/s11657-020-00715-6.

Сведения об авторах

✉ Волокитина Елена Александровна — д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой
Адрес: Россия, 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3
<https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>
e-mail: volokitina_elena@rambler.ru

Антропова Ирина Петровна — д-р биол. наук, ¹ведущий научный сотрудник; ²заведующая лабораторией
<https://orcid.org/0000-0002-9957-2505>
e-mail: aip.hemolab@mail.ru

Удинцева Мария Юрьевна — аспирант кафедры
<https://orcid.org/0000-0002-5500-4012>
izmodenova96@gmail.com

Authors' information

✉ Elena A. Volokitina — Dr. Sci. (Med.), Professor.
Address: 3, Repina str., Ekaterinburg, 620028, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>
e-mail: volokitina_elena@rambler.ru

Irina P. Antropova — Dr. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-9957-2505>
e-mail: aip.hemolab@mail.ru

Maria Yu. Udintseva
<https://orcid.org/0000-0002-5500-4012>
izmodenova96@gmail.com

Юшков Борис Германович — д-р мед. наук, профессор,
¹ заведующий лабораторией; ³ профессор кафедры
<https://orcid.org/0000-0001-8780-9889>
e-mail: b.yushkov@iip.uran.ru

Тюменцева Наталия Валерьевна — канд. биол. наук,
старший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-2949-6607>
e-mail: tumen80@mail.ru

Кутепов Сергей Михайлович — д-р мед. наук, чл.-кор.
РАН, профессор
<https://orcid.org/0000-0002-3069-8150>
e-mail: usma@usma.ru

Boris G. Yushkov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-8780-9889>
e-mail: b.yushkov@iip.uran.ru

Natalia V. Tyumentseva — Cand. Sci. (Biol.)
<https://orcid.org/0000-0002-2949-6607>
e-mail: tumen80@mail.ru

Sergey M. Kutepov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-3069-8150>
e-mail: usma@usma.ru



Особенности выделения передних большеберцовых сосудов при формировании костных васкуляризированных трансплантатов

Д.А. Зеянин^{1,2}, В.Э. Дубров¹, А.С. Зеянин^{1,3,4}, В.В. Филиппов¹, Д.В. Яшин^{1,2}, К.А. Петросян³

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия

² ГБУЗ «Клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана ДЗМ», г. Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия

⁴ ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», г. Москва, Россия

Актуальность. Существующие в настоящее время методики выделения переднего большеберцового сосудистого пучка (ПББСП) в проксимальной трети голени не обеспечивают достаточной длины сосудистой ножки для ротации костного трансплантата большеберцовой кости до уровня средней трети бедра. **Цель исследования** — обосновать возможность выполнения операций несвободной пересадки на уровень средней трети бедра двух кровоснабжаемых костных ауто трансплантатов на общей постоянной питающей ножке, включающей ПББСП. **Материал и методы.** Исследование проведено на 62 нижних конечностях нефиксированных (нативных) трупов людей. Изучали топографо-анатомические взаимоотношения ПББСП и глубокого малоберцового нерва на уровне проксимальной трети голени. **Результаты.** Расстояние между верхушкой большого вертела бедренной кости и дистальным краем костного переднего большеберцового трансплантата при использовании комбинации трансплантатов на одном уровне составило: у мужчин Me = 176,7 [173,7; 193,9] мм, у женщин Me = 151,6 [146,9; 159,9] мм. Анализ соотношений длины конечностей у мужчин и женщин свидетельствует о стандартном уровне, который можно достичь при ротации трансплантатов у каждого человека. **Заключение.** Выделение ПББСП на уровне проксимальной трети голени позволяет ротировать на едином сосудистом пучке комплекс переднего большеберцового костного ауто трансплантата и ауто трансплантата второй плюсневой кости в зону средней трети бедренной кости. Предотвращение повреждения ветвей глубокого малоберцового нерва в ходе выделения сосудистой ножки требует использования микрохирургической техники и предоперационной подготовки.

Ключевые слова: ложные суставы, костные дефекты, ротируемые кровоснабжаемые костные трансплантаты, микрохирургическая реконструкция.

📖 Зеянин Д.А., Дубров В.Э., Зеянин А.С., Филиппов В.В., Яшин Д.В., Петросян К.А. Особенности выделения передних большеберцовых сосудов при формировании костных васкуляризированных трансплантатов. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):89-99. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1719>.

Cite as: Zelyanin D.A., Dubrov V.E., Zelyanin A.S., Filippov V.V., Yashin D.V., Petrosyan K.A. [Features of the Extraction of the Anterior Tibial Vessels in the Formation of Vascularized Bone Grafts]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):89-99. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1719>.

✉ Зеянин Дмитрий Александрович / Dmitrii A. Zelyanin; e-mail: zelyanindmitry@mail.ru

Рукопись получена: 19.12.2021. Рукопись одобрена: 17.02.2022. Статья опубликована онлайн: 28.02.2022.
 Submitted: 19.12.2021. Accepted: 17.02.2022. Published Online: 28.02.2022.

реализацию разработанной методики выделения и ротации комплекса аутотрансплантатов, статистический анализ полученных результатов.

Материал

Исследование проведено на 62 нижних конечностях нефиксированных (нативных) трупов пациентов, умерших в возрасте от 58 до 82 лет (Me = 66,5 [58,7;74,5] года), причины смерти которых не были связаны с онкологическими и сосудистыми заболеваниями. Исследования проводили в первые-вторые (Me = 1,3 [1,1;2,4]) сутки после смерти.

Критерии исключения из исследования: наличие посттравматических или послеоперационных рубцов на нижних конечностях; анамнестические или найденные в процессе исследования данные о переломах какого-либо сегмента нижней конечности.

Техника эксперимента

В первой группе препаратов голени и стопы (4 нижних конечности) сосудистую сеть изучали при помощи раствора желатина, в который добавляли метиленовый синий, используемый для контрастирования и фиксации как передней большеберцовой артерии (ПБА), так и сосудистой сети надкостницы и внутрикостных сосудов по методике В.Б. Борисевича [5].

Для введения раствора в сосудистую сеть нижней конечности производили доступ к подколенной артерии по Н.И. Пирогову. В ее просвет устанавливали катетер размером 14G, который фиксировали нитью к сосудистой стенке, проксимально накладывали лигатуру для исключения регургитации раствора. С целью улучшения распространения желатина по кровеносным сосудам осуществляли нагрев конечности до 35–40°C при помощи проточной воды, температуру контролировали лазерным термометром. После достижения необходимой температуры тканей конечности внутриартериально, через установленный катетер, в течение 1 мин. вводили 40–60 мл раствора желатина с метиленовым синим. Затем при помощи проточной воды охлаждали конечность до 10–15°C, добиваясь застывания раствора желатина, введенного в сосудистое русло (рис. 1).

Во второй группе анатомические препараты изучали в нативном состоянии без применения контрастирования сосудистого русла (58 нижних конечностей).

Выделение сосудов, нервов и их ветвей производили с использованием четырехкратной бинокулярной лупы, применяя как общехирургические, так и микрохирургические инструменты.

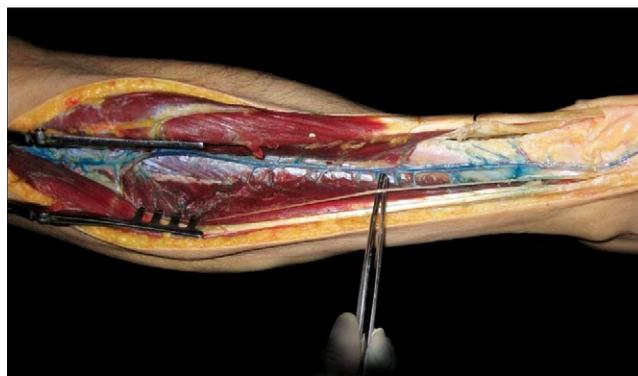


Рис. 1. Передняя большеберцовая артерия и ее ветви, фиксированные с использованием желатина с метиленовым синим

Fig. 1. Anterior tibial artery and its branches fixed by gelatin with methylene blue

Длину бедра измеряли при разогнутом коленном суставе от верхушки большого вертела до вершины угла между связкой надколенника (УСН) и передне-верхним краем большеберцовой кости (УСН-ПКББК), длину голени — от вершины УСН-ПКББК до иглы, установленной в полость голеностопного сустава по переднему краю большеберцовой кости, на середине расстояния между лодыжками. Длину стопы измеряли от иглы, установленной с подошвенной поверхности к вершине пяточного бугра, до иглы во втором плюсне-фаланговом суставе. Маркировочные иглы устанавливали перпендикулярно поверхности кожи.

После осуществления всех измерений производили хирургический доступ к ПББСП. Послойно рассекали кожу, подкожную жировую клетчатку, фасцию голени. Затем, начиная от проксимальной трети голени, тупо в промежутке между передней большеберцовой мышцей и длинным разгибателем пальцев выделяли ПББСП и его ветви. Ветви, идущие к мышечным тканям, лигировали. Ветви, идущие к надкостнице дистального отдела большеберцовой кости, только выделяли.

Проксимальной границей выделения ПББСП и соответственно возможной точкой ротации считали уровень дистальнее отхождения первых мышечных ветвей к передней большеберцовой мышце и длинному разгибателью первого пальца стопы. С учетом известных особенностей кровоснабжения передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя первого пальца стопы, на протяжении третьего 10% интервала длины голени находятся постоянные мышечные ветви от ПББСП, что соответствует 2–4 см дистальнее выхода сосудистого пучка в передний футляр голени [6]. Для упрощения измерений точка ротации комплексов тканей отнесена на 4 см дистальнее выхода

ПББСП через межкостную мембрану в переднее фасциальное ложе голени.

Ветви, идущие к мышечным тканям дистальнее выбранной верхней границы выделения ПББСП, лигировали. Ветви, идущие к надкостнице дистального отдела большеберцовой кости, только выделяли. ГМБН с его ветвями выделяли на протяжении всего переднего фасциального ложа с оценкой топографии и количества ветвей, отходящих к передней группе мышц голени. Измеряли расстояние от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ГМБН в это ложе. При наличии добавочного малоберцового нерва его выделяли на всем протяжении вместе с ветвями.

Кожный разрез продлевали до первого межпальцевого промежутка, послойно рассекали верхний и нижний удерживатели сухожилий разгибателей стопы, смещали сухожилия длинного и короткого разгибателей большого пальца стопы медиально. Затем определяли возможность ротации костных трансплантатов с сохраненным осевым источником кровообращения.

Если анатомические особенности строения сосудистой сети позволяли использовать костный лоскут в качестве ротируемого, то для определения возможности достижения уровня ложного сустава бедренной кости вычисляли длину сосудистого пучка от точки выхода ПББСП через межкостную мембрану в переднее фасциальное ложе голени до основания второй плюсневой кости. По поверхности кожи измеряли расстояние от ранее установленной на вершине УСН-ПКББК маркировочной иглы до проекции выхода ПББСП через межкостную мембрану в переднее фасциальное ложе голени, после чего производили выделение костного трансплантата из большеберцовой кости.

Следующим этапом формировали трансплантат 2-й плюсневой кости. По аналогии с физической моделью обоснования максимально возможного костного объема ауто трансплантата, выделяемого из ключицы [7], определяли границы костного трансплантата, шириной не более одной трети диаметра второй плюсневой кости, длиной — от проксимального до дистального метафиза. Артерию тыла стопы выделяли до проксимального метафиза второй плюсневой кости, по тыльно-медиальной поверхности второй плюсневой кости, на сосудистых ветвях артерии тыла стопы. Выделяли фрагмент первой межкостной мышцы, сохраняя ее связи с надкостницей второй плюсневой кости, рассекали надкостницу по границе выделенного мышечного фрагмента, избегая ее отслойки от подлежащей кости.

Формирование трансплантата из второй плюсневой кости производили в медиально-подошвенном направлении при помощи осциллирующей пилы, после чего выделяли костный трансплантат

из дистального метадиафиза большеберцовой кости с фрагментом надкостницы на периостальных ветвях ПББСП. Дистальной границей костного трансплантата из большеберцовой кости считали линию прикрепления капсулы голеностопного сустава.

После формирования комплекса последовательно расположенных костных трансплантатов с сохраненными осевыми сосудами оценивали длину сосудистой ножки дистальнее отхождения первых мышечных ветвей к передней большеберцовой мышце и длинному разгибателю первого пальца стопы — до дистального края костного фрагмента большеберцовой кости и дистального края костного фрагмента второй плюсневой кости.

Для оценки особенностей топографо-анатомических взаимоотношений сосудистой ножки и мягких тканей бедра осуществляли послойный доступ к средней и дистальной третям бедренной кости по передне-наружной поверхности бедра между прямой и латеральной головками четырехглавой мышцы. Затем между ранами на бедре и голени формировали подкожный тоннель, через который проводили костные трансплантаты на сосудистой ножке таким образом, чтобы петля, формируемая сосудистой ножкой, оставалась в тоннеле. При этом сосудистую ножку с комплексом костных трансплантатов располагали под выделенными мышечными ветвями ГМБН в проксимальном отделе голени. Затем отмечали проекцию на бедренную кость дистального конца каждого из забранных костных трансплантатов.

После ротации комплекса трансплантатов измеряли глубину от межкостной мембраны до поверхностной фасции голени для оценки толщины мышечного слоя, на этом же уровне измеряли поперечные размеры голени. Также измеряли глубину от бедренной кости до широкой фасции бедра по наружной поверхности на уровне ротируемого костного трансплантата из дистального метадиафиза большеберцовой кости.

Для имплантации костных трансплантатов в бедренную кость использовали два варианта вмешательства. Первый вариант включал расположение костных трансплантатов в разных секторах поперечного сечения бедренной кости на одном ее уровне (рис. 2а). При таком расположении длина ПБА до отхождения сосудистых ветвей к переднему большеберцовому костному трансплантату является лимитирующей величиной ротации обоих костных трансплантатов. Во втором варианте костные трансплантаты располагали по ходу сосудистого пучка последовательно относительно продольной оси: передний большеберцовый — дистально, второй плюсневой кости — проксимально (рис. 2б).

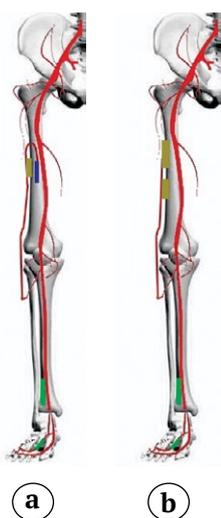


Рис. 2. Схема расположения костных трансплантатов в разных секторах поперечного сечения бедренной кости: а — на одном ее уровне; б — на разных уровнях

Fig. 2. Scheme of the bone grafts location in different sectors of the femur cross section: а — at the same levels; б — at the different levels

При обоих вариантах расположения трансплантатов измеряли расстояния от верхушки большого вертела бедренной кости до края костного трансплантата, располагающегося после ротации наиболее краниально.

Перед окончанием исследования, после осуществления ротации комплекса трансплантатов, моторные ветви ГМБН к мышцам передней группы голени маркировали, после чего забирали их фрагменты для гистологического исследования с целью определения диаметра этих ветвей на их поперечном срезе (рис. 3).

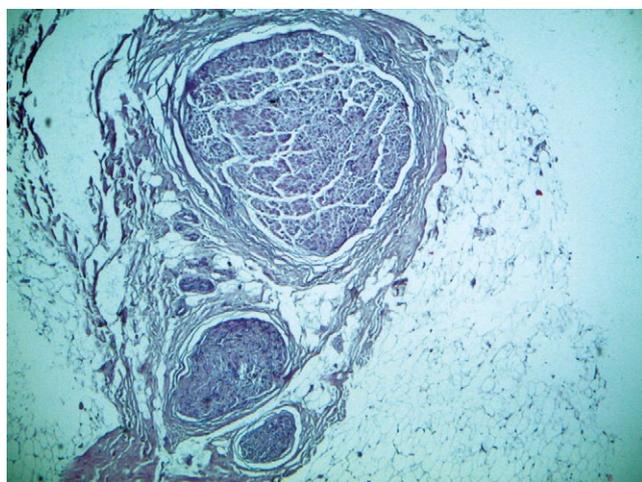


Рис. 3. Микрофотография глубокого малоберцового нерва и его ветвей. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×40

Fig. 3. Micrograph of the deep peroneal nerve and its branches. Staining with hematoxylin and eosin. Mag. ×40

Полученные макропрепараты фотографировали (фотоаппарат CANONIXUS 185). При фотофиксации микропрепаратов использовали микроскоп Leica DM 1000, цифровой фотоаппарат Leica EC3. Обработку фотографий производили с использованием графического редактора Adobe Photoshop CS 2015.5, а микрофотографий — с использованием специализированного программного пакета Leica Application Suite 4.1.

Статистический анализ

Проверку нормальности распределения оценивали с помощью критерия Шапиро — Уилка. Распределение всех количественных данных, представленное в работе, отличалось от нормального. Результаты представлены как медиана (Me), нижний 25% (LQ) и верхний 75% квантили (HQ). Для оценки значимости межгрупповых различий применялся непараметрический U-критерий Манна — Уитни для несвязанных совокупностей, значение $p < 0,05$ считали значимым.

Результаты

При исследовании 62 нижних конечностей у 31 группа ПБА найдена в 58 препаратах. Значимых различий в толщине мышечного слоя голени и бедра в группах мужчин и женщин не выявлено. Расстояния между точкой выхода ПБА, ГМБН и вершиной УСН-ПКББК статистически значимо отличались в обеих группах. Однако при оценке средних соотношений длины сегментов (бедро к голени и голени к стопе) в каждой из групп значимые отличия в результатах соотношений не были обнаружены. При анализе соотношения расстояния от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ПБА к длине голени и соотношения расстояния от вершины УСН-ПКББК до точки выхода глубокого малоберцового нерва к длине голени значимой разницы в группах не было найдено. Стоит отметить, что толщину подкожно-жировой клетчатки не учитывали, так как при ротации сосудистая ножка располагается непосредственно на поверхности костных или капсульно-связочных структур в области коленного сустава под подкожно-жировой клетчаткой.

Таким образом, установлено, что длина сосудистой ножки трансплантата пропорциональна росту пациента и, следовательно, уровень ротации трансплантата на бедро не определяется антропометрическими особенностями человека. Линейные размеры костных трансплантатов в обеих группах не имели статистически значимых различий (табл. 1).

Топографо-анатомические соотношения, возникающие после ротации костных трансплантатов, приведены в таблице 2.

Таблица 1

Результаты антропометрических измерений и топографо-анатомические взаимоотношения структур голени в группе исследования

Параметр	Средняя величина		p
	Мужчины (n = 17) Me [LQ;HQ]	Женщины (n = 14) Me [LQ;HQ]	
Толщина мышечного слоя верхней трети голени, мм	28,0 [26,3; 30,0]	24,4 [23,9; 27,9]	>0,05
Толщина мышечного слоя границы средней и нижней трети бедра, мм	30,7 [27,1; 32,8]	32,6 [30,9; 34,3]	>0,05
Длина бедра, мм	440,0 [410,7; 451,8]	394,2 [379,1; 409,2]	<0,05
Длина голени, мм	382,0 [369,0; 391,5]	342,8 [326,9; 363,0]	<0,05
Длина стопы, мм	250,0 [241,9; 263,3]	232,0 [226,0; 234,6]	<0,05
Среднее соотношение длины бедра к длине голени	1,17 [1,11; 1,19]	1,15 [1,13; 1,16]	>0,05
Среднее соотношение длины голени к длине стопы	1,47 [1,45; 1,52]	1,40 [1,39; 1,58]	>0,05
Расстояние между точкой выхода ПБА и вершиной УСН-ПКББК, мм	64,1 [56,0; 66,4]	53,0 [49,0; 54,0]	<0,05
Расстояние между точкой выхода ГМБН и вершиной УСН-ПКББК, мм	105,9 [103,1; 108,0]	93,9 [91,4; 97,8]	<0,05
Соотношение расстояния от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ПБА к длине голени	16,7 [14,9; 17,8]	14,3 [14,1; 16,2]	>0,05
Соотношение расстояния от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ГМБН к длине голени	28,57 [26,4; 30,7]	27,40 [25,9; 29,3]	>0,05
Ширина трансплантата большеберцовой кости, мм	26,5 [21,7; 30,4]	23,9 [20,1; 28,0]	>0,05
Длина трансплантата большеберцовой кости, мм	109,5 [100,5; 118,4]	101,3 [95,2; 108,9]	>0,05
Ширина трансплантата второй плюсневой кости, мм	8,4 [5,2; 12,4]	7,8 [4,7; 11,2]	>0,05
Длина трансплантата второй плюсневой кости, мм	68,5 [61,4; 76,4]	47,2 [38,2; 61,0]	>0,05

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования после ротации комплекса васкуляризированных костных аутотрансплантатов на бедро

Параметр	Средняя величина		p
	Мужчины (n = 17)	Женщины (n = 14)	
Расстояние между верхушкой большого вертела и дистальным краем трансплантата из второй плюсневой кости на ПБА, в мм от большого вертела	81,2 [73,1; 91,0]	64,7 [56,3; 72,0]	>0,05
Расстояние между верхушкой большого вертела и дистальным краем трансплантата из большеберцовой кости на ПБА, в мм от большого вертела	176,7 [173,7; 193,9]	151,6 [146,9; 159,9]	>0,05

В исследовании были оценены топографо-анатомические особенности расположения ГМБН. Расстояние от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ГМБН к проекции ПБА в группах мужчин и женщин составило $Me = 105,9 [103,1; 108,0]$ и $Me = 93,9 [91,4; 97,8]$ мм, соотношение расстояния от вершины УСН-ПКББК до точки выхода ГМБН к длине голени — $Me = 28,57 [26,4; 30,7]$ и $Me = 27,40 [25,9; 29,3]$, соответственно.

Необходимо обратить особое внимание при выделении мышечных ветвей ГМБН на зону, расположенную в пределах от 90,0 до 144,0 мм дистальнее УСН-ПКББК, находящуюся под мышцами передней группы голени. Именно в этой области находятся моторные ветви ГМБН, идущие к передней большеберцовой мышце (ПБМ). По нашим наблюдениям, ход ПБА пересекают лишь ветви, иннервирующие ПБМ (рис. 4). В 6 (9,8%) наблюдениях двигательные нервные ветви проходили под одной из комитантных вен на обеих нижних конечностях, что затрудняло выделение и повышало риски их травматизации (рис. 5).

В области шейки малоберцовой кости, дистальнее точки ветвления общего малоберцового нерва на глубокий и поверхностный, при препарировании от ГМБН во всех наблюдениях выделяли круп-

ную мышечную ветвь, которая, разделялась на 2–4 более мелкие ветви ($Me = 3,2 [2,9; 3,8]$ ветви), иннервирующие переднюю большеберцовую мышцу. Дистальнее первой крупной мышечной ветви также отмечались мышечные ветви, идущие к передней большеберцовой мышце, числом от 1 до 4 ($Me = 2,7 [1,7; 3,8]$ ветви) (см. рис. 4).

В 6,3% наблюдений (4 конечности) были обнаружены две ветви, иннервирующие длинный разгибатель большого пальца стопы на 94,3 и 119,9 мм ниже головки малоберцовой кости. Диаметры нервных ветвей, измеренные при гистологическом исследовании с помощью микроскопа, представлены в таблице 3. Результаты измерения диаметров нервных структур показали, что выделение нервов таких диаметров невозможно без увеличения. Попытки проведения этого этапа без использования бинокулярной лупы приводили к повреждению как минимум двух моторных ветвей ГМБН.

В ходе исследования были выявлены следующие варианты строения ПББСП, при которых формирование переднего большеберцового и трансплантата 2-й плюсневой кости и их ротация были невозможны: отсутствие ПБА (рис. 6а), отсутствие артерии тыла стопы (рис. 6b) и задней большеберцовой артерии.



Рис. 4. Передний большеберцовый сосудисто-нервный пучок. Мышечные ветви глубокого малоберцового нерва, идущие к передней большеберцовой мышце, пересекают ход передней большеберцовой артерии

Fig. 4. Anterior tibial neurovascular bundle. Muscular branches of the deep peroneal nerve, going to the anterior tibial muscle, cross the course of the anterior tibial artery



Рис. 5. Анатомический вариант прохождения одной из вен, сопровождающей переднюю большеберцовую артерию, между мышечными ветвями глубокого малоберцового нерва

Fig. 5. Anatomical version of anterior tibial artery-vein comitans passage between the muscular branches of the deep peroneal nerve

Таблица 3

Диаметр нервных ветвей глубокого малоберцового нерва

Параметр	Диаметр нерва, мм
Глубокий малоберцовый нерв до отхождения мышечных ветвей	2,1 [1,3; 3,2]
Первая крупная нервная ветвь, иннервирующая переднюю большеберцовую мышцу	0,5 [0,4; 0,6]
Дистальные нервные ветви, иннервирующие переднюю большеберцовую мышцу	0,2 [0,1; 0,4]
Глубокий малоберцовый нерв на уровне средней трети голени после отхождения мышечных ветвей	0,9 [0,7; 1,4]

второй плюсневой кости в зону средней трети бедренной кости. Предотвращение в ходе выделения сосудистой ножки, повреждения ветвей глубокого

малоберцового нерва, иннервирующих переднюю большеберцовую мышцу, требует использования микрохирургической техники.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Зеянин Д.А. — концепция и дизайн исследования, интерпретация полученных данных, сбор и статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

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

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

Филиппов В.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста статьи.

Яшин Д.В. — редактирование текста статьи.

Петросян К.А. — 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.

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

Этическая экспертиза. Все этапы научно-исследовательской работы одобрены этическим комитетом МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, протокол № 54/11 от 08.11.2018.

Информированное согласие. Не требуется.

Литература [References]

1. Pederson W.C., Grome L. Microsurgical Reconstruction of the Lower Extremity. *Semin Plast Surg.* 2019;33(1): 54-58. doi: 10.1055/s-0039-1677878.
2. Taylor G.I., Miller G.D., Ham F.J. The free vascularized bone graft. A clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr Surg.* 1975;55(5):533-544. doi: 10.1097/00006534-197505000-00002.
3. Зеянин А.С., Филиппов В.В., Миланов Н.О., Трофимов Е.И., Гудков Д.С. Оптимизация остеогенеза за счет васкуляризированных надкостнично-кортикальных ауто трансплантатов у больных с ложными суставами длинных трубчатых костей. *Хирургия.* 2013;(3):21-26. Zelyanin A.S., Filippov V.V., Milanov N.O., Nazoev K.V., Trofimov E.I., Gudkov D.S. [Optimization of osteogenesis with the use of vascularized periosteal-cortical autotransplants in patients with false joints of long bones]. *Khirurgiya* [Pirogov Russian Journal of Surgery]. 2013;(3):21-26. (In Russian).
4. Миланов Н.О., Зеянин А.С., Филиппов В.В., Назоев К.В., Гудков Д.С. Топографо-анатомическое обоснование возможности забора костного и надкостнично-кортикального ауто трансплантатов на уровне средней и дистальной трети большеберцовой кости. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии.* 2011;(2):66-72.

Disclaimers

Authors' contributions

Zelyanin D.A. — research concept and design, data statistical processing, manuscript writing and editing, data collection and analysis, manuscript writing.

Dubrov V.E. — research concept and design, manuscript editing.

Zelyanin A.S. — research concept and design, manuscript editing.

Filippov V.V. — research concept and design, manuscript editing.

Yashin D.V. — manuscript editing.

Petrosyan K.A. — manuscript editing

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Lomonosov Moscow State University, protocol No 54/11, 08.11.2018.

Consent for publication. Not required.

- Milanov N.O., Zelyanin A.S., Filippov V.V., Nazoev K.V., Gudkov D.S. [Topographo-anatomic substantiation of the possibility to harvest bone and periosteal-cortical autografts at the level of the middle and distal thirds of the femoral bone]. *Annaly plasticheskoi, rekonstruktivnoi i esteticheskoi khirurgii* [Annals of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery]. 2011;(2):66-72. (In Russian).
5. Борисевич В.Б. Простой способ окраски латекса. *Архив анатомии гистологии и эмбриологии.* 1969;59(2):81-82. Borisevich V.B. [A simple way to stain latex]. *Arkhiv anatomii gistologii i embriologii* [Archive AGE]. 1969;59(2):81-82. (In Russian).
 6. Тихилов Р.М., Кочиш А.Ю., Родоманова Л.А., Разоренов В.Л., Козлов И.В. Современные тенденции пластики лоскутами с осевым типом кровоснабжения на нижней конечности. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2007;(2):71-75. Tikhilov R.M., Kochish A.Yu., Rodomanova L.A., Razorenov V.L., Kozlov I.V. Modern tendencies in lower extremity plasty using flaps with axial blood supply. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2007;(2):71-75. (In Russian).

7. Шаповалов В.М., Губочкин Н.Г., Микитюк С.И. Формирование кровоснабжаемых костных трансплантатов и их использование для лечения ложных суставов и дефектов костей. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2013;172(4):63-67. doi: 10.24884/0042-4625-2013-172-4-063-067. Shapovalov V.M., Gubochkin N.G., Mikityuk S.I. [Formation of vascularized bone grafts and their use for treatment of pseudoarthroses and bone defects]. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova* [Grekov's Bulletin of Surgery]. 2013;172(4):63-67. (In Russian). doi: 10.24884/0042-4625-2013-172-4-063-067.
8. Vittoria N., Giuseppe M., Ivano D., Giovanni B. The innervation of extensor hallucis longus muscle: an anatomical study for selective neurotomy. *Acta Neurochir (Wien)*. 2009;151(10):1275-1279. doi: 10.1007/s00701-009-0504-1.
9. Elgafy H., Ebraheim N.A., Shaheen P.E., Yeasting R.A. Extensor hallucis longus innervation: an anatomic study. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;(398):245-251. doi: 10.1097/00003086-200205000-00034.
10. Yu D., Yin H., Han T., Jiang H., Cao X. Intramuscular innervations of lower leg skeletal muscles: applications in their clinical use in functional muscular transfer. *Surg Radiol Anat*. 2016;38(6):675-685. doi: 10.1007/s00276-015-1601-x.
11. Lambert H.W. Leg Muscles. In: *Bergman's Comprehensive Encyclopedia of Human Anatomic Variation*. Wiley; 2016. p. 421-437.
12. Paranjape V., Kulkarni J., Swamy P.V., Shevade S. Cadaveric study of angiosomes of anterior tibial and dorsalis pedis artery. *J Morphol Sci*. 2018;35(1):17-24. doi: 10.1055/s-0038-1660483.
13. Adachi B. Das Arteriensystem der Japaner. Vol. I. Kyoto: Maruzen; 1928. <https://www.worldcat.org/title/arteriensystem-der-japaner/oclc/1184633458?referer=d&i&ht=edition>.
14. Prasad A.M., Nayak B.S., Deepthinath R., Vollala V.R., Bhat S. Clinically important variations in the lower limb - A case report. *Europ J Anatomy*. 2005;9(3):167-169.
15. Chmielewski P., Warchoł Ł., Gala-Błądzińska A., Mróz I., Walocha J., Malczak M. et al. Blood vessels of the shin - posterior tibial artery - anatomy - own studies and review of the literature. *Folia Med Cracov*. 2016;56(3):5-9.
16. Dubreuil-Chambardel L. Les Variations du Corps Humain. Paris: Flammarion; 1925. 246 p. Available from: https://archive.org/details/BIUSante_83568.
17. Luckrajh J.S., Lazarus L., Naidoo N., Rennie C., Satyapal K.S. Anatomy of the dorsalis pedis artery. *Int J Morphol*. 2018;36(2):730-736.
18. Vijayalakshmi S., Raghunath G., Shenoy V. Anatomical study of dorsalis pedis artery and its clinical correlations. *J Clin Diagn Res*. 2011;5(2):287-290.
19. Chepte A.P., Ambiye M.V. Study of Branching Pattern of Dorsalis Pedis Artery and its Clinical Significance. *Anatomy and Physiology*. 2018;08(03). Available from: <https://www.longdom.org/open-access/study-of-branching-pattern-of-dorsalis-pedis-artery-and-its-clinical-significance-25256.html>.
20. Khan Z.A., Khan M.A., Mohammednouraltaf F., Alkhusi A.G., Alasmari W.A. Diameter of the Dorsalis Pedis Artery and its Clinical Relevance. *IOSR J Dental Med Sci (IOSR-JDMS)*. 2016;15(5):129-133. doi: 10.9790/0853-150508129133.
21. Lippert H., Pabst R. Arterial Variations in Man: Classification and Frequency. München: JF Bergman; 1985.
22. Luckrajh J.S., Lazarus L., Naidoo N., Rennie C., Satyapal K.S. Anatomy of the dorsalis pedis artery. *Int J Morphology*. 2018;36(2):730-736. doi: 10.4067/S0717-95022018000200730.

Сведения об авторах

✉ Зелянин Дмитрий Александрович — ¹аспирант кафедры; ²врач травматолог-ортопед
Адрес: 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1
<https://orcid.org/0000-0001-9220-8914>
e-mail: zelyanindmitry@mail.ru

Дубров Вадим Эрикович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com

Зелянин Александр Сергеевич — д-р мед. наук; ^{1,3,4}профессор кафедры
<https://orcid.org/0000-0003-0969-9594>
e-mail: microsurgery@inbox.ru

Филиппов Владислав Владимирович — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-4195-3153>
e-mail: vfil@gmail.com

Яшин Дмитрий Владимирович — ¹аспирант кафедры; ²врач травматолог-ортопед
<https://orcid.org/0000-0001-8284-1433>
e-mail: dmitriy_yashin1991@mail.ru

Петросян Карен Арамович — ассистент кафедры
<https://orcid.org/0000-0003-3480-1570>
e-mail: dr-petrosyan@yandex.ru

Authors' information

✉ Dmitrii A. Zelyanin
Address: 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-9220-8914>
e-mail: zelyanindmitry@mail.ru

Vadim E. Dubrov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>
e-mail: vduort@gmail.com

Aleksandr S. Zelyanin — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-0969-9594>
e-mail: microsurgery@inbox.ru

Vladislav V. Filippov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-4195-3153>
e-mail: vfil@gmail.com

Dmitrii V. Yashin
<https://orcid.org/0000-0001-8284-1433>
e-mail: dmitriy_yashin1991@mail.ru

Karen A. Petrosyan
<https://orcid.org/0000-0003-3480-1570>
e-mail: dr-petrosyan@yandex.ru



Артродез плечевого сустава: новая технология

И.А. Воронкевич¹, А.П. Варфоломеев¹, Н.И. Геращенко²

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

² ООО «Новая клиника “АБИА”», г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. Вытеснение артрореза эндопротезированием при терминальных артропатиях плечевого сустава привело к появлению пациентов, которым противопоказано ревизионное эндопротезирование. Выполнение артрореза традиционными методами у таких пациентов оказывается крайне рискованным вследствие неблагоприятных условий: отсутствия головки, истончения стенок метафиза и дефектов суставного отростка лопатки. Это потребовало создания новой техники артрореза плечевого сустава. **Цель исследования** — показать возможности новой методики артрореза плечевого сустава при последствиях осложнений эндопротезирования и терминальных стадиях артропатии плечевого сустава. **Техника операции** включает резекцию плечевого сустава, внутреннюю фиксацию специальным устройством, содержащим лопаточную вилку с четырьмя блокирующими винтами и накостную пластину. Вилка надевается на лопаточную ость со стороны ее вырезки и блокируется четырьмя стягивающими винтами, которыми зажимают лопаточную ость в вилке. Накостной пластиной фиксируют диафиз плечевой кости. Форма фиксатора задает плечелопаточные соотношения для формирования анкилоза в функционально выгодном положении. Костную пластику выполняют трансплантатом из крыла подвздошной кости по специальной методике после удаления эндопротеза или утильной головкой плечевой кости при артрорезе. **Заключение.** Разработанная методика может применяться в качестве стандартной ревизионной опции при противопоказаниях к эндопротезированию плечевого сустава, а также при любых традиционных показаниях к его артрорезу, таких как онкологические резекции, последствия открытой и огнестрельной травмы, поражения плечевого сплетения и терминальные стадии артропатии у лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом при невозможности смены профессии.

Ключевые слова: артрорез плечевого сустава, плечелопаточный анкилоз, артропатия плечевого сустава, осложнения эндопротезирования плечевого сустава, костная пластика.

Воронкевич И.А., Варфоломеев А.П., Геращенко Н.И. Артродез плечевого сустава: новая технология. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):100-109. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1683>.

Cite as: Voronkevich I.A., Varfolomeev A.P., Geraschenko N.I. [Shoulder Arthrodesis: A New Technique]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):100-109. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1683>.

Воронкевич Игорь Алексеевич / Igor A. Voronkevich; e-mail: dr_voronkevich@inbox.ru

Рукопись получена: 15.10.2021. Рукопись одобрена: 22.11.2021. Статья опубликована онлайн: 07.02.2022.
Submitted: 15.10.2021. Accepted: 22.11.2021. Published Online: 07.02.2022.

Shoulder Arthrodesis: A New Technique

Igor A. Voronkevich¹, Alexander P. Varfolomeev¹, Nikita I. Geraschenko²

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

² New Clinic ABIA, St. Petersburg, Russia

Background. The replacement of fusion by arthroplasty in terminal shoulder arthropathies has led to the emergence of cases contraindicated for revision arthroplasty. Performing fusion by traditional methods in such cases is extremely risky because of unfavorable conditions: absence of the humeral head, thinning of the metaphysis walls, and defects of the glenoid. Thus, the creation of a new shoulder fusion technique is necessary. **The study aimed** to show the possibilities of a new shoulder fusion technique in treating arthroplasty complications and terminal shoulder arthropathies. **The surgical procedure** includes the resection of the shoulder joint and internal fixation with a special device containing a scapular fork with four locking screws and a bone plate. The fork was put on the scapular spine from the side of its notch and was blocked by four tightening screws, which clamped the scapular spine in the fork. The bone plate fixed the diaphysis of the humerus. The fixator form set the scapulohumeral ratio for the formation of ankylosis in a functional position. Bone grafting was performed with a graft from the wing of the iliac bone according to the special technique after endoprosthesis removal or with the resected head of the humerus in case of arthrosis. **Conclusion.** The developed technique can be used as a standard revision option for contraindications to shoulder arthroplasty and for any traditional indications for its fusion, such as oncological resections, consequences of open and gunshot trauma, lesions of the brachial plexus, and terminal arthropathies in persons engaged in heavy physical labor when it is impossible to change profession.

Keywords: shoulder arthrodesis, shoulder ankylosis, shoulder arthropathy, complications of shoulder arthroplasty, bone grafting.

Введение

Артродез плечевого сустава — это оперативное вмешательство, заключающееся в резекции сустава и фиксации плечевой кости к лопатке для формирования анкилоза, обеспечивающего безболезненное функционирование верхней конечности в новых анатомо-функциональных условиях. Тридцатилетний опыт эндопротезирования плечевого сустава показал низкую выживаемость современных систем, вследствие чего в некоторых случаях через 7–12 лет развивается неоперабельное с точки зрения эндопротезирования состояние [1, 2, 3, 4, 5]. При противопоказаниях к ревизионному эндопротезированию плечевого сустава у таких пациентов все чаще требуется выполнение артродеза, который ортопеды, с одной стороны, стали забывать, а с другой, — избегают из-за несовершенства традиционной хирургической техники, которая оказывается совершенно несостоятельной при последствиях осложнений эндопротезирования плечевого сустава [6]. Кроме этого, пришло понимание того, что лицам, занимающимся тяжелым физическим трудом, первичное эндопротезирование, как правило, противопоказано [7, 8, 9, 10].

Новая реальность обусловила поиск иных решений проблемы терминальных артропатий за счет возрождения операции артродеза плечевого сустава на новом технологическом уровне, который может обеспечить успешное анкилозирова-

ние при сочетанных дефектах головки плеча и суставного отростка лопатки. Для этого нами была модифицирована методика операции и создан специальный внутренний фиксатор для формирования стандартизированного по углам установки анкилоза [11]. При противопоказаниях к эндопротезированию это оказалось высокотехнологичной опцией хирургического восстановления функции верхней конечности.

Цель работы — показать возможности новой методики артродеза плечевого сустава при последствиях осложнений эндопротезирования и терминальных артропатиях плечевого сустава.

Созданные в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена новая методика и специальный внутренний фиксатор для формирования анкилоза, стандартизированного по углам плечелопаточных соотношений, — это не только обновленная опция хирургического восстановления функции верхней конечности при всех известных показаниях к артродезу плечевого сустава, но и высокоэффективный метод при противопоказаниях к ревизионному эндопротезированию.

Устройство представляет собой мостовидную конструкцию, сочетающую лопаточный фиксирующий узел в виде вилки с блокирующими винтами для крепления к лопаточной ости и наkostную пластину для фиксации диафиза плечевой кости. За внешнее сходство устройство получи-

ло название «камертон» [11]. Сочетание проксимального блокирования и компрессирующей пластины в конструкции обеспечивает жесткую межотломковую фиксацию, длительно противостоящую расшатыванию и поддерживающую оптимальные механические условия консолидации плечевой кости с остатками суставного отростка лопатки при отсутствии головки плечевой кости. В форму фиксатора заложены такие углы между лопаточной блокируемой вилкой и наkostной диафизарной частью, которые при фиксации задают оптимальные отведение и девиацию в плечевом суставе и соответствуют функционально выгодному положению плечелопаточного анкилоза. Они ответственны за относительный комфорт пациента и достижение рациональной амплитуды движений плеча с верхней конечностью. Хирургу остается уточнить ротационную установку.

Изгиб по контуру головки плечевой кости позволяет обойти резецированные остатки проксимального конца плечевой кости с остатками суставного отростка лопатки (рис. 1 а), сориентировать их точное сопоставление, освободить пространство вокруг стыкуемых поверхностей для размещения трансплантатов, увеличивающих локальную костную массу и полноту контакта.

После удаления ножки протеза или спейсера всегда высока вероятность замедленной кон-

солидации вследствие снижения репаративного потенциала прилегавшей к ним кости. Это требует от фиксатора длительной устойчивости к усталостным переломам конструкции на уровне отверстия. Поэтому переходная зона фиксатора над резецированным плечевым суставом выполнена без отверстий, являющихся концентраторами напряжений. Лопаточный фиксирующий узел сделан так, чтобы при надевании на лопаточную ость вилка «камертона» охватывала ее ветвями спереди, в надостной ямке, и сзади, в подостной. Фиксацию осуществляют тремя-четырьмя стягивающими винтами, которые проходят сквозь лопаточную ость, блокируют ее и жестко зажимают, сближая ветви вилки (рис. 1 б, с). Такая фиксация успешно противостоит расшатыванию в лопатке и долго обеспечивает надежность компрессии.

В диафизарной части пластины расположены три вида отверстий: продольный паз для одноментной статической компрессии контрактором, овальные компрессирующие отверстия для динамической компрессии и круглые отверстия для окончательной фиксации плечевой кости.

Техника операции

Операцию можно выполнять из двух положений пациента: «пляжный шезлонг», сидя с приподнятым туловищем, что является традиционным для хирургии плечевого сустава, или в положении лежа

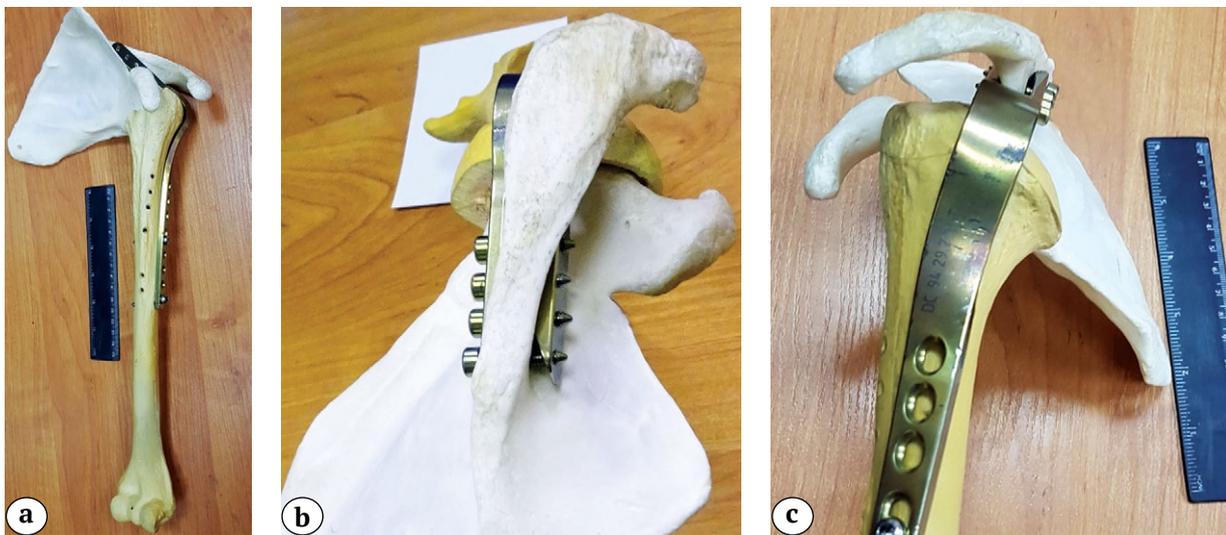


Рис. 1. Расположение фиксатора на кости и охват лопаточной ости с блокирующими винтами на муляже из учебных пластиковых костей:

а — общий вид; б — вид со стороны лопаточной ости; с — вид сбоку

Fig. 1. Location of the fixator on the bone and the coverage of the scapular spine with locking screws on a training plastic saw bone:

а — general view; б — view from the scapular spine; с — side view

на здоровом боку. При укладке «пляжный шезлонг» для артродеза плечевого сустава необходимо свешивание оперируемой лопатки за край стола на ширину лопатки (рис. 2). В этом положении удобно и резецировать сустав, и удалять лопаточный компонент эндопротеза. Устанавливать вилку на лопаточную ость неудобно. Также невозможно осуществить забор большого аутоотрансплантата из крыла подвздошной кости, который требуется при отсутствии головки, то есть при показаниях к ревизионной операции по поводу несостоятельного эндопротеза при одновременных противопоказаниях к эндопротезированию. Приходится вначале укладывать пациента на бок для забора аутоотрансплантата, затем переключать его в «шезлонг», а блокировать винты в лопаточной вилке хирург вынужден

без визуального контроля — «на ощупь», с риском ошибок и значимыми потерями времени.

Положение пациента «на боку» мы сейчас используем чаще. Оно позволяет без переключивания пациента одновременно (двумя хирургами) выполнить все этапы операции от забора большого аутоотрансплантата из крыла подвздошной кости до удаления эндопротеза, блокирования лопаточной вилки, остеосинтеза и костной пластики (рис. 3). При этом длительность операции сокращается на 40–50 мин.

Удаление компонентов и резекция сустава требуют пространственного переосмысления и обновления навыка хирургов. Для снижения кровопотери разрез выполняют по частям: каждый доступ — для одного из этапов операции.

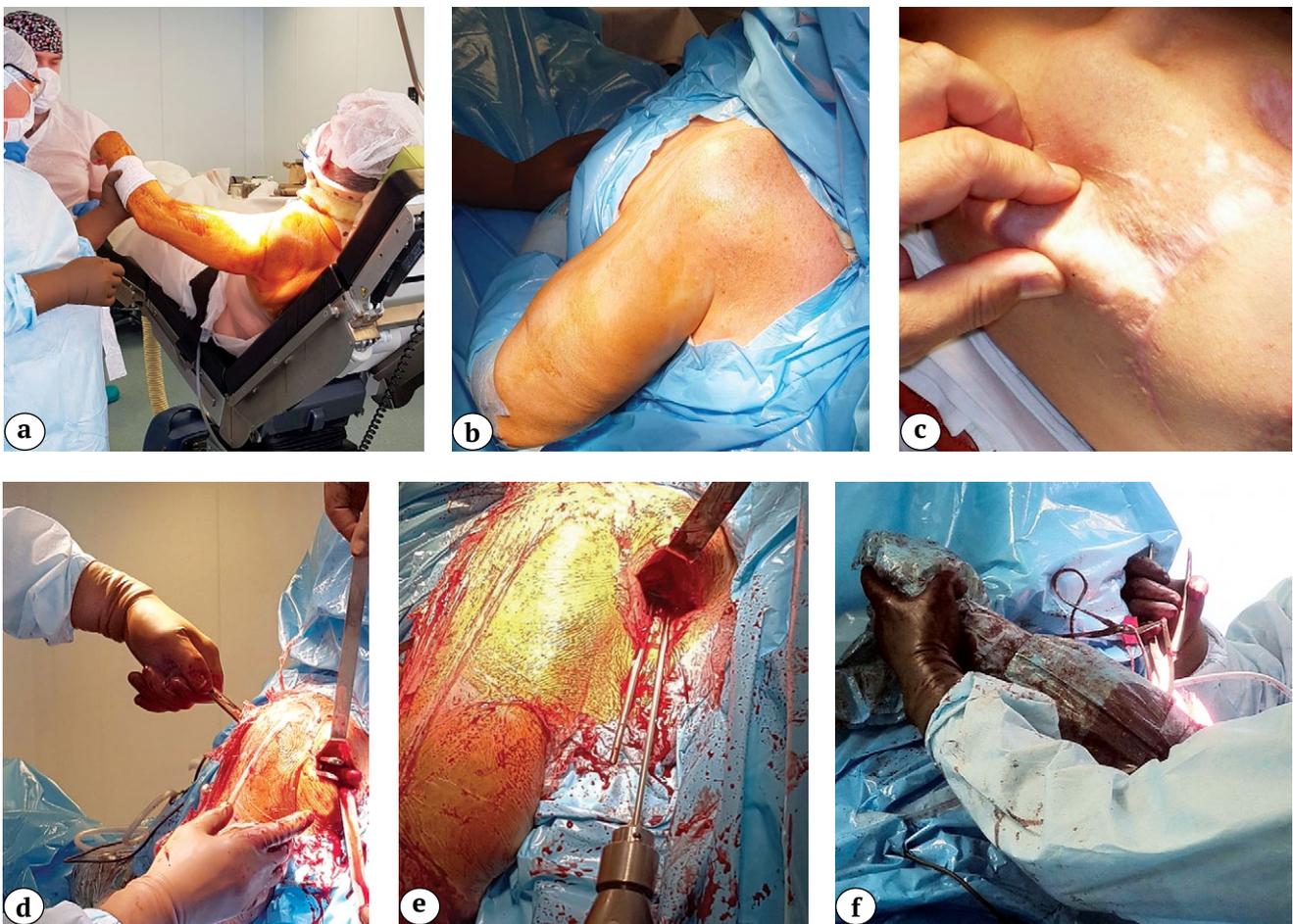


Рис. 2. Укладка пациента «пляжный шезлонг» для артродеза плечевого сустава: а — общий вид; б — операционное поле включает в себя всю лопатку и обеспечивает доступ к лопаточной ости; с — пальпация лопаточной ости при корректной укладке; д — установка вилки; е — блокирование вилки на ости; ф — установка корректной ротации, при которой кисть оперируемой руки достает до носа пациента

Fig. 2. Patient's operation position ("beach chair") for shoulder arthrodesis: а — general view; б — the operating field includes all of the scapula and provides access to the scapular spine; с — palpation of the scapular spine in correct positioning; д — fork placement; е — fork screw-locking to the scapular spine; ф — setting the correct rotation — when the hand of the operated arm reaches the patient's nose

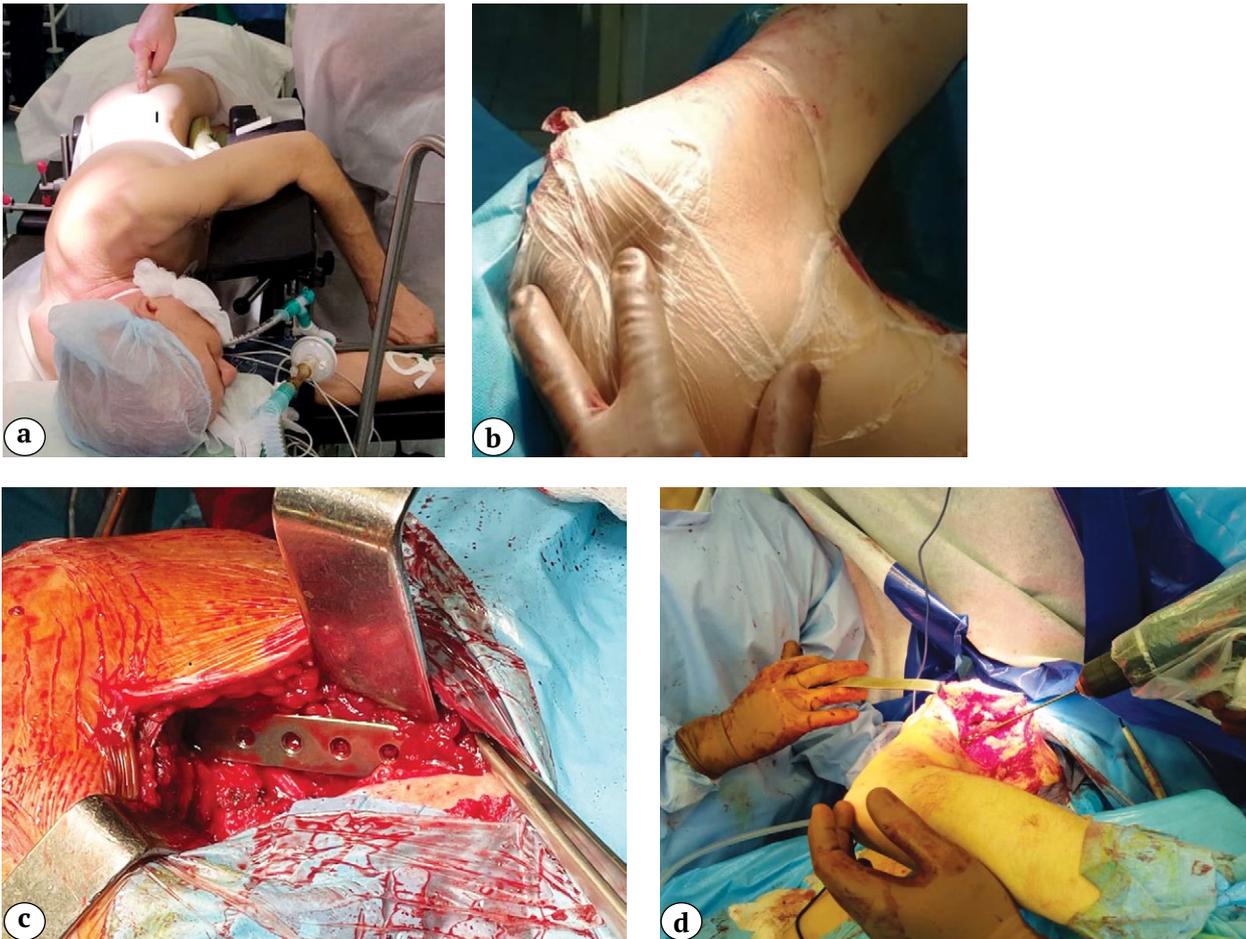


Рис. 3. Положение пациента на здоровом боку:
 а — удобство при заборе аутотрансплантата из крыла подвздошной кости;
 б — пальпация при планировании доступа к ости лопатки;
 в — визуализация лопаточной ветви вилки для введения блокирующих винтов;
 д — удобство при введении винтов в пластину

Fig. 3. Patient's position "on the intact side":
 а — handiness of bone harvesting from the iliac wing;
 б — palpation for planning approach to the spine of the scapula;
 в — visualization of the blade branch of the "the fork" for its screw locking;
 д — handiness of inserting screws into the plate

Первый разрез — прямая передняя артротомия длиной 10–12 см между передней и средней порциями дельтовидной мышцы от акромиона до нижней границы шейки плечевой кости — выполняется для резекции плечевого сустава. Удаляют хрящевую губу, хрящ с суставного отростка и резецируют 2/3 головки плечевой кости (при наличии головки) по анатомической шейке. Ее при помощи осциллирующей пилы срезают параллельно анатомической шейке, формируя дисковидные фрагменты толщиной 5–8 мм, которые будут использованы как аутотрансплантаты для костной пластики.

Для фиксации вилки к лопатке разрез длиной 4–5 см осуществляют параллельно лопаточной ости, отступив от нее в дистальном направлении

на 3–7 см в зависимости от толщины мягких тканей (при ожирении расстояние увеличивают). Продольно рассекают подостную мышцу, достигают задней поверхности лопаточной ости до края ее вырезки, надевают на ость вилку и блокируют ее стягивающими винтами.

Далее артротомический разрез продлевают в дистальном направлении на длину диафизарной части пластины. Разрез по спирали смещают медиально для отклонения от лучевого нерва. Двуглавую мышцу в дистальной части разреза также смещают медиально и, раздвигая волокна плечевой мышцы, достигают кости. В нижнем углу раны у низкорослых пациентов виден или пальпируется лучевой нерв, у рослых пациентов он остается дистальнее.

При репозиции сопоставляют обработанный проксимальный конец плечевой кости с суставным отростком лопатки, контролируя полноту контакта при оптимальной установке плеча. За угловые соотношения между плечом и лопаткой (отведение и девиацию) отвечает форма фиксатора, а хирург контролирует только ротационную установку: кисть должна доставать до носа пациента (см. рис. 2 f). При несоответствии контактных поверхностей выполняют их подгонку моделирующей резекцией. При сохранной головке после ее резекции мы иногда делаем впадину на опиле плечевой кости по форме и размерам суставного отростка для надевания на него, что существенно увеличивает площадь контакта отломков. При истонченном проксимальном конце плеча последний внедряем в подготовленный паз в центре суставного отростка. В последнем случае объем костнопластического материала должен увеличиваться.

При отсутствии головки плечевой кости контакт между плечом и лопаткой всегда точечный, поэтому он требует обширной костной пластики, для которой нужен большой аутооттрансплантат из крыла подвздошной кости. Поэтому операцию начинаем с забора трансплантата в расчетных объемах.

Резекцию сустава всегда заканчиваем передней и задней декортикацией суставного отростка лопатки для окружения зоны консолидации кровоснабжаемыми кортикально-губчатыми стенками. Под декортицированные стенки суставного отростка по передней и задней поверхностям помещаем аутооттрансплантаты в объеме, заведомо превышающем ожидаемый размер формируемой костной мозоли, и доколачиваем их импактором до плотной посадки. Для улучшения контакта пристеночных трансплантатов прижимаем их к плечевой кости и лопатке компрессирующими винтами. Такая костная пластика массивными трансплантатами вокруг зоны сомнительной консолидации обеспечивает оптимальные условия для формирования анкилоза. При застарелых вывихах мы сталкивались с костными дефектами головки плечевой кости (Hill — Sachs и McLaughlin) и переднего или заднего краев суставного отростка. В этих случаях мы выполняли обработку зоны стыковки Z-образными встречными резекциями по типу «русского замка» с компрессионной фиксацией стягивающими спонгиозными винтами.

На каждом этапе доступа необходим тщательный гемостаз. Особое внимание следует уделять сосудам: *a. circumflexa humeri posterior*, которая может быть ответственна за кровотечение при выделении головки плечевой кости, *a. et v. suprascapularis*, проходящие по нижнему краю *incisura scapulae* и которые могут быть повреждены при некорректной установке вилки фиксатора на

ость. При передних вывихах многолетний анамнез приближает подкрыльцовую артерию к головке плечевой кости. Поэтому перед операцией необходима их оценка по КТ с ангиоконтрастированием. В случае тесного контакта артерии с головкой приходилось выполнять резекцию головки, применяя прием декортикации, оставляя прилежащую к артерии часть кости головки с хрящом.

Фиксатор второго поколения, который применен у 82 пациентов с 2013 г. по настоящее время, являлся универсальным, не зависящим от стороны поражения плечевого сустава, и всегда требовал предоперационной индивидуальной подгибки, иногда — с применением нагрева до 600–700°, при которых титан становится термопластичным и позволяет принимать любую форму без потери прочности.

Из нейтральной формы фиксатор перед стерилизацией подгибали в трех плоскостях: под сторону поражения и под хирургическую задачу. Начинали с отклонения пластины кзади на 25–30°, превращая фиксатор в правый или левый вариант. В случае сохранной головки плечевой кости или незначительных анатомических изменений костей плечевого сустава при такой подготовке фиксатора офсет не меняли, а лишь спирально скручивали наконечную часть фиксатора вокруг оси плечевой кости для ухода от контакта с лучевым нервом. Для правого делали скручивание пластины против часовой стрелки, для левого — по часовой стрелке на 30–50° в зависимости от роста пациента. Рост определяет расстояние от сустава до выхода лучевого нерва на передненаружную поверхность плеча. У высокого пациента с сохранной головкой скрутка меньше. При уменьшении длины плеча у низкорослого пациента с дефектом головки, например после эндопротезирования или опухолевого разрушения, скрутку увеличивали, выводя дистальный конец пластины почти на переднюю поверхность плечевой кости. При отсутствии головки и особенно после удаления эндопротеза или спейсера требовалось уменьшение офсета на разницу между диаметром головки и диаметром торца диафиза, которые определяли по данным КТ. Для этого изменяли главный изгиб фиксатора, идущий вокруг условной головки (головки нет, поэтому нужно приблизить условную ось плеча к центру остатков суставного отростка на разницу между диаметром головки и диаметром метадиафиза плечевой кости), то есть с 50–55 мм до 25–30 мм.

На момент написания статьи в клинике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена по описанной методике прооперированы 100 пациентов по вышеперечисленным показаниям. За последние 5 лет соотношение ревизионных показаний на фоне противопоказаний к эндопротезированию ко всем остальным

возросло до 3:2. У 95% пациентов сформирован анкилоз плечевого сустава, причем консолидация в условиях отсутствия головки и дефектов суставного отростка привела к формированию достаточно прочной костной мозоли (рис. 4). У части пациентов без окончательной перестройки наб-

людается клиническая консолидация при положительной тенденции к костному сращению. Все пациенты отмечают прекращение боли, физическую силу и постоянство результата с тенденцией к его улучшению к 5–6-му году после операции без тенденции к ухудшению на протяжении 10 лет.



Рис. 4. Консолидация после артродеза левого плечевого сустава по поводу рецидивирующих вывихов ревизионного реверсивного эндопротеза (7 лет — анатомический эндопротез, рецидивирующие вывихи через 4 года после имплантации реверсивного эндопротеза):
а — фронтальный КТ-срез;
б — 3D КТ, вид спереди

Fig. 4. Consolidation quality following arthrodesis for recurrent dislocations after the revision reverse endoprosthesis (7 years of anatomical endoprosthesis survival and 4 years after the reverse shoulder endoprosthesis complicated by recurrent dislocations):
a — CT in frontal section;
b — CT scan — 3D reconstruction, frontal view

Обсуждение

Операция артродеза по описанной методике применяется в нашем учреждении с 2005 г. Первые такие вмешательства выполняли с использованием индивидуально изготавливаемых имплантатов из штыковидных гвоздей ЦИТО, которые подвергались существенной переделке. Накопленный опыт позволил создать конструкцию второго поколения (НПО «ДЕОСТ», завод «ДС», Пущино, Москва), которую мы использовали для этой операции с 2012 по 2021 г. В настоящее время третье поколение устройства подготовлено к выпуску на предприятии «Альтермедика» (Санкт-Петербург). Опыт работы со вторым поколением позволил сформулировать новые медико-технические требования к имплантату третьего поколения, выпуск которого планируется с 2023 г.

При окончательной доводке нового устройства третьего поколения были устранены недостатки, характерные для предыдущих поколений. Главный недостаток — необходимость предоперационной подгибки к стороне повреждения и его анатомическому варианту — устраняет производитель, который будет выпускать специальные типоразмеры с высокой степенью подготовки формы устройства для внутренней фиксации. Практически все изгибы фиксатора заложены в заводские формы: уточненный контур вокруг сустава, продольные спиральные скрутки и заднее отклонение диафизарной части. Это привело к появлению в третьем поколении правого и левого вариантов фиксатора, а также типоразмеров, используемых для обширных резекций проксимального отдела,

в основном по постэндопротезным и онкологическим показаниям, в частности ревизионно-резекционный офсет, существенно укороченный по сравнению с офсетом для сохранной головки. Мы считаем важнейшим достоинством устройств третьего поколения минимизацию индивидуального моделирования фиксатора при том, что материал (пластичный титан) теперь позволяет сделать минимальную индивидуализацию прямо в операционной пластиногибами.

Совершенствование техники эндопротезирования повсеместно привело к практически полному отказу от операции артродеза плечевого сустава [8, 10, 12]. Эта операция в ближайшие месяцы после корректной имплантации анатомического или реверсивного эндопротеза приводит к восстановлению безболезненных движений плеча с достаточной амплитудой. Опубликованы даже единичные примеры эндопротезирования у пациентов с остеотомией плечелопаточного анкилоза, выполненного по особым показаниям (по-видимому, при функционально невыгодной установке) [13, 14]. Однако опыт, накопленный более чем за 30 лет, выявил ряд негативных тенденций, что требует переосмысления проблемы лечения терминальной артропатии плечевого сустава. Первым негативным явлением оказался относительно короткий период успешного функционирования эндопротеза плечевого сустава у значительной части пациентов с тенденцией к постепенному снижению амплитуды движений и появлению болевого синдрома, которые со временем становятся показанием к ревизионной операции [8, 15].

Из ревизионных опций в настоящее время чаще используют переход от анатомического к реверсивному эндопротезу [2, 7, 15].

До недавнего времени переход от эндопротеза к артродезу рассматривался в качестве очень редкого решения с ограниченными показаниями [16], что, по нашему мнению, было связано с отсутствием надежной методики. Имеются единичные публикации, в которых описан переход от эндопротеза к артродезу [6, 16]. В современных публикациях найти четко сформулированных показаний к артродезу после осложнений эндопротезирования не удаётся, что, по нашему мнению, связано с отсутствием доступной надежной методики. Однако опыт показал, что после реверсивного эндопротезирования, выполненного в качестве ревизионного, показания для второй ревизионной операции возникают почти вдвое быстрее, чем после первичного [2, 17]. В настоящее время, по данным разных авторов, от четверти до трети пациентов, нуждающихся во второй ревизии, сталкиваются с противопоказаниями к выполнению эндопротезирования плечевого сустава из-за отсутствия достаточного костного ложа для имплантации (особенно лопаточного компонента), рецидивирующих вывихов реверсивной конструкции, перипротезных переломов или псевдоартрозов на уровне верхушки нестабильного плечевого компонента, дисфункции дельтовидной мышцы, наличия спейсера после глубокой инфекции, а также отсутствия понимания пациентом необходимости строгого соблюдения ограничений нагрузок при профессиях, связанных с тяжелым физическим трудом при невозможности смены профессии [17, 18, 19]. Пациенту с «болезненным болтающимся плечом» после многократных попыток замены сустава остается единственный шанс на восстановление безболезненности и силы руки при ограниченной амплитуде движений. Это артродез плечевого сустава на фоне крайне неблагоприятных условий формирования анкилоза — комбинации тотального дефекта головки с субтотальным дефектом суставного отростка лопатки [18, 19, 20, 21, 22].

Кроме новых проблем, возникших в связи с ростом количества операций эндопротезирования, никуда не исчезли традиционные, давно известные показания к артродезу, которые не имеют альтернативных решений. В настоящее время это последствия переломов и переломовывихов проксимального отдела плеча с необратимой потерей функции подкрыльцового нерва, невправленные вывихи плеча с многолетним анамнезом, которым сопутствуют полное дегенеративное перерождение элементов ротаторной манжеты

с глубоким импрессионным дефектом головки плечевой кости, повреждения плечевого сплетения (стабилизация плеча для повышения эффективности ревизионного нейрохирургического вмешательства на нервах, формирующих сплетение), последствия тяжелых открытых и огнестрельных переломов области плечевого сустава, последствия многократных безуспешных ревизионных вмешательств по поводу осложнений остеосинтеза, резекции опухолей области плечевого сустава, после которых эндопротезирование с приемлемым функциональным результатом невозможно [21, 22, 23, 24, 25]. Отдельно следует выделить дегенеративно-дистрофические заболевания плечевого сустава у лиц тяжелого физического труда при невозможности смены профессии. Тяжелый физический труд приводит к быстрому развитию механических осложнений эндопротезирования: асептическое расшатывание, перипротезные переломы, нестабильность, вывихи [18, 21, 22].

Сохраняющиеся методики артродеза плечевого сустава, как правило, рассчитаны на использование компрессионной трансартрикулярной фиксации освобожденной от хряща головки плечевой кости к аналогично обработанному суставному отростку лопатки в комбинации с внесуставной фиксацией плеча к лопатке одной-двумя мостовидными пластинами или аппаратами внешней фиксации. Однако даже при сохранной головке они не всегда позволяют достичь консолидации: вместо анкилоза плечевого сустава у 10–25% пациентов после артродеза развивается псевдоартроз [20, 26, 27, 28]. А после удаления головки плечевой кости по любым показаниям, среди которых преобладают связанные с эндопротезированием, эти методики артродеза оказываются практически несостоятельными. В этом отношении методика, описанная в настоящей работе, имеет явные и неоспоримые преимущества и является эффективной опцией при противопоказаниях к эндопротезированию плечевого сустава.

Заключение

Таким образом, предложенная методика артродеза плечевого сустава является эффективной операцией при невозможности восстановления плечевого сустава, позволяющей добиться консолидации более чем в 90% случаев, в том числе и после удаления эндопротеза или спейсера, что значительно превышает эффективность известных методик. Она является надежной ревизионной опцией в неблагоприятных биомеханических условиях, характерных для противопоказаний к эндопротезированию плечевого сустава, и может служить альтернативой известным методикам.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

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

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

Этическая экспертиза. На проведение исследования получено разрешение локального этического комитета НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена.

Информированное согласие. Пациенты дали письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию медицинских данных и фотографий.

Литература [References]

- Shukla D.R., McAnany S., Kim J., Overlay S., Parsons B.O. Hemiarthroplasty versus reverse shoulder arthroplasty for treatment of proximal humeral fractures: a meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016;25(2):330-340. doi: 10.1016/j.jse.2015.08.030.
- Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry (AOANJRR). Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty: 2020 Annual Report. Adelaide: AOA, 2020.
- Ненашев Д.В., Варфоломеев А.П., Майков С.В. Анализ отдаленных результатов эндопротезирования плечевого сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2012;18(2):71-78. doi: 10.21823/2311-2905-2012--2-71-78. Nenashev D.V., Varfolomeev A.P., Maykov S.V. [Analysis of long-term results of shoulder arthroplasty] *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2012;18(2):71-78. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2012--2-71-78.
- Доколин С.Ю., Варфоломеев А.П., Кузьмина В.И., Артюх В.А., Марченко И.В. Среднесрочные результаты реверсивного эндопротезирования у пациентов с артропатией плеча после массивного разрыва вращательной манжеты. *Травматология и ортопедия России.* 2018;24(2):7-18. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-7-18. Dokolin S.Yu., Varfolomeev A.P., Kuzmina V.I., Artyukh V.A., Marchenko I.V. [Outcomes of Reverse arthroplasty in patients with Shoulder arthropathy and Massive Rotator cuff Tear]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(2):7-18. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-7-18.
- Майков С.В. Эволюция эндопротезирования плечевого сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2020;27(1):84-90. doi: 10.17816/vto202027184-90.

Disclaimers

Authors' contributions

All authors made equal contributions to the study and the publication.

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

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

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

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics.

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

- Maykov S.V. [Evolution of shoulder arthroplasty]. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2020;27(1):84-90. (In Russian). doi: 10.17816/vto202027184-90.
- Scalise J.J., Iannotti J.P. Glenohumeral arthrodesis after failed prosthetic shoulder arthroplasty. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91 Suppl 2 Pt 1:30-37. doi: 10.2106/JBJS.H.01249.
- Gregory T., Hansen U., Taillieu F., Baring T., Brassart N., Mutchler C. et al. Glenoid loosening after total shoulder arthroplasty: an in vitro CT-scan study. *J Orthop Res.* 2009;27(12):1589-1595. doi: 10.1002/jor.20912.
- Dillon M.T., Page R.S., Graves S.E., Lorimer M.F., Prentice H.A., Harris J.E. et al. Early revision in anatomic total shoulder arthroplasty in osteoarthritis: a cross-registry comparison. *Shoulder Elbow.* 2020; 12(1 Suppl):81-87. doi: 10.1177/1758573219842168.
- Gauci M.O., Cavalier M., Gonzalez J.F., Holzer N., Baring T., Walch G. et al. Revision of failed shoulder arthroplasty: epidemiology, etiology, and surgical options. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(3):541-549. doi: 10.1016/j.jse.2019.07.034.
- González-Díaz R., Rodríguez-Merchán E.C., Gilbert M.S. The role of shoulder fusion in the era of arthroplasty. *Int Orthop.* 1997;21(3):204-209. doi: 10.1007/s002640050151.
- Воронкевич И.А., Варфоломеев А.П., Герашенко Н.И. Артродез плечевого сустава с использованием оригинального фиксатора. *Актуальные проблемы травматологии и ортопедии: сборн. науч. статей посвящ. 110-летию РНИИТО им. Р.Р. Вредена.* Санкт-Петербург; 2016. с. 40-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28791371>.

- Voronkevich I.A., Varfolomeev A.P., Gerashchenko N.I. [Arthrodesis of the shoulder joint using an original fixator]. [Actual problems of traumatology and orthopedics: collection of articles. scientific. articles dedicated. 110-th anniversary of the RNIITO them. R.R. Vreden]. St. Petersburg; 2016. p. 40-46. (In Russian) Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28791371>.
12. Boyer P., Hutten D., Alnot J.Y. [Bipolar shoulder prosthesis for rheumatoid arthritis with irreparable rotator cuff tear: results after 5 years' follow-up]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2006;92(6):556-566. (In French).
 13. Alta T.D., Willems W.J. Once an arthrodesis, always an arthrodesis? *J Shoulder Elbow Surg.* 2016;25(2):232-237. doi: 10.1016/j.jse.2015.07.010.
 14. Dogger M.N., van Bommel A.F., Alta T.D.W., van Noort A. Conversion to reverse shoulder arthroplasty fifty-one years after shoulder arthrodesis: A case report. *World J Orthop.* 2020;11(10):465-472. doi: 10.5312/wjo.v11.i10.465.
 15. Boileau P., Watkinson D.J., Hatzidakis A.M., Balg F. Grammont reverse prosthesis: design, rationale, and biomechanics. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(1 Suppl S):147S-161S. doi: 10.1016/j.jse.2004.10.006.
 16. Wilde A.H., Brems J.J., Boumphrey F.R. Arthrodesis of the shoulder. Current indications and operative technique. *Orthop Clin North Am.* 1987;18(3):463-472.
 17. Moeini S., Rasmussen J.V., Salomonsson B., Domeij-Arverud E., Fenstad A.M., Hole R. et al. Reverse shoulder arthroplasty has a higher risk of revision due to infection than anatomical shoulder arthroplasty: 17 730 primary shoulder arthroplasties from the Nordic Arthroplasty Register Association. *Bone Joint J.* 2019;101-B(6):702-707. doi: 10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1348.R1.
 18. Atlan F., Durand S., Fox M., Levy P., Belkheyar Z., Oberlin C. Functional outcome of glenohumeral fusion in brachial plexus palsy: a report of 54 cases. *J Hand Surg Am.* 2012;37(4):683-688. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.01.012.
 19. Dimmen S., Madsen J.E. Long-term outcome of shoulder arthrodesis performed with plate fixation: 18 patients examined after 3-15 years. *Acta Orthop.* 2007;78(6):827-833. doi: 10.1080/17453670710014626.
 20. Rühmann O., Schmolke S., Bohnsack M., Flamme C., Wirth C.J. Shoulder arthrodesis: indications, technique, results, and complications. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(1):38-50. doi: 10.1016/j.jse.2004.05.008.
 21. Thangarajah T., Alexander S., Bayley I., Lambert S.M. Glenohumeral arthrodesis for the treatment of recurrent shoulder instability in epileptic patients. *Bone Joint J.* 2014;96-B(11):1525-1529. doi: 10.1302/0301-620X.96B11.33754.
 22. Diaz J.A., Cohen S.B., Warren R.F., Craig E.V., Allen A.A. Arthrodesis as a salvage procedure for recurrent instability of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg.* 2003;12(3):237-241. doi: 10.1016/s1058-2746(02)86883-5.
 23. Tomaino M.M. Scapulothoracic arthrodesis for post-traumatic proximal humeral loss using vascularized fibular transplantation and allograft bone. *J Reconstr Microsurg.* 2000;16(5):335-340. doi: 10.1055/s-2000-7342.
 24. Chammas M., Goubier J.N., Coulet B., Reckendorf G.M., Picot M.C., Allieu Y. Glenohumeral arthrodesis in upper and total brachial plexus palsy. A comparison of functional results. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(5):692-695. doi: 10.1302/0301-620x.86b5.13549.
 25. Zsoldos C.M., Basamania C.J., Bal G.K. Shoulder fusion after a self-inflicted gunshot wound: an injury pattern and treatment option. *Bone Joint J.* 2013;95-B(6):820-824. doi: 10.1302/0301-620X.95B6.31447.
 26. Mimata Y., Nishida J., Sato K., Suzuki Y., Doita M. Glenohumeral arthrodesis for malignant tumor of the shoulder girdle. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(2):174-178. doi: 10.1016/j.jse.2014.05.023.
 27. Porcellini G., Savoie F.H. 3rd, Campi F., Merolla G., Paladini P. Arthroscopically assisted shoulder arthrodesis: is it an effective technique? *Arthroscopy.* 2014;30(12):1550-1556. doi: 10.1016/j.arthro.2014.06.026.
 28. Lenoir H., Williams T., Griffart A., Lazerges C., Chammas M., Coulet B. et al. Arthroscopic arthrodesis of the shoulder in brachial plexus palsy. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017;26(5):e115-e121. doi: 10.1016/j.jse.2016.09.040.

Сведения об авторах

✉ **Воронкевич Игорь Алексеевич** — д-р мед. наук, заведующий научным отделением

Адрес: Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8

<https://orcid.org/0000-0001-8471-8797>

e-mail: dr_voronkevich@inbox.ru

Варфоломеев Александр Павлович — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-7710-1024>

e-mail: doctor_varf@mail.ru

Герашенко Никита Игоревич — врач травматолог-ортопед

<https://orcid.org/0000-0002-0781-4619>

e-mail: gerashchenko@gmail.com

Authors' information

✉ **Igor A. Voronkevich** — Dr. Sci. (Med.).

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

<https://orcid.org/0000-0001-8471-8797>

e-mail: dr_voronkevich@inbox.ru

Alexander P. Varfolomeev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7710-1024>

e-mail: doctor_varf@mail.ru

Nikita I. Geraschenko

<https://orcid.org/0000-0002-0781-4619>

e-mail: gerashchenko@gmail.com

Клиническое наблюдение
УДК 616.718.41-002.4:616.98
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1687>



Остеонекроз головки бедренной кости после COVID-19: серия клинических наблюдений

М.А. Панин^{1,2}, А.С. Петросян¹, К.Х. Хаджихараламбус³, А.В. Бойко²

¹ ГБУЗ «Городская клиническая больница № 17 ДЗМ», г. Москва, Россия

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

³ ГБУЗ «Городская клиническая больница № 40 ДЗМ», г. Москва, Россия

Известно, что COVID-19 оказывает неблагоприятное влияние на различные органы и системы организма человека. В доступной литературе имеются единичные сообщения, касающиеся развития остеонекроза после перенесенного COVID-19. В этих работах обсуждается роль широко используемых в лечении COVID-19 кортикостероидов в развитии остеонекроза. В нашей статье приводятся клинические наблюдения четырех пациентов с двусторонним остеонекрозом головок бедренных костей после лечения COVID-19. Дозы преднизолона у трех пациентов составили 4000 мг, 746 мг и 533 мг. У одной пациентки кортикостероиды не применялись. Наши данные показали, что остеонекроз у пациентов, перенесших COVID-19, развился в более короткие сроки по сравнению с этой патологией у пациентов без коронавирусной инфекции. У двух из четырех пациентов отмечен отягощенный семейный анамнез (инфаркт миокарда, гипертонзия, тромбоз). Возможно, у них в генезе остеонекроза головки бедренной кости некоторую роль сыграли наследственные сосудистые факторы. Для понимания особенностей развития остеонекроза после COVID-19 необходимо дальнейшее накопление фактических данных. Вероятно, на развитие заболевания синергично воздействуют многие факторы, в том числе стероидный и ишемический.

Ключевые слова: COVID-19, коронавирусная инфекция, кортикостероиды, асептический некроз, остеонекроз.

Case Report
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1687>



Avascular Necrosis of the Femoral Head After COVID-19: A Case Series

Mikhail A. Panin^{1,2}, Armenak S. Petrosyan¹, Kirill Kh. Hadjicharalambous³, Andrei V. Boiko²

¹ City Clinical Hospital No 17, Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

³ City Clinical Hospital No 40, Moscow, Russia

The coronavirus disease-2019 (COVID-19) has adverse effects on various organs and systems. There are isolated reports concerning the development of osteonecrosis after COVID-19. These papers discuss the role of corticosteroids widely used in the treatment of COVID-19 in the development of osteonecrosis. This article presents clinical observations of

Панин М.А., Петросян А.С., Хаджихараламбус К.Х., Бойко А.В. Остеонекроз головки бедренной кости после COVID-19: серия клинических наблюдений. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):110-117. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1687>.

Cite as: Panin M.A., Petrosyan A.S., Hadjicharalambous K.Kh., Boiko A.V. [Avascular Necrosis of the Femoral Head After COVID-19: A Case Series]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1): 110-117. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1687>.

Бойко Андрей Викторович / Andrei V. Boiko; e-mail: boiko120393@gmail.com

Рукопись получена: 19.10.2021. Рукопись одобрена: 17.01.2022. Статья опубликована онлайн: 04.02.2022.
Submitted: 19.10.2021. Accepted: 17.01.2022. Published Online: 04.02.2022.

© Панин М.А., Петросян А.С., Хаджихараламбус К.Х., Бойко А.В., 2022
© Panin M.A., Petrosyan A.S., Hadjicharalambous K.H., Boiko A.V., 2022

four patients with bilateral osteonecrosis of the femoral heads after treatment with COVID-19. Prednisone doses in three patients were 4000 mg, 746 mg, and 533 mg. Corticosteroids were not used in one patient. Data showed that osteonecrosis in patients who underwent coronavirus developed in a shorter time compared with this pathology in patients without COVID-19. Two of four patients had a burdened family history (such as myocardial infarction, hypertension, and thrombosis). Hereditary vascular factors possibly played some roles in the genesis of the osteonecrosis of the femoral head in these patients. To understand the features of osteonecrosis development after COVID-19, further accumulation of evidence is necessary. Several synergistically influencing factors are important in the development of this disease after COVID-19.

Keywords: COVID-19, coronavirus infection, corticosteroids, aseptic necrosis, osteonecrosis.

Введение

Новая коронавирусная инфекция является причиной пандемии, которая началась в декабре 2019 г., а 30 января 2020 г. ВОЗ объявила вспышку новой коронавирусной инфекции чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения, имеющей международное значение [1]. 11 февраля 2020 г. Международный комитет по таксономии вирусов дал название новому коронавирусу SARS-CoV-2, а ВОЗ назвала болезнь COVID-19. В связи с быстрым распространением инфекции по всему миру и высокой летальностью 11 марта 2020 г. ВОЗ объявила о начале пандемии COVID-19. SARS-CoV-2 значительно превзошел SARS-CoV и MERS-CoV по количеству инфицированных и эпидемических зон: в 220 странах мира на данный момент зафиксированы случаи заболевания новой коронавирусной инфекцией [2]. По состоянию на 10.09.2021 г. в мире было зарегистрировано 223 022 538 случаев заболевания COVID-19, в том числе 4 602 882 — со смертельным исходом [3].

Выполненные исследования демонстрируют, что COVID-19 оказывает неблагоприятное воздействие на различные системы организма и может приводить к таким состояниям, как легочная тромбоэмболия, кардиомиопатия, синдром Гийена–Барре, легочный фиброз, дисфункция нервной системы и др. [4, 5, 6]. Последствия перенесенного COVID-19 могут сохраняться на протяжении недель или даже месяцев [4, 7].

В 2020 г. с целью описания затяжного течения последствий COVID-19 был предложен термин “long COVID”, то есть длительный COVID, продолжительность которого превышает 12 нед. [8]. Симптомами длительного COVID-19 могут быть усталость, ощущение недостатка воздуха, депрессия и тревога, боль в грудной клетке, суставах и мышцах, а также отсутствие концентрации внимания, которое обозначается термином “brain fog” — «мозговой туман» [4].

Согласно российским клиническим рекомендациям по лечению COVID-19 от 2021 г., терапия делится на этиотропную, патогенетическую и симптоматическую. В качестве этиотропной терапии применяются противовирусные препараты. Патогенетическая терапия назначается в основ-

ном госпитализированным в стационар пациентам и включает антикоагулянты в связи с повышенным риском тромбообразования при данном заболевании, а также иммуносупрессоры для лечения «цитокинового шторма» (блокаторы цитокинов и их рецепторов) [9]. В острой фазе COVID-19 в качестве средства, спасающего жизнь, применяются кортикостероиды [10].

Общеизвестно, что длительное и/или высокодозированное использование кортикостероидов в клинической практике является фактором, предрасполагающим к развитию остеонекроза (стероид-индуцированный некроз), в том числе головки бедренной кости [11]. В то же время известно, что в генезе так называемого идиопатического остеонекроза головки бедренной кости играют роль коагулопатии и сосудистые факторы, которые являются элементами патогенеза тромботических осложнений при тяжелых формах COVID-19 [12, 13]. В данной статье нами представлены 4 клинических наблюдения пациентов с двусторонним остеонекрозом головок бедренных костей, диагностированным после перенесенной коронавирусной инфекции, в которых генез остеонекроза представляется дискуссионным.

Клиническое наблюдение 1

Мужчина 42 лет (пациент 1) без отягощенного соматического и семейного анамнеза перенес тяжелую форму COVID-19 с 80% поражением легких. Находился на стационарном лечении 27 дней. Пациенту назначались антикоагулянты (эноксапарин 1,6 мл в сутки на весь период лечения), противовирусный препарат фавипиравир (3600 мг — 1 сут., затем 1600 мг — 6 сут.), тоцилизумаб (400 мг однократно). До госпитализации в течение 6 дней пациент получал по 18 мг дексаметазона. В процессе стационарного лечения терапия дексаметазоном была продолжена в дозировке 20 мг ежедневно с последующим снижением до 4 мг к моменту выписки. Суммарно за время заболевания пациент получил 600 мг дексаметазона. После выписки из стационара с целью профилактики тромбообразования пациент получал по 20 мг ривароксабана в сутки в течение 1 месяца.

Через 80 дней после начала заболевания пациент отметил появление сильных болей в области обоих тазобедренных суставов (ВАШ 8 баллов) и пояснице, в связи с чем испытывал значительные затруднения при ходьбе. Следует отметить, что

такие симптомы пациентом отмечены впервые в жизни. Через 120 дней после начала заболевания COVID-19 по данным МРТ диагностирован двусторонний остеонекроз головок бедренных костей стадии ARCO IIC с обеих сторон (рис. 1).

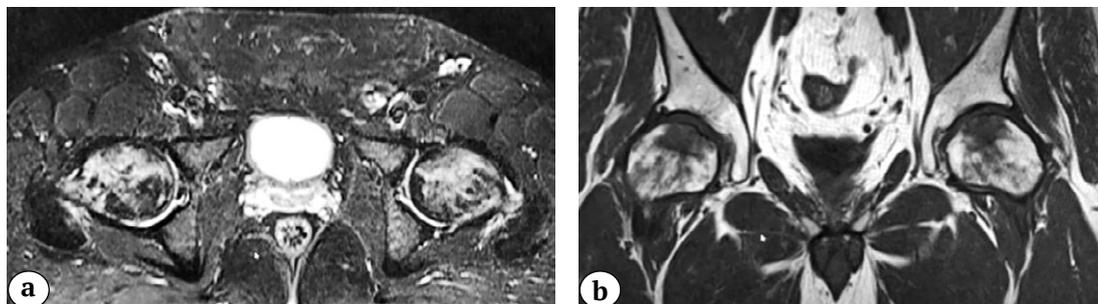


Рис. 1. МРТ-признаки двустороннего некроза головок бедренных костей (стадия ARCO IIC) у пациента 1: а — аксиальная проекция; б — фронтальная проекция

Fig. 1. MRI signs of bilateral femoral head osteonecrosis (ARCO IIC) in patient 1: a — axial view; b — frontal view

Через 135 дней после начала заболевания COVID-19 была выполнена двусторонняя декомпрессия очагов некроза с введением концентрата костного мозга (ВМС — bone marrow concentrate) и назначена медикаментозная терапия статинами с учетом предполагаемого стероид-индуцированного некроза, бисфосфонатами и антикоагулянтами. Через 3 мес. после операции пациент отметил улучшение двигательной активности, снижение болевого синдрома (с 8 до 4 баллов по ВАШ). Значимого улучшения по данным МРТ не выявлено.

Клиническое наблюдение 2

У мужчины 32 лет (пациент 2) без отягощенного соматического и семейного анамнеза заболевание манифестировало с повышением температуры до 38°C в течение 7 дней. Пациент самостоятельно принимал жаропонижающие препараты (парацетамол). В связи с ухудшением состояния обратился к врачу и был госпитализирован в стационар, где был подтвержден COVID-19 и выявлено 40% поражения легких. В процессе стационарного лечения (8 дней) пациент получал антикоагулянты (эноксапарин 1,2 мл весь период стационарного лечения), противовирусный препарат (триазаверин 750 мг в сут. в течение 5 суток), тоцилизумаб (400 мг однократно) и дексаметазон, суммарная доза которого составила 100 мг. После выписки из стационара

в течение месяца пациент получал по 15 мг ривароксабана в сутки.

Через 75 дней после начала заболевания пациент предъявил жалобы на выраженные боли в тазобедренных и коленных суставах, боли в обоих бедрах и пояснице (8 баллов по ВАШ), в связи с чем был вынужден использовать костыли при ходьбе. Пациент обратился к неврологу, был установлен диагноз — межпозвоночная грыжа в поясничном отделе позвоночника. Было рекомендовано консервативное лечение на 4 недели: НПВС, миорелаксанты, внутривенные инфузии с дексаметазоном по 4 мг в комбинации с новокаином 0,5% 50 мл трижды, витаминотерапия, физиотерапевтическое лечение. На фоне проводимой терапии первично было отмечено улучшение состояния (снижение ВАШ до 4 баллов), пациент отказался от использования костылей и перешел на трость. При повторном осмотре невролога была заподозрена патология тазобедренных суставов, которая подтвердилась при выполнении МРТ: двусторонний некроз головок бедренных костей стадии ARCO IIC (рис. 2).

В связи с диагностированным остеонекрозом головок бедренных костей в преколлаптоидной стадии (ARCO IIC) пациенту была назначена медикаментозная терапия (антикоагулянты и бисфосфонаты), предложена операция — декомпрессия очагов некроза, от которой пациент категорически отказался. На дальнейшие контрольные осмотры пациент не явился.



Рис. 2. МРТ-признаки двустороннего некроза головок бедренных костей (стадия ARCO IIC) у пациента 2: а — аксиальная проекция; б — фронтальная проекция

Fig. 2. MRI signs of bilateral femoral head osteonecrosis (ARCO IIC) in patient 2: a — axial view; b — frontal view

Клинические наблюдения 3 и 4

Наблюдения 3 и 4 мы представляем совместно, так как эти пациенты — женщина 32 лет (пациентка 3) и женщина 30 лет (пациентка 4) — являются родными сестрами. Они перенесли COVID-19 в один и тот же период, после чего у обеих был диагностирован двусторонний остеонекроз головок бедренных костей. Немаловажным обстоятельством, на наш взгляд, является общий для сестеротягощенный семейный анамнез. Отец пациенток в возрасте 49 лет перенес инфаркт миокарда, в настоящее время страдает сердечной недостаточностью и гипертонической болезнью III ст. Старшая сестра в возрасте 41 года перенесла острый флеботромбоз нижних конечностей. Мать пациенток с 37 лет страдает гипертонической болезнью.

Обе пациентки практически одновременно перенесли COVID-19 средней тяжести. Пациентка 3 находилась на стационарном лечении в течение 6 дней с 25% поражением легких. Стационарное лечение включало прием противовирусного препарата фавипиравир (2400 мг — 1 сутки, далее

в течение 5 сут. по 1200 мг), антикоагулянты (эноксапарин 0,6 мл в течение 6 дней) и дексаметазон в суммарной дозе 80 мг. После выписки из стационара в течение месяца пациентка получала по 15 мг ривароксабана в сутки.

Пациентка 4 с аналогичным поражением легких находилась на амбулаторном лечении, которое не включало кортикостероиды: фавипиравир 1 сут. — 2400 мг, затем в течение 6 сут. — 1200 мг, а также ривароксабан по 10 мг в течение 30 сут. с момента начала заболевания.

У пациентки 3 через 120 дней после начала заболевания появились боли в тазобедренных суставах, был диагностирован двусторонний остеонекроз головок бедренных костей: слева ARCO IIIС стадии, справа — ARCO IIB (рис. 3).

Спустя 4 недели после установки диагноза «двусторонний остеонекроз» в связи с наличием субхондрального перелома головки левой бедренной кости (ARCO IIIС) пациентке 3 было выполнено тотальное эндопротезирование левого тазобедренного сустава.

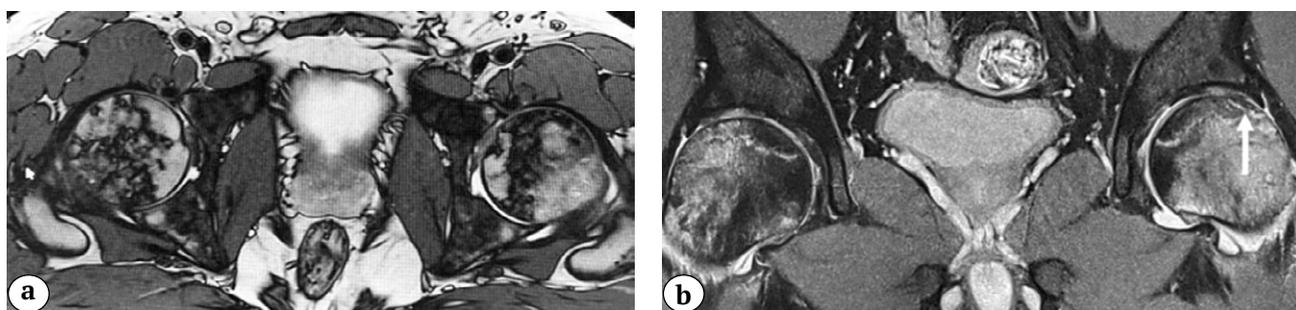


Рис. 3. МРТ-признаки двустороннего некроза головок бедренных костей у пациентки 3: слева — стадия ARCO IIIС у пациентки 3, справа — ARCO IIB; а — аксиальная проекция; б — фронтальная проекция (стрелка демонстрирует симптом «полумесяца», свидетельствующий о субхондральном переломе кости)

Fig. 3. MRI signs of bilateral femoral head osteonecrosis in patient 3: left hip, ARCO IIIС stage; right hip, ARCO IIB stage; a — axial view; b — frontal view (an arrow shows the “crescent sign” that indicates the subchondral bone fracture)

Пациентка 4 спустя 180 дней после заболевания COVID-19 начала отмечать боли в пояснице. Было выполнено МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника и тазобедренных суставов. Выявлен двусторонний остеонекроз головок бедренных костей: справа — стадии ARCO IIB, слева — ARCO IIA (рис. 4).

Пациентка 4 находится под динамическим наблюдением, проводится консервативное лечение (антикоагулянты и бисфосфонаты), планируется проведение декомпрессии очагов некроза. Данные всех описанных наблюдений представлены в таблице 1.



Рис. 4. МРТ-признаки двустороннего некроза головок бедренных костей у пациентки 4: справа — ARCO IIB степени, слева — ARCO IIA степени; а — аксиальная проекция; б — фронтальная проекция
Fig. 4. MRI signs of bilateral femoral head osteonecrosis in patient 4: right hip, ARCO IIB stage; left hip, ARCO IIA stage; a — axial view; b — frontal view

Таблица 1

Сводные данные клинических наблюдений пациентов с остеонекрозом головок бедренных костей после COVID-19

Параметр	Наблюдение			
	1	2	3	4
Возраст, лет	42	32	32	30
Отягощенный семейный анамнез (ИМ, ИБС, тромбоз, ГБ)	–	–	+	+
Течение COVID-19	Тяжелое	Среднее	Среднее	Среднее
Суммарная доза дексаметазона/преднизолона, мг	600/4000	112/746	80/533	–
Срок развития некроза от начала COVID-19, дни	80	75	120	180
Степень тяжести некроза (ARCO) справа/слева	ARCO IIC/ ARCO IIC	ARCO IIC/ ARCO IIC	ARCO IIB/ ARCO IIIC	ARCO IIB/ ARCO IIA

Обсуждение

В современных условиях чрезвычайно актуальными являются исследования, изучающие влияние перенесенного COVID-19 на течение хронических заболеваний человека и развитие заболеваний *de novo*.

За 2021 г. к нам обратились 4 пациента с остеонекрозом головок бедренных костей после перенесенного COVID-19. В связи с этим нами был проведен поиск аналогичных клинических наблюдений в базах данных PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: *COVID, coronavirus, AVN, avascular necrosis, osteonecrosis*. Было найдено две публикации. Первая публикация касалась влияния коронавируса и его лечения на течение развившегося ранее стероид-индуцированного остеонекроза [14]. Убедительных данных о нега-

тивном влиянии коронавируса на прогрессирование остеонекроза авторами получено не было. Вторая публикация относится к типу *case report* и описывает три клинических наблюдения пациентов с остеонекрозом головок бедренных костей, развившимся после перенесенного COVID-19 [15]. В этой работе авторы высказывают предположение о формировании стероид-индуцированного некроза у всех трех пациентов, несмотря на относительно невысокие дозы гормонов, которые они получили во время лечения COVID-19.

Патогенез стероид-индуцированного остеонекроза не до конца изучен, но считается, что механизм его развития включает жировую эмболию, жировую гипертрофию, гиперкоагуляцию, дисфункцию эндотелия и др. [16, 17, 18].

В настоящее время нет четких данных о длительности приема кортикостероидов и их дозировке, которые значительно повышают риск развития остеонекроза. По данным J.P. Jones, W.J. Koortman, минимальной суммарной дозой преднизолона для развития остеонекроза является 2000 мг [19]. Другие исследователи считают, что для развития остеонекроза достаточно меньшей дозы преднизолона — 700 мг [20]. М. McKee с соавторами продемонстрировали, что чувствительность к дозе гормонов у различных пациентов очень вариабильна: стероид-индуцированный некроз головки бедренной кости клинически манифестировал после приема преднизолона в дозах от 290 до 3300 мг [21]. По данным метаанализа, проведенного М.А. Mont с соавторами, доза преднизолона более 10000 мг увеличивает риск образования остеонекроза в два раза у пациентов, перенесших трансплантацию органов [18].

В настоящем исследовании три из четырех пациентов получали дексаметазон при лечении COVID-19 в кумулятивной дозе 600 мг, 112 мг и 80 мг, что соответствует 4000 мг, 746 мг и 533 мг преднизолона. С учетом приведенных выше данных литературы у трех из четырех пациентов с разной долей вероятности можно предположить стероидный генез остеонекроза. Первые клинические признаки остеонекроза у наших пациентов появились через 80, 75, 120 и 180 дней после начала медикаментозного лечения COVID-19, включающего кортикостероиды, за исключением пациентки 4.

Так же, как и в отношении дозы преднизолона, повышающей риск развития остеонекроза, дискутируется вопрос о длительности приема кортикостероидов. J. Anderton, R. Helm приводят клиническое наблюдение, в котором остеонекроз головки плечевой кости развился через 2 года после окончания курса дексаметазона [20]. По данным М. McKee с соавторами, средний срок от проведения курса кортикостероидов до клинической манифестации остеонекроза составляет 16,6 мес. Авторы, впрочем, отмечают значительную вариабильность этого срока — от 6 до 33 мес. [21]. Обзор литературы, посвященный патогенезу остеонекроза, показывает, что, как правило, манифестация остеонекроза наступает в период от 6 до 12 мес. после приема гормонов [22, 23]. Авторы же единственной публикации о постковидном остеонекрозе указывают на средний срок его возникновения в 58 дней (от 45 до 67 дней) [15]. Наши

данные, как и данные S. Agarwala с соавторами, показывают, что сроки развития остеонекроза после COVID-19 существенно короче приводимых в литературе сроков развития остеонекроза после курса гормональной терапии в «доковидную эпоху». Это позволяет предположить, что не только применение кортикостероидов, но и другие факторы, связанные с COVID-19 и его лечением, могут оказывать влияние на ускоренное развитие остеонекроза.

Отдельного обсуждения заслуживают пациентки 3 и 4, которые являются родными сестрами. Пациентка 3 получила небольшую кумулятивную дозу гормонов (см. табл. 1). Пациентка 4 не получала кортикостероидов. Мы предположили иной (нестероидный) генез развития остеонекроза головок бедренных костей, в связи с чем был тщательно изучен их семейный анамнез, который оказался чрезвычайно отягощенным. У самых близких родственников пациенток в возрасте до 50 лет отмечено наличие инфаркта миокарда, тяжелой гипертонической болезни, тромбоза, что позволило заподозрить возможную семейную предрасположенность к «сосудистым катастрофам» в данной семье. Это представляется весьма вероятным, так как в последнее десятилетие установлено, что в генезе остеонекроза определенную роль играют генетически обусловленные тромбофилии, коагулопатии, эндотелиальные дисфункции и пр. [24, 25, 26, 27]. Современный системный подход позволил установить наличие некоторых полиморфизмов генов, общих для сосудистых расстройств различной локализации [28, 29]. В частности, в наших исследованиях ранее была доказана взаимосвязь остеонекроза с полиморфизмом генов факторов V и XIII системы свертываемости крови, гена метилентетрагидрофолатредуктазы, а также генов тромбоцитарных интегринов в патогенезе нетравматического остеонекроза головки бедренной кости [25, 26, 27]. В отношении пациенток 3 и 4 правомочно предположить, что COVID-19 спровоцировал и/или ускорил реализацию генетической предрасположенности к сосудистым расстройствам.

Безусловно, делать выводы относительно генеза остеонекроза после перенесенного COVID-19 на сегодняшний день преждевременно. Вероятно, на развитие заболевания синергично воздействуют многие факторы, в том числе стероидный и ишемический. Накопление информации о подобных пациентах позволит в дальнейшем сформировать обоснованное мнение по данному вопросу.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Панин М.А. — координация участников исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Disclaimers

Authors' contributions

Panin M.A. — study coordination, analysis and statistical processing of data, text editing.

Петросян А.С. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Хаджихараламбус К.Х. — подготовка обзора литературы.

Бойко А.В. — сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Пациенты дали письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию медицинских данных и фотографий.

Литература [References]

- Han Q., Lin Q., Jin S., You L. Coronavirus 2019-nCoV: A brief perspective from the front line. *J Infect.* 2020;80(4):373-377. doi: 10.1016/j.jinf.2020.02.010.
- Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J. et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med.* 2020;382(8):727-733. doi: 10.1056/NEJMoa2001017.
- WHO coronavirus disease (COVID-19) Dashboard. Available from: <https://covid19.who.int/>.
- Mahase E. Covid-19: What do we know about «long covid»? *BMJ.* 2020;370:m2815. doi: 10.1136/bmj.m2815.
- Leung T.Y.M., Chan A.Y.L., Chan E.W., Chan V.K.Y., Chui C.S.L., Cowling B.J. et al. Short- and potential long-term adverse health outcomes of COVID-19: a rapid review. *Emerg Microbes Infect.* 2020;9(1):2190-2199. doi: 10.1080/22221751.2020.1825914.
- Zhou B., Kojima S., Kawamoto A., Fukushima M. COVID-19 pathogenesis, prognostic factors, and treatment strategy: Urgent recommendations. *J Med Virol.* 2021;93(5):2694-2704. doi: 10.1002/jmv.26754.
- Mandal S., Barnett J., Brill S.E., Brown J.S., Denneny E.K., Hare S.S. et al. 'Long-COVID': a cross-sectional study of persisting symptoms, biomarker and imaging abnormalities following hospitalisation for COVID-19. *Thorax.* 2021;76(4):396-398. doi: 10.1136/thoraxjnl-2020-215818.
- Baig A.M. Chronic COVID syndrome: Need for an appropriate medical terminology for long-COVID and COVID long-haulers. *J Med Virol.* 2021;93(5):2555-2556. doi: 10.1002/jmv.26624.
- Авдеев С.Н., Адамян Л.В., Алексеева Е.И., Багненко С.Ф., Баранов А.А., Баранова Н.Н. и др. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 10. 2021. Режим доступа: https://xn--80aesfpebagmfb1c0a.xn--p1ai/ai/doc/872/attach/Bmr_COVID-19_compressed.pdf.

Petrosyan A.S. — research conception and design, data interpretation and analysis, text editing.

Hadjicharalambous K.Kh. — literature review.

Boiko A.V. — collection and processing of material, research conduction, writing the draft.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

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

- Avdeev S.N., Adamyan L.V., Alekseeva E.I., Bagnenko S.F., Baranov A.A., Baranova N.N. et al. [Temporary guidelines. Prevention, diagnosis and treatment of novel coronavirus infection (COVID-19)]. Version 10. 2021. (In Russian). Available from: https://xn--80aesfpebagmfb1c0a.xn--p1ai/ai/doc/872/attach/Bmr_COVID-19_compressed.pdf.
- Ye Z., Wang Y., Colunga-Lozano L.E., Prasad M., Tangamornsuksan W., Rochwerg B. et al. Efficacy and safety of corticosteroids in COVID-19 based on evidence for COVID-19, other coronavirus infections, influenza, community-acquired pneumonia and acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *CMAJ.* 2020;192(27):E756-E767. doi: 10.1503/cmaj.200645.
- Powell C., Chang C., Naguwa S.M., Cheema G., Gershwin M.E. Steroid induced osteonecrosis: An analysis of steroid dosing risk. *Autoimmun Rev.* 2010;9(11):721-743. doi: 10.1016/j.autrev.2010.06.007.
- Панин М.А., Загородний Н.В., Карчевный Н.Н., Садков И.А., Петросян А.С., Закирова А.Р. Современный взгляд на патогенез нетравматического остеонекроза. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2017;(2):69-75.
- Panin M.A., Zagorodniy N.V., Karchebnyi N.N., Sadkov I.A., Petrosyan A.S., Zakirova A.R. [Modern view on pathogenesis of non traumatic osteonecrosis]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2017;(2): 69-75. (In Russian).
- Ji H.L., Zhao R., Matalon S., Matthay M.A. Elevated Plasmin(ogen) as a Common Risk Factor for COVID-19 Susceptibility. *Physiol Rev.* 2020;100(3):1065-1075. doi: 10.1152/physrev.00013.2020.
- Zhang P., Ju J., Han N., Jiang B. Reply to «Can femoral head necrosis induced by steroid therapy in patients infected with coronaviruses be reversed?». *Bone Res.* 2021;9(1):2. doi: 10.1038/s41413-020-00133-x.

15. Agarwala S.R., Vijayvargiya M., Pandey P. Avascular necrosis as a part of 'long COVID-19'. *BMJ Case Rep.* 2021;14(7):e242101. doi: 10.1136/bcr-2021-242101.
16. Chan K.L., Mok C.C. Glucocorticoid-induced avascular bone necrosis: diagnosis and management. *Open Orthop J.* 2012;6:449-457. doi: 10.2174/1874325001206010449.
17. Wang A., Ren M., Wang J. The pathogenesis of steroid-induced osteonecrosis of the femoral head: A systematic review of the literature. *Gene.* 2018;671:103-109. doi: 10.1016/j.gene.2018.05.091.
18. Mont M.A., Pivec R., Banerjee S., Issa K., Elmallah R.K., Jones L.C. High-Dose Corticosteroid Use and Risk of Hip Osteonecrosis: Meta-Analysis and Systematic Literature Review. *J Arthroplasty.* 2015;30(9):1506-1512.e5. doi: 10.1016/j.arth.2015.03.036.
19. Jones J.P., Koopman W.J. Osteonecrosis. In: *Arthritis and allied conditions: a textbook of rheumatology.* 14th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams and Wilkins; 2001. p. 2143-2164.
20. Anderton J.M., Helm R. Multiple joint osteonecrosis following short-term steroid therapy. Case report. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64(1):139-141.
21. McKee M.D., Waddell J.P., Kudo P.A., Schemitsch E.H., Richards R.R. Osteonecrosis of the femoral head in men following short-course corticosteroid therapy: a report of 15 cases. *CMAJ.* 2001;164(2):205-206.
22. Mirzai R., Chang C., Greenspan A., Gershwin M.E. The pathogenesis of osteonecrosis and the relationships to corticosteroids. *J Asthma.* 1999;36(1):77-95. doi: 10.3109/02770909909065152.
23. Assouline-Dayan Y., Chang C., Greenspan A., Shoenfeld Y., Gershwin M.E. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis. *Semin Arthritis Rheum.* 2002;32(2):94-124.
24. Gagala J., Buraczynska M., Mazurkiewicz T., Ksiazek A. Prevalence of genetic risk factors related with thrombophilia and hypofibrinolysis in patients with osteonecrosis of the femoral head in Poland. *MC Musculoskelet Disord.* 2013;14:264. doi: 10.1186/1471-2474-14-264.
25. Панин М.А., Загородний Н.В., Самоходская Л.М., Бойко А.В. Значение полиморфизмов генов тромбоцитарных интегринов (ITGA2, ITGP3) в патогенезе нетравматического асептического некроза головки бедренной кости. *Медицинский вестник Северного Кавказа.* 2020;15(1):84-86. doi: 10.14300/mnnc.2020.15019.
- Панин М.А., Загородний Н.В., Самоходская Л.М., Бойко А.В. [The role of the genetic polymorphism of thrombocyte integrins (ITGA2, ITGP3) in the pathogenesis of non-traumatic aseptic necrosis of the femoral head]. *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza* [Medical news of the North Caucasus]. 2020;15(1):84-86. (In Russian). doi: 10.14300/mnnc.2020.15019.
26. Панин М.А., Загородний Н.В., Самоходская Л.М., Бойко А.В. Значение полиморфизмов гена метилентетрагидрофолатредуктазы (MTHFR) в патогенезе нетравматического асептического некроза головки бедренной кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2020;27(2):19-23. doi: 10.17816/vto202027219-23.
- Панин М.А., Загородний Н.В., Самоходская Л.М., Бойко А.В. [The value of the mthfr polymorphisms in pathogenesis of nontraumatic necrosis of femoral head]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2020;27(2):19-23. (In Russian). doi: 10.17816/vto202027219-23.
27. Панин М.А., Загородний Н.В., Бойко А.В., Самоходская Л.М., Абакиров М.Д., Волков Е.Е. Значение полиморфизмов генов факторов VII и XIII системы свертываемости крови в патогенезе нетравматического асептического некроза головки бедренной кости. *Гений ортопедии.* 2021;27(1):43-47. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-43-47.
- Панин М.А., Загородний Н.В., Бойко А.В., Самоходская Л.М., Абакиров М.Д., Волков Е.Е. The significance of polymorphisms of gene coagulation factors VII and XIII in the pathogenesis of non-traumatic avascular necrosis of the femoral head. *Genij Ortopedii.* 2021;27(1):43-47. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-43-47.
28. Mao X., Han L. The Relationship of Methylenetetrahydrofolate Reductase Gene C677T Polymorphism and Ischemic Stroke in Chinese Han Population. *Ann Clin Lab Sci.* 2018;48(2):242-247.
29. Arina C.A., Amir D., Siregar Y., Sembiring R.J. The Role of Polymorphism Gen Methylene Tetra Hydrofolate Reductase (MTHFR) C677T in Ischaemic Stroke Patients with and Without Hypertension. *Open Access Maced J Med Sci.* 2019;7(1):29-32. doi: 10.3889/oamjms.2019.026.

Сведения об авторах

✉ Бойко Андрей Викторович — аспирант кафедры
Адрес: Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
<https://orcid.org/0000-0002-7829-2045>
e-mail: boiko120393@gmail.com

Панин Михаил Александрович — канд. мед. наук, ¹ доцент кафедры; ² врач травматолог-ортопед
<https://orcid.org/0000-0003-4686-7892>
e-mail: panin-mihail@yandex.ru

Петросян Арменак Серёжаевич — канд. мед. наук, заведующий отделением
<https://orcid.org/0000-0001-8837-0265>
e-mail: armenak.p@gmail.com

Хаджихараламбус Кирилл Харалампович — канд. мед. наук, заведующий отделением
<https://orcid.org/0000-0001-7906-2594>
e-mail: Kyrillos6@yahoo.com

Authors' information

✉ Andrei V. Boiko
Address: 6, Miklukho-Maclay str., Moscow, 117198, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-7829-2045>
e-mail: boiko120393@gmail.com

Mikhail A. Panin — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-4686-7892>
e-mail: panin-mihail@yandex.ru

Armenak S. Petrosyan — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-8837-0265>
e-mail: armenak.p@gmail.com

Kirill Kh. Hadjicharalambous — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-7906-2594>
e-mail: Kyrillos6@yahoo.com



Варианты патологии позвоночника у пациентов с несовершенным остеогенезом: обзор литературы

Е.Н. Щурова, С.О. Рябых, П.В. Очирова, Д.А. Попков, Т.В. Рябых

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

Актуальность. В последнее десятилетие заметно вырос научный и клинический интерес к проблемам несовершенного остеогенеза (НО). Однако анализу различных вариантов патологии позвоночника при НО уделено недостаточно внимания. **Цель** — анализ современной литературы по вопросам различных вариантов патологии позвоночника у пациентов с НО. Несовершенный остеогенез — фенотипически и генетически гетерогенная группа наследственных костных дисплазий. Патология позвоночника при НО представлена сколиозом, кифосколиозом, аномалиями краниовертебрального соединения, нестабильностью сегментов и переломами тел позвонков, спондилолизом и спондилолистезом. Наиболее распространенными формами патологии позвоночника являются сколиоз и кифосколиоз. При тяжелых формах и возрасте старше 6 лет распространенность сколиоза может достигать 89%. Точный механизм формирования сколиоза у пациентов с НО сложен и остается до конца не определенным. Аномалии краниовертебрального перехода регистрируются у 37% пациентов с НО, определяются при всех четырех типах НО. Клинические проявления патологии краниоцервикального перехода могут варьироваться от отсутствия симптомов до сдавления ствола мозга, ограничения циркуляции спинномозговой жидкости, приводящих к гидроцефалии, сирингомиелии и поражению черепных нервов. Патология пояснично-крестцового отдела позвоночника представлена спондилолизом и спондилолистезом, как правило, в сегменте L5–S1, в 5,3–10,9% случаев. Клиническая значимость и естественное течение спондилолиза и спондилолистеза у пациентов с НО в литературе до конца не определены, а информация о хирургических показаниях и методах доступна только в редких отчетах о случаях. Изменения осевого скелета при НО могут привести к существенной функциональной инвалидности, боли и потенциально опасным для жизни осложнениям: корешковому неврологическому дефициту, снижению мощности вентиляции легких, сердечно-респираторным осложнениям. Общая тяжесть НО до сих пор остается лучшим критерием прогноза развития вторичной патологии позвоночника. В силу генерализованности и гетерогенности НО необходимо применять индивидуальный и мультидисциплинарный подход при диагностике и планировании стратегии лечения данной группы пациентов.

Ключевые слова: несовершенный остеогенез, патология позвоночника, сколиоз, аномалии краниовертебрального соединения, патология шейного отдела, патология пояснично-крестцового отдела позвоночника.

Щурова Е.Н., Рябых С.О., Очирова П.В., Попков Д.А., Рябых Т.В. Варианты патологии позвоночника у пациентов с несовершенным остеогенезом: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):118-127. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1635>.

Cite as: Shchurova E.N., Ryabikh S.O., Ochirova P.V., Popkov D.A., Ryabikh T.V. [Spine Pathologies in Osteogenesis Imperfecta: A Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1): 118-127. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1635>.

Щурова Елена Николаевна / Elena N. Shchurova; e-mail: elena.shurova@mail.ru

Рукопись получена: 09.06.2021. Рукопись одобрена: 28.01.2022. Статья опубликована онлайн: 15.02.2022. Submitted: 09.06.2021. Accepted: 28.01.2022. Published Online: 15.02.2022.

Spine Pathologies in Osteogenesis Imperfecta: A Review

Elena N. Shchurova, Sergey O. Ryabykh, Polina V. Ochirova, Dmitriy A. Popkov,
Tatyana V. Ryabykh

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

Background. The scientific and clinical interest in the problems of osteogenesis imperfecta (OI) has grown in the last decade. However, the analysis of various variants of spinal pathologies in OI received insufficient attention. **The study aimed** to analyze the current literature on various variants of the spinal pathology in patients with OI. OI is a phenotypically and genetically heterogeneous group of hereditary bone dysplasias. The spine pathology in OI is represented by scoliosis, kyphoscoliosis, anomalies of the craniovertebral junction, instability of the segments and fractures of the vertebral bodies, spondylolysis, and spondylolisthesis. Scoliosis and kyphoscoliosis are the most common forms of spinal pathology. In severe forms and at age >6 years, the prevalence of scoliosis can reach 89%. The exact mechanism of scoliosis formation in patients with OI is complex and incompletely defined. Anomalies of the craniovertebral junction are recorded in 37% of patients with OI and are determined in all four types of OI. Clinical manifestations of the craniocervical junction pathology can vary from asymptomatic to compression of the brainstem, restriction of cerebrospinal fluid circulation, leading to hydrocephalus, syringomyelia, and cranial nerve damage. The pathology of the lumbosacral spine is represented by spondylolysis and spondylolisthesis generally in the L5–S1 segment in 5.3%–10.9% of cases. The clinical significance and natural course of spondylolysis and spondylolisthesis in patients with OI are not fully defined in the literature, and the information on surgical indications and methods is available only in rare case reports. The changes in the axial skeleton in OI can lead to significant functional disability, pain, and potentially life-threatening complications, such as radicular neurological deficit, decrease in the ventilation capacity of the lungs, and cardiorespiratory complications. The overall severity of OI remains the best criterion for predicting the development of secondary spinal pathology. Given the generalization and heterogeneity of OI, an individual and multidisciplinary approach is necessary when diagnosing and planning the treatment strategy for this group of patients.

Keywords: osteogenesis imperfecta, spinal pathology, scoliosis, anomalies of the craniovertebral junction, pathology of the cervical spine, pathology of the lumbosacral spine.

Введение

Несовершенный остеогенез (НО) — гетерогенное наследственное генерализованное заболевание соединительной ткани, внеклеточного матрикса, коллагена I типа [1, 2, 3], которое локализуется в основном в костях, связках, дентине и склерах [4, 5, 6, 7]. НО представляет собой фенотипически и генетически гетерогенную группу наследственных костных дисплазий [8] и является одной из самых распространенных скелетных дисплазий с частотой встречаемости 1/10 000–1/20 000 случаев [9, 10, 11]. Несмотря на то что НО считается отдельным заболеванием более века, научный и исследовательский интерес к этой патологии заметно вырос за последние десять лет [2].

Сниженная костная масса и хрупкость костей приводят к переломам и деформации длинных костей, компрессии позвонков, деформации ребер и позвоночника, значительному дефициту роста [8, 12, 13, 14].

Патология позвоночника при НО представлена сколиозом, кифосколиозом, аномалиями краниовертебрального соединения (базилярное

вдавление, базилярная инвагинация и платибазия), нестабильностью и переломами шейного отдела, спондилолизом и спондилолистезом [6, 15, 16, 17].

Этиология, патогенез и классификация несовершенного остеогенеза

Несовершенный остеогенез формируется в результате нарушения синтеза коллагена 1-го типа. Коллаген 1-го типа — основной белок межклеточного вещества в костях, коже и связках [8, 10]. Он составляет примерно треть всего белка в организме [1] и представляет собой тройную спираль, состоящую из двух pro- α 1-цепей и одной pro- α 2-цепи, которые синтезируются из генов *COL1A1* и *COL1A2* соответственно. Приблизительно в 85–90% случаев НО обусловлен аутосомно-доминантными мутациями в генах *COL1A1* и *COL1A2* [3, 8, 10]. Эти мутации вызывают количественные и качественные изменения коллагена 1-го типа. Количественные дефекты обусловлены формированием нулевой аллели, при этом структура коллагена не изменяется, а его количество снижается

вдвое — течение заболевания в этом случае легкое [1, 8]. Качественные дефекты вызваны заменой глицина на аминокислоту большего размера, что влечет за собой нарушение процесса формирования тройной спирали и структурные изменения молекулы проколлагена 1-го типа [3].

В течение последних двух десятилетий в результате изучения генома пациентов с НО были установлены новые причины развития заболевания: мутации в генах белков, участвующих в посттрансляционной модификации, присоединении шаперона, фолдинге и сшивании коллагена. Обнаружение новых генов значительно улучшило понимание клеточного и биологического патогенеза развития НО [18]. У пациентов с НО также найдены изменения и в процессе формирования костной ткани, которые связаны не с коллагеном, а с нарушением минерализации кости, дифференцировки и функционирования остеобластов. Были выявлены аутосомно-рецессивные, X-связанные и дополнительные аутосомно-доминантные пути наследования. В 2000 г. была обнаружена первая, не связанная с синтезом коллагена мутация в гене *IFITM5* с аутосомно-доминантным путем наследования [19, 20, 21], для которой характерны образование гиперτροφической костной мозоли и оссификация межкостной мембраны. В 2006 г. R. Morello с соавторами описали первую мутацию с аутосомно-рецессивным путем наследования в гене *CRTAP* [22]. На данный момент известно 20 генов и обнаружено более 1500 мутаций, которые приводят к фенотипическим проявлениям НО [23].

Наиболее широко распространенная фенотипическая классификация НО была предложена D.O. Sillence с соавторами в 1979 г. [24]. Она основана на клинко-рентгенологической картине заболевания и включает I, II, III и IV типы заболевания, для которых характерен аутосомно-доминантный тип наследования. В последующем классификация была дополнена, добавлены V (доминантно наследуемый, характерно образование объемных гипертрофированных не склонных к ремоделированию костных мозолей, оссификация межкостных мембран), VI (вероятно, рецессивно наследуемый), VII (рецессивный тип наследования, мутация гена *CRTAP*), VIII (рецессивно наследуемый, мутация гена *LEPRE1*) типы, включающие пациентов с клинко-рентгенологическими проявлениями НО, но без нарушений синтеза коллагена первого типа [10].

Сколиоз при несовершенном остеогенезе

Тяжесть НО, связанное с ним снижение качества и количества коллагена I типа, степень хрупкости костей, слабость связок, переломы позвонков, многоуровневые деформации позвонков —

все это нарушает механическую целостность всей архитектуры позвоночника и способствует развитию прогрессирующих деформаций в процессе роста [17].

В популяции пациентов с НО частота встречаемости сколиозов и кифосколиозов колеблется в достаточно широких пределах — от 39% до 80% [25, 26].

Большинство авторов акцентируют внимание на роли возраста пациента в распространенности сколиоза при НО. Деформации позвоночника редко возникают в возрасте до 6 лет, но с ростом ребенка вероятность возникновения сколиоза повышается с 26% до 82% [27]. Так, в возрасте пяти лет частота сколиоза составляет 20–25%, в подростковой группе достигает 80–90% [28, 29, 30]. Однако при некоторых типах НО сколиотическая деформация может выявляться сразу после рождения [31]. На частоту развития сколиоза также влияет тяжесть НО (тип НО). По данным A. Sato с соавторами и M.J. Wallace с соавторами, распространенность сколиоза наиболее высока при НО III типа (68–89%), за ним следует НО IV типа (54–61%) и НО I типа (36–39%) по классификации Sillence [30, 32].

Деформация позвоночника, как правило, начинает быстро прогрессировать у детей старше 5–6 лет или после того, как искривление позвоночника превышает 50° [27, 33]. Прогрессирование сколиотической дуги продолжается до тех пор, пока не сформируется илиокостанальный контакт как результат тяжелого кифосколиоза [34].

Величина деформации может нарастать и после завершения пубертатного периода. При этом после 6 лет быстрое прогрессирование сколиоза наблюдалось у пациентов, не получавших бисфосфонаты. У пациентов с НО единичные грудные дуги являются наиболее частым типом проявления сколиотической деформации. Так, при НО I типа они регистрировались в 97% случаев, у пациентов с НО III типа — в 58% [29].

Величина сколиотической дуги при НО может колебаться в достаточно широких пределах — от 7 до 105° [35]. Согласно национальному исследованию НО, выполненному в Германии, деформации позвоночника у 73,7% пациентов были легкими (<40°), у 10,5% имели умеренный характер (<60°), у 9,2% пациентов были тяжелыми (<80°) и у 6,6% — очень тяжелыми (>80°) [28].

M.J. Wallace с соавторами показали, что для НО I типа типично формирование легких деформаций (до 50° по Cobb), для III типа — умеренных (до 100° по Cobb), для IV типа — тяжелых (более 100° по Cobb). Кроме того, по данным этих авторов, деформации грудной клетки и перекосы таза типичны для сколиозов и кифосколиозов с деформацией более 50° по Cobb [32].

В некоторых работах была определена четкая связь потери плотности костной ткани по Z-оценке с формированием более тяжелых деформаций позвоночника [36, 37].

A. Sato с соавторами ретроспективно оценили рентгенограммы позвоночника у пациентов с НО, которые были обусловлены мутациями в *COL1A1* или *COL1A2* (90% пациентов с НО) и затем провели анализ корреляции между сколиозом и генотипом НО. По данным этих авторов, умеренный или тяжелый сколиоз (по данным авторов, угол Cobb $\geq 25^\circ$) редко встречался у лиц с мутациями гаплонедостаточности *COL1A1*, но присутствовал примерно у 40% пациентов с тройными спиральными заменами глицина или мутациями С-пропептида. Оценка распространенности сколиоза в разных возрастных группах показала, что сколиоз от умеренной до тяжелой стадии (угол Cobb $\geq 25^\circ$ или история операции спондилодеза) не наблюдался при НО I типа в возрасте до 5 лет и затронул менее 20% пациентов с НО I типа в возрасте 10 лет и старше. В то же время 16,7% пациентов с НО III типа уже имели сколиоз от умеренной до тяжелой стадии в возрасте до 5 лет, а распространенность сколиоза от умеренного до тяжелого в этой группе увеличилась до 90% после 15 лет. При НО IV типа распространенность сколиоза средней и тяжелой степеней была примерно вдвое меньше, чем при НО III типа в каждой возрастной группе. Сравнение между группами пациентов, выделенными по генотипу, показало, что примерно у трети пациентов с мутациями гаплонедостаточности *COL1A1* был сколиоз, но он редко становился умеренным или тяжелым. Напротив, у 40% пациентов с тройными спиральными заменами глицина или с мутациями С-пропептида присутствовал сколиоз от умеренной до тяжелой степени. Среди пациентов с мутациями сшивания распространенность сколиоза от умеренной до тяжелой степени была промежуточной между группами гаплонедостаточности и когорты других генотипов [30].

Более глубокий анализ генетического ландшафта сколиоза при НО был проведен G. Liu с соавторами. По данным этих авторов, из 19 существующих в настоящее время типов НО в соответствии с генетическими вариантами у 16 типов присутствовала сколиотическая деформация позвоночника [4].

Изменения осевого скелета при НО могут привести к существенной инвалидности пациентов, связанной с болезненным клиническим состоянием, а в тяжелых случаях — даже к признакам корешковых неврологических нарушений [34], снижению жизненной емкости легких, сердечно-респираторным осложнениям, которые являются основной причиной смертности в данной группе пациентов [25].

Патогенез сколиоза при несовершенном остеогенезе

Точный механизм формирования сколиоза при НО сложен и до конца не изучен [4]. В настоящее время выявлено, что на процесс формирования сколиоза в основном влияют тип НО, остеопения, возраст, минеральная плотность костной ткани, содержание минералов в костях, механическое напряжение и слабость связок [37, 38, 39].

По мнению ряда авторов, существуют некоторые пусковые факторы формирования сколиоза, такие как микропереломы позвонков, вызванные травмами пластинок роста позвонков или хрупкостью костей [38, 39, 40]. Хотя другими исследователями эти данные ставятся под сомнение [41, 42]. Дополнительно могут оказывать влияние на развитие деформации позвоночника и другие факторы, такие как неравномерная длина нижних конечностей, наклон таза, аномалии межпозвонковых дисков [36, 42].

Из аномалий тел позвонков были выявлены клиновидные позвонки и варианты платиспондилии [43, 44]. Исследование S. Ishikawa с соавторами показало, что существует четыре типа деформаций тела позвонков при НО: 1) двояковогнутые; 2) уплощенные; 3) клиновидные; 4) неклассифицируемые позвонки. Шесть и более двояковогнутых позвонков рассматриваются как критерий тяжести НО и высокого риска формирования сколиоза [39]. В литературе приводились данные и о варианте дислокации позвонков и тетропарезе у пациентов с НО на фоне кифоза [45]. Некоторые авторы описывают сколиоз и кифосколиоз при НО как вторичные изменения на фоне компрессионных переломов и удлинения межсуставной части позвонков [27].

Остеопения также очень часто регистрируется у пациентов с НО — отмечена положительная корреляция сколиоза с Z-оценкой минеральной плотности кости [37, 46].

Немаловажную роль в формировании сколиотической деформации позвоночника может играть возраст. Согласно ретроспективному исследованию I.M. Ben Amor с соавторами, сколиоз значительно связан с возрастом, тогда как другие клинические характеристики, такие как пол и вес, не оказывают влияния [47]. A.K. Anissipour с соавторами определили линейную зависимость между возрастом и углом деформации позвоночника (по Cobb) у пациентов с III типом НО: в возрасте 5 и 10 лет углы деформации составляли около 30° и 50° соответственно [29]. В некоторых случаях сколиоз и компрессия тела позвонка возникали только во время бурного роста [48]. R.H. Engelbert с соавторами обнаружили, что возраст начала формирования сколиоза был связан с возрастом формирования антигравитационных моторных навыков, таких

как сидение с опорой [36]. Эта взаимосвязь может быть вызвана изменением как функционального статуса в целом, так и механических нагрузок в частности.

Повышенное механическое напряжение в процессе роста пациента может быть одной из важных причин формирования сколиоза. Механические нагрузки в сочетании с остеопенией могут вызывать ремоделирование кости с формированием прогрессирующей деформации. Также было определено, что некоторые случаи НО с тяжелым гиперлордозом были обусловлены удлинением ножки поясничного позвонка и спондилолистезом [49].

Влияние гипермобильности суставов и множественных остеопенических переломов тел позвонков на формирование сколиоза и деформации грудной клетки остается спорным. D. Primorac с соавторами считают, что повышенная расслабленность суставов может привести к сколиозу и порокам развития грудной клетки [46]. Хотя H. Agronen с соавторами определили, что наличие гипермобильности суставов не коррелирует с наличием или риском возникновения сколиоза [50].

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что общая тяжесть заболевания до сих пор остается лучшим критерием прогноза развития вторичной патологии позвоночника.

Факторы риска развития сколиоза у пациентов с несовершенным остеогенезом

В некоторых исследованиях акцентировалось внимание на вопросе о возможных факторах риска развития сколиоза при НО [17, 36, 40, 51]. Было определено, что факторами риска являются тип и тяжесть НО, связанная с этим степень хрупкости костей, позднее развитие двигательных навыков, переломы позвонков, многоуровневость позвонков со структурными изменениями (двояковогнутые позвонки в сагиттальной плоскости), слабость связок и мышц [27, 36, 39]. Порочный круг увеличивающейся деформации и последующих вторичных изменений, замедляющих рост позвонков в изгибе дуги, способствует прогрессирующей деформации позвоночника и позвонков [17]. Множественные компрессионные переломы и потеря высоты позвонков приводят к общему сагиттальному дисбалансу туловища вследствие грудного гиперкифоза и компенсирующего поясничного гиперлордоза [17, 40].

Естественное течение деформаций позвоночника у пациентов с НО остается по-прежнему неопределенным, как и факторы, его определяющие. По мнению одних авторов, возникновение и прогрессирование сколиоза запускается микропереломами позвонков и остаточной деформацией во фронтальной плоскости [15, 51]. Другие исследователи считают, что частота и риск прогрессирова-

ния деформации связаны с тяжестью заболевания и двигательным статусом пациентов, как и у больных с церебральным параличом [17].

Низкая минеральная плотность костной ткани по Z-оценке является фактором развития и прогрессирования сколиоза [36]. По данным M. Kashii с соавторами, более низкие Z-баллы минеральной плотности костной ткани L2–4 позвонков, наличие фронтальных и сагиттальных деформаций позвонков, а также корригирующей остеотомии нижних конечностей в анамнезе были значимыми факторами риска развития сколиоза при НО [51].

S. Ishikawa с соавторами определили, что наличие двояковогнутых позвонков до полового созревания является фактором риска прогрессирования сколиоза. Все пациенты с тяжелым сколиозом (угол по Cobb >50°) имели более 6 двояковогнутых позвонков после переломов позвонков до менархе [39].

Другие авторы высказывают предположение, что слабость связок позвоночника приводит к нестабильности позвоночника и, таким образом, лежит в основе его прогрессирующей деформации [34, 52], а также выражают сомнения в приоритете переломов позвонков в развитии сколиоза [41, 42].

G. Watanabe с соавторами сообщили, что существует значимая положительная корреляция между степенью сколиоза и разницей в длине нижних конечностей [37]. Эти результаты согласуются с выводами M. Kashii с соавторами о том, что частота корригирующей остеотомии при деформации длинных костей после перелома коррелирует с большим несоответствием длины нижних конечностей и наклоном таза вперед, что может являться каузальным фактором развития сколиоза для компенсации наклона таза. Уменьшение количества корригирующих остеотомий нижних конечностей отражает снижение хрупкости костей в результате лечения бисфосфонатами и может быть связано с меньшей распространенностью сколиоза [51]. Однако, по данным A. Sato с соавторами, на распространенность сколиоза в зрелом возрасте не влияет терапия бисфосфонатами в анамнезе, хотя это лечение могло замедлить прогрессирование деформации [30].

T. Palomo с соавторами утверждают, что при бисфосфонатной терапии изменения мягкотканых структур, приводящие к аномальной подвижности межпозвонковых суставов и позвоночных дисков, оказывают сильное влияние на развитие сколиоза и высокую частоту его встречаемости [5].

Таким образом, в настоящее время нет четких и ясных представлений об основных факторах риска формирования сколиоза у пациентов с НО, что, видимо, обусловлено фенотипической и генетической неоднородностью популяции данных пациентов.

Аномалии краниовертебрального перехода (базиллярная импрессия, базиллярная инвагинация, платибазия)

Аномалии краниовертебрального перехода регистрируются у 37% пациентов с НО [53]. Эта группа патологий включает базиллярную инвагинацию, базиллярную импрессию и платибазию, которые определяются у 13%, 15% и 29% пациентов с НО соответственно. Данные аномалии также сопровождаются вторичной гидроцефалией [53, 54]. Кроме того, практически всегда различные варианты базиллярной инвагинации и импрессии сочетаются с платибазией [24, 53, 55].

Базиллярная инвагинация — протрузия краниальных структур верхне-шейного отдела в большое затылочное отверстие с инвагинацией верхушки зубовидного отростка более 5 мм выше линии Чемберлена (от задней назальной ости до заднего края большого затылочного отверстия или более 7 мм выше линии МакГрегора (от задней назальной ости до каудально наиболее выступающей части затылочной кости), часто с инвагинацией большого затылочного отверстия верхушкой зубовидного отростка через линию МакРея [56].

Базиллярное вдавление (импрессия) определяется как относительное краниальное смещение базиллярной части затылочной кости и ее боковых отделов в сторону субтенториального пространства с внедрением в полость черепа краев большого затылочного отверстия, затылочных мышцелков и зубовидного отростка [57]. Базиллярная импрессия придает характерные черты черепу. Его рентгенологические особенности включают выступы височной и затылочной костей, получившие название «череп Дарта Вейдера» [58]. Платибазия определяется как уплощение основания черепа [53, 55].

Аномалии основания черепа и кранио-вертебрального перехода регистрируются при всех четырех типах НО (I, II, III, IV типы по Sillence).

H. Arponen с соавторами провели поперечное исследование 76 пациентов с НО. В 13% случаев они выявили базиллярную инвагинацию. В этом исследовании из 13 пациентов с НО III типа пять (39%) имели базиллярную инвагинацию, и это было больше, чем среди пациентов с I типом (2%) или IV типом (25%) [53]. Раннее лечение бисфосфонатами может задержать развитие базиллярной инвагинации, но неясно, может ли это лечение предотвратить ее развитие [59, 60]. Сообщалось, что Z-оценка высоты ниже -3 является фактором риска базиллярной инвагинации. Также неясно, в какой степени обнаруженная базиллярная инвагинация будет прогрессировать после созревания скелета [53].

Базиллярная инвагинация может нарушать пути тока спинномозговой жидкости, приводя к дилатации желудочков и вторичной гидроцефалии; давлению на мозжечок, вызывающему двусторон-

ное нарушение; сдавлению ствола мозга, провоцирующему дефицит функции нижних черепных нервов; нарушению работы дыхательного центра; сдавлению спинного мозга; внезапной смерти [61, 62]. Повышенная клиническая тяжесть НО является сильным предиктором аномалий основания черепа [60].

Клинические проявления проблем кранио-цервикального перехода могут варьироваться от отсутствия симптомов до сдавления ствола мозга, ограничения циркуляции спинномозговой жидкости, приводящим к гидроцефалии, сирингомиелии и поражению черепных нервов [62]. Рентгенография черепа и шейного отдела позвоночника в боковой проекции рекомендована всем детям с НО до достижения возраста 6 лет.

Нестабильность и переломы в шейном отделе позвоночника

Публикации, описывающие нестабильность шейного отдела при НО, крайне малочисленны. Атлантоаксиальная нестабильность при НО может быть связана с *os odontoideum*, дисморфизмом зубов или слабостью связок. В целом нестабильность C1-C2 определяется как увеличение переднего атлантоаксиального расстояния более 4 мм и/или уменьшение заднего атлантоаксиального промежутка <13 мм [63, 64].

Боль в шее, признаки миелопатии или уменьшение пространства, доступного для спинного мозга (SAC — Space Available for the Spinal Cord), рассматривались как показания для инструментального спондиллодеза и жесткой фиксации C1-C2 [65].

Переломы шейного отдела позвоночника у пациентов с НО встречаются достаточно редко. В литературе сообщалось о переломах зубовидного отростка [66] и переломе Джефферсона [67], субаксиальных компрессионных переломах в периоды роста [68]. Большинство из этих переломов у детей хорошо срастаются при лечении ортезами (индивидуальный жесткий шейный воротник или HALO-корсет), включая возможность ремоделирования во время продолжающегося роста [66, 68].

Патология пояснично-крестцового отдела позвоночника

Спондилолиз и спондилолистез позвонков при НО чаще описаны для сегмента L5-S1. Их встречаемость, которую можно отследить только по данным единичных наблюдений, составляет от 5,3% до 10,9% [69, 70].

D. Hatz с соавторами при изучении рентгенограмм в боковой проекции 110 пациентов с НО обнаружили спондилолиз в 8,2% случаев в среднем возрасте 7,5 лет, а спондилолистез — у 12 пациентов (10,9%) в среднем возрасте 6,4 года. У 9 детей был истмический спондилолистез, у 3 — диспла-

стический [70]. По их данным, ни один конкретный тип НО не имел более высокую частоту спондилолистеза, чем другие типы, хотя у 7 из 9 пациентов со спондилолизом был НО III типа [70].

К. Abelin с соавторами при сравнительном анализе сагиттального профиля у пациентов с НО и здоровой когорты не обнаружили значимых нарушений позвоночно-тазового баланса [40]. Однако С.О. Рябых с соавторами, анализируя единичные наблюдения, выявили отклонение таких параметров позвоночно-тазового баланса, как увеличение РТ (наклона таза), PI (тазового индекса) и отрицательной SVA (вертикальной сагиттальной оси). Эти факторы приводят к вертикализации сегмента L5–S1 и индуцируют механизм соскальзывания в условиях гипермобильности (нестабильности) связочного аппарата [71]. По мнению S.A. Shah и M.J. Wallace, у многих пациентов с НО отсутствуют нормальные параметры таза и наблюдается увеличенный поясничный лордоз [6]. Необходимо учитывать наличие сгибательных контрактур бедра и протрузии вертлужной впадины [6, 72, 73].

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Шуорова Е.Н. — сбор, анализ, интерпретация данных, написание текста статьи.

Рябых С.О. — концепция, дизайн исследования, написание текста статьи, ее редактирование.

Очирова П.В. — редактирование рукописи.

Попков Д.А. — редактирование рукописи.

Рябых Т.В. — редактирование рукописи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Не требуется.

Литература [References]

1. Rauch F., Glorieux F.H. Osteogenesis imperfecta. *Lancet*. 2004;363(9418):1377-1385. doi: 10.1016/S0140-6736(04)16051-0.
2. Trejo P., Rauch F. Osteogenesis imperfecta in children and adolescents—new developments in diagnosis and treatment. *Osteoporos Int*. 2016;27(12):3427-3437. doi: 10.1007/s00198-016-3723-5.
3. Forlino A., Marini J.C. Osteogenesis imperfecta. *Lancet*. 2016;387(10028):1657-1671. doi: 10.1016/S0140-6736(15)00728-X.

Клиническая значимость и естественное течение спондилолиза и спондилолистеза у пациентов с НО в научной литературе до конца не определены, а информация о показаниях к хирургическому лечению и его методах содержится только в описаниях клинических случаев.

Заключение

Несовершенный остеогенез представляет собой фенотипически и генетически гетерогенную группу наследственных костных дисплазий. Изменения осевого скелета при НО могут привести к существенной функциональной инвалидности пациентов. Патология позвоночника при НО представлена сколиозом, кифосколиозом, аномалиями краниовертебрального соединения, нестабильностью сегментов и переломами тел позвонков, спондилолизом и спондилолистезом. Наибольшую степень распространенности имеет сколиотическая деформация позвоночника. Тяжесть клинических проявлений НО до сих пор остается лучшим критерием прогноза развития вторичной патологии позвоночника.

Disclaimers

Authors' contributions

Shchurova E.N. — collection and processing of material, writing the draft, editing.

Ryabykh S.O. — research concept and design, final manuscript editing.

Ochirova P.V. — text editing.

Popkov D.A. — text editing.

Ryabykh T.V. — text editing.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

4. Liu G., Chen J., Zhou Y., Zuo Y., Liu S., Chen W. et al. The genetic implication of scoliosis in osteogenesis imperfecta: a review. *J Spine Surg*. 2017;3(4):666-678. doi: 10.21037/jss.2017.10.01.
5. Palomo T., Vilac T., Lazaretti-Castroa M. Osteogenesis imperfecta: diagnosis and treatment. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2017;24(6):381-388. doi: 10.1097/MED.0000000000000367.

6. Shah S.A., Wallace J.M. Osteogenesis imperfecta in the spine. In: R.W. Kruse (ed.), *Osteogenesis Imperfecta*. Springer Nature Switzerland AG; 2020. p. 221-230. doi: 10.1007/978-3-030-42527-2_13.
7. Khan S.I., Yonko E.A., Carter E.M., Raggio C.L. Cardiopulmonary Status in Adults with Osteogenesis Imperfecta: Intrinsic Lung Disease May Contribute More Than Scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(12):2833-2843. doi: 10.1097/CORR.0000000000001400.
8. Marini J.C., Forlino A., Bachinger H.P., Bishop N.J., Byers P.H., Paepe A. et al. Osteogenesis imperfecta. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17052. doi: 10.1038/nrdp.2017.52.
9. Andersen P.E. Jr., Hauge M. Osteogenesis imperfecta: a genetic, radiological, and epidemiological study. *Clin Genet*. 1989;36(4):250-255. doi: 10.1111/j.1399-0004.1989.tb03198.x.
10. Van Dijk F.S., Pals G., Van Rijn R.R., Nikkels P.G., Cobben J.M. Classification of Osteogenesis Imperfecta revisited. *Eur J Med Genet*. 2010;53(1):1-5. doi: 10.1016/j.ejmg.2009.10.007.
11. Lindahl K., Åström E., Rubin C.J., Grigelioniene G., Malmgren B., Ljunggren Ö. et al. Genetic epidemiology, prevalence, and genotype-phenotype correlations in the Swedish population with osteogenesis imperfecta. *Eur J Hum Genet*. 2015;23(8):1042-1050. doi: 10.1038/ejhg.2015.81.
12. de Lima M.V., de Lima F.V., Akkari M., Resende V.R., Santili C. Roentgenographic Evaluation of the Spine in Patients With Osteogenesis Imperfecta. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(47):e1841. doi: 10.1097/MD.0000000000001841.
13. Barber L.A., Abbott C., Nakhate V., Do A.N.D., Blissett A.R., Marini J.C. Longitudinal growth curves for children with classical osteogenesis imperfecta (types III and IV) caused by structural pathogenic variants in type I collagen. *Genet Med*. 2019;21(5):1233-1239. doi: 10.1038/s41436-018-0307-y.
14. Gehlen M., Schwarz-Eywill M., Hinz C., Pfeifer M., Siebers-Renelt U., Ratanski M. et al. [Rehabilitation of orphan diseases in adulthood: osteogenesis imperfecta]. *Z Rheumatol*. 2021;80(1):29-42. (In German). doi: 10.1007/s00393-020-00927-8.
15. Engelbert R.H., Gerver W.J., Breslau-Siderius L.J., van der Graaf Y., Pruijs H.E., van Doorne J.M. et al. Spinal complications in osteogenesis imperfecta: 47 patients 1-16 years of age. *Acta Orthop Scand*. 1998;69(3):283-286. doi: 10.3109/17453679809000931.
16. Arponen H., Mäkitie O., Waltimo-Sirén J. Association between joint hypermobility, scoliosis, and cranial base anomalies in paediatric Osteogenesis imperfecta patients: a retrospective cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014;15:428. doi: 10.1186/1471-2474-15-428.
17. Castelein R.M., Hasler C., Helenius I., Ovadia D., Yazici M. Complex spine deformities in young patients with severe osteogenesis imperfecta: current concepts review. *J Child Orthop*. 2019;13(1):22-32. doi: 10.1302/1863-2548.13.180185.
18. Bacon S., Crowley R. Developments in rare bone diseases and mineral disorders. *Ther Adv Chronic Dis*. 2018;9(1):51-60. doi: 10.1177/2040622317739538.
19. Van Dijk F.S., Sillence D.O. Osteogenesis imperfecta: clinical diagnosis, nomenclature and severity assessment. *Am J Med Genet A*. 2014;164A(6):1470-1481. doi: 10.1002/ajmg.a.36545.
20. Rauch F., Moffatt P., Cheung M., Roughley P., Lalic L., Lund A.M. et al. Osteogenesis imperfecta type V: marked phenotypic variability despite the presence of the IFITM5 c.-14C>T mutation in all patients. *J Med Genet*. 2013;50(1):21-24. doi: 10.1136/jmedgenet-2012-101307.
21. Semler O., Garbes L., Keupp K., Swan D., Zimmermann K., Becker J. et al. A mutation in the 5'-UTR of IFITM5 creates an in-frame start codon and causes autosomal-dominant osteogenesis imperfecta type V with hyperplastic callus. *Am J Hum Genet*. 2012;91(2):349-357. doi: 10.1016/j.ajhg.2012.06.011.
22. Morello R., Bertin T.K., Chen Y., Hicks J., Tonachini L., Monticone M. et al. CRTAP is required for prolyl 3-hydroxylation and mutations cause recessive osteogenesis imperfecta. *Cell*. 2006;127(2):291-304. doi: 10.1016/j.cell.2006.08.039.
23. Lim J., Grafe I., Alexander S., Lee B. Genetic causes and mechanisms of Osteogenesis Imperfecta. *Bone*. 2017;102:40-49. doi: 10.1016/j.bone.2017.02.004.
24. Sillence D.O., Rimoin D.L., Danks D.M. Clinical variability in osteogenesis imperfecta-variable expressivity or genetic heterogeneity. *Birth Defects Orig Artic Ser*. 1979;15(5B):113-129.
25. Widmann R.F., Bitan F.D., Laplaza F.J., Burke S.W., DiMaio M.F., Schneider R. Spinal deformity, pulmonary compromise, and quality of life in osteogenesis imperfecta. *Spine*. 1999;24(16):1673-1678. doi: 10.1097/00007632-199908150-00008.
26. O'Donnell C., Bloch N., Michael N., Erickson M., Garg S. Management of scoliosis in children with osteogenesis imperfecta. *JBJS Rev*. 2017;5:e8. doi: 10.2106/JBJS.RVW.16.00063.
27. Benson D.R., Donaldson D.H., Millar E.A. The spine in osteogenesis imperfecta. *J Bone Joint Surg Am*. 1978;60(7):925-929.
28. Karbowski A., Schwitalle M., Eckardt A. [Scoliosis in patients with osteogenesis imperfecta: a federal nation-wide cross-sectional study]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1999;137(3):219-222. (In German). doi: 10.1055/s-2008-1037397.
29. Anissipour A.K., Hammerberg K.W., Caudill A., Kostiuk T., Tarima S., Zhao H.S. et al. Behavior of scoliosis during growth in children with osteogenesis imperfecta. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(3):237-43. doi: 10.2106/JBJS.L.01596.
30. Sato A., Ouellet J., Muneta T., Glorieux F.H., Rauch F. Scoliosis in osteogenesis imperfecta caused by COL1A1/COL1A2 mutations - genotype-phenotype correlations and effect of bisphosphonate treatment. *Bone*. 2016;86:53-57. doi: 10.1016/j.bone.2016.02.018.
31. Pyott S.M., Tran T.T., Leistriz D.F., Pepin M.G., Mendelsohn N.J., Temme R.T. et al. WNT1 mutations in families affected by moderately severe and progressive recessive osteogenesis imperfecta. *Am J Hum Genet*. 2013;92(4):590-597. doi: 10.1016/j.ajhg.2013.02.009.
32. Wallace M.J., Kruse R.W., Shah S.A. The Spine in Patients With Osteogenesis Imperfecta. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(2):100-109. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00169.
33. Norimatsu H., Mayuzumi T., Takahashi H. The development of the spinal deformities in osteogenesis imperfecta. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;(162):20-25.
34. Hanscom D.A., Winter R.B., Lutter L., Lonstein J.E., Bloom B.A., Bradford D.S. Osteogenesis imperfecta. Radiographic classification, natural history, and treatment of spinal deformities. *J Bone Joint Surg Am*. 1992;74(4):598-616.

35. Cristofaro R.L., Hoek K.J., Bonnett C.A., Brown J.C. Operative treatment of spine deformity in osteogenesis imperfecta. *Clin Orthop Relat Res.* 1979;(139):40-48.
36. Engelbert R.H., Uiterwaal C.S., van der Hulst A., Witjes B., Helders P.J., Puijts H.E. Scoliosis in children with osteogenesis imperfecta: influence of severity of disease and age of reaching motor milestones. *Eur Spine J.* 2003;12(2):130-134. doi: 10.1007/s00586-002-0491-x.
37. Watanabe G., Kawaguchi S., Matsuyama T., Yamashita T. Correlation of scoliotic curvature with Z-score bone mineral density and body mass index in patients with osteogenesis imperfecta. *Spine.* 2007;32(17):E488-494. doi: 10.1097/BRS.0b013e31811ec2d9.
38. Yong-Hing K., MacEwen G.D. Scoliosis associated with osteogenesis imperfecta. *J Bone Joint Surg Br.* 1982;64(1):36-43. doi: 10.1302/0301-620X.64B1.7068718.
39. Ishikawa S., Kumar S.J., Takahashi H.E., Homma M. Vertebral body shape as a predictor of spinal deformity in osteogenesis imperfecta. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(2):212-219. doi: 10.2106/00004623-199602000-00007.
40. Abelin K., Vialle R., Lenoir T., Thévenin-Lemoine C., Damsin J.P., Forin V. The sagittal balance of the spine in children and adolescents with osteogenesis imperfecta. *Eur Spine J.* 2008;17(12):1697-1704. doi: 10.1007/s00586-008-0793-8.
41. Shapiro J.R., Stover M.L., Burn V.E., McKinstry M.B., Bursell A.L., Chipman S.D. et al. An osteopenic nonfracture syndrome with features of mild osteogenesis imperfecta associated with the substitution of a cysteine for glycine at triple helix position 43 in the pro alpha 1(I) chain of type I collagen. *J Clin Invest.* 1992;89(2):567-573. doi: 10.1172/JCI115622.
42. Cho S.Y., Asharani P.V., Kim O.H., Iida A., Miyake N., Matsumoto N. et al. Identification and in vivo functional characterization of novel compound heterozygous BMP1 variants in osteogenesis imperfecta. *Hum Mutat.* 2015;36(2):191-195. doi: 10.1002/humu.22731.
43. McPherson E., Clemens M. Bruck syndrome (osteogenesis imperfecta with congenital joint contractures): review and report on the first North American case. *Am J Med Genet.* 1997;70(1):28-31.
44. Land C., Rauch F., Munns C.F., Sahebjam S., Glorieux F.H. Vertebral morphometry in children and adolescents with osteogenesis imperfecta: effect of intravenous pamidronate treatment. *Bone.* 2006;39(4):901-906. doi: 10.1016/j.bone.2006.04.004.
45. Daivajna S., Jones A., Hossein M.S. Surgical management of severe cervical kyphosis with myelopathy in osteogenesis imperfecta: a case report. *Spine.* 2005;30(7):E191-194. doi: 10.1097/01.brs.0000157471.44284.a2.
46. Primorac D., Rowe D.W., Mottes M., Barišić I., Anticević D., Mirandola S. et al. Osteogenesis imperfecta at the beginning of bone and joint decade. *Croat Med J.* 2001;42(4):393-415.
47. Ben Amor I.M., Roughley P., Glorieux F.H., Rauch F. Skeletal clinical characteristics of osteogenesis imperfecta caused by haploinsufficiency mutations in COL1A1. *J Bone Miner Res.* 2013;28(9):2001-2007. doi: 10.1002/jbmr.1942.
48. Widhe T.L. A probable new type of osteopenic bone disease. *Pediatr Radiol.* 2002;32(6):447-451. doi: 10.1007/s00247-001-0640-0.
49. Ivo R., Fuerderer S., Eysel P. Spondylolisthesis caused by extreme pedicle elongation in osteogenesis imperfecta. *Eur Spine J.* 2007;16(10):1636-1640. doi: 10.1007/s00586-006-0293-7.
50. Arponen H., Mäkitie O., Waltimo-Sirén J. Association between joint hypermobility, scoliosis, and cranial base anomalies in pediatric osteogenesis imperfecta patients: a retrospective cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2014;15:428. doi: 10.1186/1471-2474-15-428.
51. Kashii M., Kanayama S., Kitaoka T., Makino T., Kaito T., Iwasaki M. et al. Development of scoliosis in young children with osteogenesis imperfecta undergoing intravenous bisphosphonate therapy. *J Bone Miner Metab.* 2019;37(3):545-553. doi: 10.1007/s00774-018-0952-x.
52. Benson D.R., Newman D.C. The spine and surgical treatment in osteogenesis imperfecta. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;(159):147-153.
53. Arponen H., Mäkitie O., Haukka J., Ranta H., Ekholm M., Mäyränpää M.K. et al. Prevalence and natural course of craniocervical junction anomalies during growth in patients with osteogenesis imperfecta. *J Bone Miner Res.* 2012;27(5):1142-1149. doi:10.1002/jbmr.1555.
54. Oppenheim W.L. The spine in osteogenesis imperfecta: a review of treatment. *Connect Tissue Res.* 1995;31(4):S59-63. doi: 10.3109/03008209509116836.
55. Sillence D.O. Craniocervical abnormalities in osteogenesis imperfecta: genetic and molecular correlation. *Pediatr Radiol.* 1994;24(6):427-430. doi: 10.1007/BF02011910.
56. McRAE D.L. Bony abnormalities in the region of the foramen magnum: correlation of the anatomic and neurologic findings. *Acta radiol.* 1953;40(2-3):335-354. doi: 10.3109/00016925309176595.
57. Kovero O., Pynnönen S., Kuurila-Svahn K., Kaitila I., Waltimo-Sirén J. Skull base abnormalities in osteogenesis imperfecta: a cephalometric evaluation of 54 patients and 108 control volunteers. *J Neurosurg.* 2006;105(3):361-370. doi: 10.3171/jns.2006.105.3.361.
58. Lubicky J.P. The spine in osteogenesis imperfecta. In: Weinstein S.L., ed. *The pediatric spine: principles and practice.* 1st ed. New York: Raven Press; 1994. p. 943-958.
59. Arponen H., Vuorimies O., Haukka J., Valta H., Waltimo-Sirén J., Mäkitie O. Cranial base pathology in pediatric osteogenesis imperfecta patients treated with bisphosphonates. *J Neurosurg Pediatr.* 2015;15(3):313-320. doi: 10.3171/2014.11.PEDS14113.
60. Cheung M.S., Arponen H., Roughley P., Azouz M.E., Glorieux F.H., Waltimo-Sirén J. et al. Cranial base abnormalities in osteogenesis imperfecta: phenotypic and genotypic determinants. *J Bone Miner Res.* 2011;26(2):405-413. doi: 10.1002/jbmr.220.
61. Pozo J.L., Crockard H.A., Ransford A.O. Basilar impression in osteogenesis imperfecta. A report of three cases in one family. *J Bone Joint Surg Br.* 1984;66(2):233-238. doi: 10.1302/0301-620X.66B2.6707059.
62. Khandanpour N., Connolly D.J., Raghavan A., Griffiths P.D., Hoggard N. Craniocervical abnormalities and neurologic complications of osteogenesis imperfecta: imaging overview. *Radiographics.* 2012;32(7):2101-2112. doi: 10.1148/rg.327125716.
63. Locke G.R., Gardner J.I., Van Epps E.F. Atlas-dens interval (ADI) in children: a survey based on 200 normal cervical spines. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med.* 1966;97(1):135-140. doi: 10.2214/ajr.97.1.135.
64. Spierings E.L., Braakman R. The management of os odontoideum. Analysis of 37 cases. *J Bone Joint Surg Br.* 1982;64(4):422-428. doi: 10.1302/0301-620X.64B4.7096415.

65. Helenius I., Crawford H., Sponseller P.D., Odent T., Bernstein R.M., Stans A.A. et al. Rigid fixation improves outcomes of spinal fusion for C1-C2 instability in children with skeletal dysplasias. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(3):232-240. doi: 10.2106/JBJS.N.00503.
66. Colo D., Schlösser T.P., Oostenbroek H.J., Castelein R.M. Complete Remodeling After Conservative Treatment of a Severely Angulated Odontoid Fracture in a Patient With Osteogenesis Imperfecta: A Case Report. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(18):E1031-1034. doi: 10.1097/BRS.0000000000000999.
67. Rush G.A., Burke S.W. Hangman's fracture in a patient with osteogenesis imperfecta. Case report. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(5):778-779.
68. Mesfin A., Nesterenko S.O., Al-Hourani K.G., Jain A., Sponseller P.D. Management of hangman's fractures and a subaxial compression fracture in two children with osteogenesis imperfecta. *J Surg Orthop Adv.* 2013;22(4):326-329. doi: 10.3113/jsoa.2013.0326.
69. Verra W.C., Pruijs H.J., Beek E.J., Castelein R.M. Prevalence of vertebral pars defects (spondylolysis) in a population with osteogenesis imperfecta. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(13):1399-1401. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a39646.
70. Hatz D., Esposito P.W., Schroeder B., Burke B., Lutz R., Hasley B.P. The incidence of spondylolysis and spondylolisthesis in children with osteogenesis imperfecta. *J Pediatr Orthop.* 2011;31(6):655-660. doi: 10.1097/BPO.0b013e31822889c9.
71. Рябых С.О., Савин Д.М., Филатов Е.Ю., Котельников А.О., Сайфутдинов М.С. Результаты хирургического лечения спондилолистеза тяжелой степени (анализ моноцентральной когорты и обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(3):100-111. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-100-111.
- Ryabykh S.O., Savin D.M., Filatov E.Yu., Kotelnikov A.O., Saifutdinov M.S. [Outcomes of Surgical Treatment of High-Grade Spondylolisthesis (Monocenter Cohort and Literature Review)]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(3):100-111. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-100-111.
72. Мингазов Э.Р., Чибиров Г.М., Попков Д.А. Ортопедические осложнения и ятрогении при коррекции деформаций нижних конечностей у пациентов, страдающих тяжелыми формами несовершенного остеогенеза. *Гений ортопедии.* 2018;24(2):168-176. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-168-176. Mingazov E.R., Chibirov G.M., Popkov D.A. [Orthopaedic complications and iatrogenies during deformity correction of lower limbs in patients with severe osteogenesis imperfect]. *Genij Ortopedii.* 2018;24(2):168-176. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-168-176.
73. Скрябин Е.Г., Комарова И.В., Буксеев А.Н., Кукарская И.И., Аксельров М.А., Храмова Е.Б. и др. Внутритрубные переломы костей скелета у плодов с несовершенным остеогенезом: обзор литературы и собственное клиническое наблюдение. *Гений ортопедии.* 2018;24(4):521-529. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-521-529. Skryabin E.G., Komarova I.V., Bukseev A.N., Kukarskaya I.I., Akselrov M.A., Khramova E.B. et al. [Intrauterine bone fractures in fetuses with osteogenesis imperfecta: a literature review and a case report]. *Genij Ortopedii.* 2018;24(4):521-529. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-521-529.

Сведения об авторах

✉ Щурова Елена Николаевна — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник
Адрес: Россия, 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6
<https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>
e-mail: elena.shurova@mail.ru

Рябых Сергей Олегович — д-р мед. наук, заведующий научной лабораторией
<https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>
e-mail: rso@mail.ru

Очирова Полина Вячеславовна — канд. мед. наук, врач-вертебролог
<https://orcid.org/0000-0001-5172-4429>
e-mail: poleen@yandex.ru

Попков Дмитрий Арнольдович — д-р мед. наук, профессор РАН, член-кор. Французской академии наук, руководитель клиники
<https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>
e-mail: dpopkov@mail.ru

Рябых Татьяна Викторовна — педиатр
<https://orcid.org/0000-0002-9315-3035>
e-mail: rtatav@rambler.ru

Authors' information

✉ Elena N. Shchurova — Dr. Sci. (Biol.)
Address: 6, M. Ulyanova str., Kurgan, 640014, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-0816-1004>
e-mail: elena.shurova@mail.ru

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

Polina V. Ochirova — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0001-5172-4429>
e-mail: poleen@yandex.ru

Dmitry A. Popkov — Dr. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>
e-mail: dpopkov@mail.ru

Tatyana V. Ryabykh
<https://orcid.org/0000-0002-9315-3035>
e-mail: rtatav@rambler.ru



Остеонекроз у пациентов, перенесших COVID-19: механизмы развития, диагностика, лечение на ранних стадиях (обзор литературы)

А.Н. Торгашин, С.С. Родионова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздрава России, г. Москва, Россия

Актуальность. Асептический некроз костей (остеонекроз) как следствие перенесенного COVID-19 в условиях продолжающейся пандемии все чаще становится причиной выраженного болевого синдрома в области крупных суставов с нарушением их функции. Продолжается обсуждение патогенеза постковидного остеонекроза, возможности его выявления и лечения на ранних стадиях. Учитывая масштаб распространенности инфекции COVID-19 среди лиц молодого и трудоспособного возраста, выявление и лечение этой формы асептического некроза на ранних стадиях имеет важное социальное и экономическое значение. **Материал и методы.** Поиск литературы проведен в базах данных eLIBRARY, PubMed, Scopus. Глубина поиска — 10 лет. Отобраны публикации, касающиеся ранней диагностики и лечения асептического некроза после перенесенного COVID-19. **Результаты.** Форму остеонекроза, развившегося после перенесенного COVID-19, в настоящее время следует классифицировать по МКБ-10 как M87.3 – другой вторичный остеонекроз. В обзоре приводятся данные о возможных механизмах развития остеонекроза у пациентов, перенесших COVID-19, обосновывается необходимость выполнения МРТ для раннего выявления патологии, приводятся результаты лечения, способного оказывать влияние на оба механизма патогенеза и привести к обратному развитию процесса при условии начала лечения на ранней стадии заболевания. **Заключение.** Повышение осведомленности врачей о патогенезе, методах диагностики и лечения ранних стадий позволит снизить риск развития запущенной стадии асептического некроза после перенесенного COVID-19, замедлит прогрессирование патологического процесса, отсрочит или даже предотвратит необходимость эндопротезирования суставов. Наша озабоченность основывается на продолжении пандемии и резко возросшей частоте асептического некроза после COVID-19, с одной стороны, и операций эндопротезирования у лиц молодого и среднего возраста по поводу асептического некроза головки бедренной кости, с другой стороны.

Ключевые слова: асептический некроз суставов после COVID-19, остеонекроз, COVID-19, глюкокортикоиды.

Торгашин А.Н., Родионова С.С. Остеонекроз у пациентов, перенесших COVID-19: механизмы развития, диагностика, лечение на ранних стадиях (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):128-137. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1707>.

Cite as: Torgashin A.N., Rodionova S.S. [Osteonecrosis in Patients Recovering from COVID-19: Mechanisms, Diagnosis, and Treatment at Early-Stage Disease (Review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):128-137. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1707>.

Торгашин Александр Николаевич / Alexander N. Torgashin; e-mail: alexander.torgashin@gmail.com

Рукопись получена: 23.11.2021. Рукопись одобрена: 15.02.2022. Статья опубликована онлайн: 22.02.2022.
Submitted: 23.11.2021. Accepted: 15.02.2022. Published Online: 22.02.2022.



Osteonecrosis in Patients Recovering from COVID-19: Mechanisms, Diagnosis, and Treatment at Early-Stage Disease (Review)

Alexander N. Torgashin, Svetlana S. Rodionova

National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, Moscow, Russia

Background. Aseptic bone necrosis (osteonecrosis), as a consequence of the ongoing coronavirus disease-2019 (COVID-19) pandemic, is increasingly becoming the cause of severe pain syndrome in the hip, knee, and shoulder joints with disruption of their function. The discussion of the pathogenesis of post-COVID-19 osteonecrosis, possibility of its diagnosis, and treatment at early stages continue. As COVID-19 affects young and able-bodied people, the diagnosis and treatment of this form of aseptic necrosis at early stages have great social and economic importance. **Material and Methods.** The literature search was conducted in the databases of eLIBRARY, PubMed, and Scopus. The search depth was 10 years. Selected publications were related to the early diagnosis and treatment of aseptic necrosis following COVID-19. **Results.** The form of osteonecrosis that developed after COVID-19 should now be classified according to ICD-10 as M87.3 (another secondary osteonecrosis). The review provides data on the possible mechanisms of osteonecrosis development in patients who had COVID-19, explains the role of MRI for the early detection of the pathology, provides the results of treatment that can influence both pathogenesis mechanisms, and leads to disease regression if treatment was initiated at an early stage. **Conclusion.** Improving the doctors' awareness about the pathogenesis, diagnostic methods, and treatment of early disease stages will reduce the risk of developing an advanced stage of aseptic necrosis post-COVID-19, slow down the progression of the pathology, and delay or even prevent the need for joint replacement. Our concern is based on the continuation of the pandemic, the observed fact of the dramatic increase in the frequency of aseptic necrosis post-COVID-19, and the number of total arthroplasties in young and middle-aged people for aseptic necrosis of the femoral head.

Keywords: aseptic necrosis after COVID-19, osteonecrosis, COVID-19, glucocorticoids.

Введение

Новый коронавирус SARS-CoV-2 и вызываемая им инфекция, названная ВОЗ COVID-19, стали причиной нынешней пандемии, которая уже унесла жизни более 5 млн человек [1]. У части пациентов, особенно с обширным поражением легких и дыхательной недостаточностью, отмечают развитие синдрома «длительного COVID-19» (long COVID-19) [2], продолжающегося в течение более 12 недель после прекращения лечения и перевода пациента в статус «выздоровел» [3]. Симптомы длительного COVID-19 — это не только усталость, одышка, беспокойство и депрессия, учащенное сердцебиение, боли в груди, неспособность мыслить или сосредоточиться, состояние, обозначаемое сегодня как «мозговой туман», но и более редкий синдром Гийена – Барре, фиброз легких, легочная тромбоэмболия, кардиомиопатия, сенсорная дисфункция и инсульт [2], а также мышечные и суставные боли, которые могут быть проявлением асептического некроза костей [3, 4].

По разным источникам, остеонекроз наблюдается у 5–58% пациентов с тяжелой формой COVID-19 [5, 6]. В большинстве случаев поражается головка бедренной кости. По данным L. Нуй

с соавторами, у 39% пациентов с SARS-CoV-2 остеонекроз головки бедренной кости развивался в течение нескольких месяцев после атипичной пневмонии [7]. Очаги остеонекроза были отмечены также в мышечках бедренной и большеберцовой костей, головке плечевой кости, таранной и пяточной костях и других областях скелета [5].

Что касается патогенеза развития асептического некроза после перенесенной инфекции COVID-19, то в настоящее время обсуждаются два вероятных механизма: повреждение вирусом сосудов костной ткани и негативное влияние на костную ткань глюкокортикоидов, используемых при лечении инфекции.

Продолжаются поиски методов диагностики асептического некроза после перенесенной новой коронавирусной инфекции на ранних стадиях и факторов риска его развития. В представленных публикациях обсуждается возможность консервативной терапии в предотвращении прогрессирования процесса при условии начала лечения на ранних стадиях асептического некроза. Длительность пандемии подчеркивает актуальность представленных данных для врачей различных специальностей, которые наблюдают пациентов, перенесших COVID-19.

Цель обзора — обобщение данных литературы о механизмах развития асептического некроза после перенесенной инфекции COVID-19, методах диагностики и лечения на ранних стадиях заболевания.

Материал и методы

В базах данных PubMed, Scopus и электронной научной библиотеке eLIBRARY проведен поиск статей с использованием ключевых слов: COVID-19, остеонекроз, асептический некроз костей. Глубина поиска — 10 лет. Отобраны публикации, касающиеся ранней диагностики и лечения асептического некроза после перенесенного COVID-19.

Результаты и обсуждение

Патогенез асептического некроза, вызванного инфекцией COVID-19

В настоящее время в патогенезе асептического некроза, вызванного COVID-19, обсуждается роль самого вируса и терапии глюкокортикоидами. Что касается возможной связи вируса SARS-CoV-2 с развитием асептического некроза, то к настоящему времени выявлено, что при COVID-19 вирус SARS-CoV-2 непосредственно проникает в клетки эндотелия сосудов через ангиотензинпревращающий фермент-2 (ACE2), который экспрессируется эндотелиальными клетками не только в легких, но и во многих других органах и тканях, что приводит к поражению сосудов через развитие коагулопатии и обширного воспалительного синдрома [8]. R. Escher с соавторами наблюдали пациента с инфекцией COVID-19, у которого отмечалось значительное повышение фактора фон Виллебранда, что, по их предположению, подтверждало разрушение эндотелия сосудов [9]. Кроме того, проникая в организм, вирус SARS-CoV индуцирует экспрессию гена TRIM55 убиквитинлигазы E3 в гладкомышечных клетках сосудов, что, в свою очередь, приводит к воспалению сосудистой стенки и агрегации лейкоцитов [10]. В сочетании с гиперкоагуляцией перечисленные отклонения могут стать причиной микротромбоза и развития остеонекроза костей дистальнее места обструкции артерии [11].

Помимо прямого проникновения вируса в эндотелий сосудов усугубляет поражение, в том числе и костной ткани, общее воспаление и цитокиновый шторм при SARS-CoV-2, как и при SARS-CoV-1 [12] вследствие чрезмерной активации провоспалительных цитокинов: интерферона гамма (IFN- γ), фактора некроза опухоли (TNF), интерлейкина-1 (IL-1), интерлейкина-6 (IL-6) [13] и хемотаксиса Т-лимфоцитов в очаг воспаления [14], вызванных иммунным ответом. В этой ситуации следствием микротромбоза и прямого повреждения сосудов вирусом может быть развитие асептического некроза [15].

Однако это не единственный механизм развития остеонекроза при COVID-19. Больше влияние на риск асептического некроза при COVID-19 оказывает прием глюкокортикоидов [16]. Их использование при COVID-19 основано на потенциальном преимуществе перед другими препаратами в снижении иммунопатологического повреждения тканей и раннем провоспалительном ответе за счет подавления экспрессии провоспалительных цитокинов, таких как IL-1, IL-2, IL-6, TNF- α и IFN- γ , и миграции лейкоцитов к участкам воспаления, что препятствует развитию «цитокинового шторма» [17]. Одновременно ряд авторов отмечает и потенциальный вред глюкокортикоидов, включая задержку выведения вируса и наличие побочных эффектов, таких как развитие диабета, психоза, системного остеопороза и аваскулярного некроза костей [18, 19, 20].

Негативная реакция организма на прием глюкокортикоидов проявляется вскоре после выздоровления от COVID-19. Так, в наблюдениях за пациентами с атипичной пневмонией выявлена возможность снижения минеральной плотности костной ткани (МПК) после выздоровления [21].

Степень снижения костной массы в значительной степени зависела от дозы и продолжительности приема кортикостероидов, которые были основной терапией, направленной на уменьшение воспаления во время начальной инфекции и последующего раннего периода реабилитации и восстановления [5].

Частота использования глюкокортикоидов у тяжелых пациентов с COVID-19 колеблется в различных лечебных учреждениях от 28 до 70% [22]. Такое широкое применение глюкокортикоидов при COVID-19 основано на положительном опыте их использования у пациентов с атипичной пневмонией во время эпидемии SARS-CoV. Многоцентровые исследования показали, что раннее введение дексаметазона может сократить продолжительность искусственной вентиляции легких и общую смертность у пациентов с острым респираторным дистресс-синдромом [23]. Согласно клиническому исследованию RECOVERY, которое является одним из крупнейших, касающихся лечения COVID-19, этот препарат снижает риск смерти на 20% у пациентов с тяжелой формой COVID-19, находящихся на аппарате искусственной вентиляции легких или получающих кислород [24]. В то же время кортикостероиды являются предрасполагающим фактором развития аваскулярного некроза, оказывая на кость как прямое, так и опосредованное негативное влияние [25]. Прежде всего, они влияют на пролиферацию мезенхимальных стволовых клеток: блокируют RUNX2, препятствуют образованию преостеобластов и переходу преостео-

бластов в остеобласты, что снижает количество зрелых остеобластов и переводит метаболизм в сторону формирования адипоцитов из мезенхимальных клеток [26, 27]. Под влиянием глюкокортикоидов увеличивается апоптоз остеобластов и остеоцитов, активируются остеокласты за счет их влияния на систему RANKL и DKK-1 сигнальных белков [28].

Неблагоприятное влияние глюкокортикоидов на костную ткань проявляется и через их включение в липидный обмен. Накопление липопротеидов низкой плотности, образование жировых эмболов, в свою очередь, приводит к закупорке периферических кровеносных сосудов и, как следствие, к ишемическому некрозу костной ткани. Свободные жирные кислоты, образующиеся при гидролизе жировых эмболов, повреждая эндотелиальные клетки капилляров, вызывают диффузный васкулит и внутрисосудистую коагуляцию, что усугубляет ишемический некроз костной ткани [29].

Представлен еще один путь негативного влияния глюкокортикоидов на костную ткань. Действуя как регулятор местного кровотока, глюкокортикоиды изменяют чувствительность сосудов к вазоактивным веществам таким как эндотелин-1, норадреналин и брадикинин, что приводит к сужению сосудов в головке бедренной кости и усиливает ишемию костной ткани. Высокие дозы ГК снижают активность тканевого активатора плазминогена (t-PA) и повышают уровни антигена ингибитора активатора плазминогена-1 (PAI-1) в плазме, что увеличивает прокоагулянтный потенциал плазмы и состояние гиперкоагуляции [30].

L. Fu с соавторами обнаружили активацию экспрессии микроРНК 596 (miR-596) в кости пациентов со стероид-индуцированным некрозом головки бедренной кости (SANFH), что, по мнению авторов, может ингибировать пролиферацию и остеогенную дифференцировку стромальных клеток костного мозга (BMSC) и быть препятствием для восстановления поврежденной кости [31].

Некоторые базовые исследования показали, что микроРНК-17-5p (miR-17-5p) и miR-210 связаны с патогенезом стероид-индуцированного остеонекроза головки бедренной кости (SANFH) [32, 33]. Прямой апоптоз эндотелиальных клеток и подавление синтеза коллагена сосудов глюкокортикоидами препятствует ревазуляризации и восстановлению костной ткани в зоне остеонекроза [34].

Как отмечалось выше, на развитие остеонекроза влияет как доза глюкокортикоидов, так и длительность терапии. Из уроков эпидемии атипичной пневмонии в Китае в 2003 г. было извлечено, что доза менее 1–2 мг/кг метилпреднизолона ко-

ротким курсом в течение 3–5 дней рекомендуется в качестве адъювантного лечения COVID-19 [35]. Этот режим введения, обеспечивая хороший терапевтический эффект у пациентов с сильным воспалительным ответом и острым прогрессированием (по данным КТ легких) заболевания, не приводит к развитию остеонекроза [36]. В то же время более высокие кумулятивные дозы и более длительное лечение стероидами с большей вероятностью приведут к развитию остеонекроза [37]. По мнению некоторых исследователей, существует корреляция между максимальной суточной дозой глюкокортикоидов и остеонекрозом головки бедренной кости, что требует ее адекватного контроля [38]. В эксперименте на кроликах G. Motomura с соавторами при использовании в группах 1 мг/кг, 5 мг/кг, 20 мг/кг и 40 мг/кг метилпреднизолона частота остеонекроза составила 0%, 42%, 70% и 96% соответственно [39].

Опыт клинического применения метилпреднизолона в дозе 5 мг/кг в день показал, что это приводит к развитию остеонекроза у каждого пятого пациента в отличие от контрольной группы пациентов, получающей 1 мг/кг в день, у которых заболевание не развивалось [40]. Увеличение дозы преднизолона на каждые 10 мг повышает частоту развития остеонекроза на 3,6% [41].

Особое значение уделяется кумулятивной дозе глюкокортикостероидов. В ретроспективном исследовании с включением 539 пациентов с острым респираторным синдромом частота остеонекроза коррелировала с ростом общей дозы препарата [42].

R. Zhao с соавторами наблюдали нелинейную зависимость между кумулятивной дозой и остеонекрозом. Когда общая доза метилпреднизолона была менее 5 г, риск остеонекроза оставался относительно низким. Однако по мере увеличения общей дозы с 5 г до 10 г риск резко повышался. Самый высокий риск отмечен у пациентов с кумулятивной дозой от 10 до 15 г. Считается, что низкая кумулятивная доза кортикостероидов (метилпреднизолон менее 5 г) относительно безопасна для пациентов с острым респираторным синдромом, поэтому врачам рекомендуется избегать использования высоких доз кортикостероидов, особенно кумулятивной дозы более 10 г [37]. Исследование J. Rademaker с соавторами показало, что преднизолон в дозе 700 мг является порогом возникновения некроза головки бедренной кости [43]. M.H.M. Chan с соавторами предположили, что кумулятивные дозы метилпреднизолона более 2000 мг или гидрокортизона более 1900 мг являются предикторами развития остеонекроза [44].

На развитие остеонекроза влияет и продолжительность терапии. Обследование 1137 пациентов с атипичной пневмонией выявило, что коэффици-

ент заболеваемости остеонекрозом составлял 1,29 (95% ДИ 1,09–1,53; $p = 0,003$) на каждые 10 дней лечения, что, по мнению авторов, свидетельствует о важности сокращения сроков применения стероидов с целью снижения риска развития остеонекроза [37]. Существует мнение, что даже недельный прием глюкокортикоидов может иметь высокий риск развития остеонекроза, если доза перорального метилпреднизолона превышает 300 мг, то есть примерно 1 мг/кг в день у пациента весом 60 кг в течение 5 дней. Исходя из этих данных, авторы обращают внимание на важность обследования пациентов при наличии перечисленных выше рисков для раннего выявления асептического некроза после перенесенного COVID-19 [45].

Диагностика асептического некроза у пациентов, перенесших COVID-19

По мнению F.C. Zhao с соавторами, МРТ рекомендуется проводить в срок 3, 6 и 12 мес. после окончания приема глюкокортикоидов [46]. На этот временной интервал между приемом кортикостероидов и развитием асептического некроза головки бедренной кости указывают и другие авторы [47]. В ретроспективном исследовании пациентов после перенесенного COVID-19 остеонекроз по данным МРТ обнаружен спустя 3 мес. после завершения лечения у 21 из 23 пациентов, хотя обследование проводилось и в более ранние сроки [48].

Помимо МРТ-диагностики, постоянно ведется поиск новых предикторов заболевания. Отмечено, что снижение ингибитора активатора плазминогена-1 (PAI-1) является чувствительным методом для скрининга пациентов с высоким риском остеонекроза [49]. В. Wei и W. Wei предложили использовать в качестве биомаркера микроРНК 423-5р, уровень которой в крови значительно повышается у пациентов со стероид-индуцированным остеонекрозом. При этом отмечено, что в большинстве случаев лабораторные показатели коагулограммы остаются в пределах нормальных значений [50].

Лечение асептического некроза, связанного с перенесенной COVID-19 инфекцией

Своевременное выявление асептического некроза, как осложнения COVID-19 и его лечения глюкокортикоидами, может снизить риск развития запущенной стадии заболевания, которая неизбежно приведет к эндопротезированию сустава. В то же время, если диагноз остеонекроза установлен на ранней стадии (I или II), то 92–97% пациентов не нуждаются в хирургическом вмешательстве [51], а консервативное лечение может завершиться выздоровлением [52].

Основной целью лечения на ранней стадии заболевания, как и в случае с идиопатическим остеонекрозом или вторичным остеонекрозом, не связанным с COVID-19, является снижение болевого синдрома, замедление прогрессирования заболевания, предотвращение коллапса субхондральной кости и восстановление функции сустава.

Консервативное лечение ранних стадий асептического некроза после перенесенного COVID-19 позволяет избежать операции эндопротезирования, которая чревата высоким риском развития асептической нестабильности у лиц молодого и среднего возраста.

Для лечения ранней стадии остеонекроза, развившегося после перенесенного COVID-19, в настоящее время не существует стандартизированного протокола. В клинической практике часто применяется комбинация фармакотерапии и разгрузки сустава, которая показала свою эффективность, в том числе при стероид-индуцированном остеонекрозе [53]. Разгрузка сустава осуществляется на срок не менее 3 мес. в случае локализации остеонекроза в головке бедренной кости — с помощью костылей, при локализации в других костях скелета, кроме костылей, можно использовать трость и ортез [54].

Об успешном использовании антирезорбтивных препаратов для лечения вторичного остеонекроза на ранних стадиях, в том числе и глюкокортикоидного, у взрослых сообщали S. Agarwala с соавторами [55]. Отмечена способность антирезорбтивных препаратов замедлять прогрессирование заболевания, снижать необходимость хирургического вмешательства. В США, по данным Американской академии хирургов ортопедов (AAO), доля бисфосфонатов при лечении остеонекроза головки бедренной кости составляет 10% [56]. Их применение направлено на снижение интенсивности резорбции как в зоне остеонекроза, что уменьшает риск коллапса субхондральной кости [57], так и в окружающей костной ткани [58], что не менее важно, учитывая возможность генерализованного дефицита МПК у пациентов с COVID-19 [21]. Однако назначение этой группы препаратов при остеонекрозе, с юридической точки зрения, может быть только off label, так как в аннотации к ним отсутствуют указания на возможность их использования при этой патологии.

В качестве возможного бисфосфоната на весь период лечения пациентов с асептическим некрозом рассматривается алендроновая кислота — 70 мг один раз в неделю [59]. Однако недостатком пероральных бисфосфонатов является их низкая комплаентность. В этой связи использование внутривенных форм, прежде всего золедроновой кислоты в дозе 5 мг, учитывая кратность введения (один раз в год), считается перспективным [60].

Помимо прямого антирезорбтивного действия и, как следствие, снижения отека костной ткани [61], внутривенные бисфосфонаты обладают значительным обезболивающим эффектом, что улучшает качество жизни пациентов [60].

Бисфосфонаты противопоказаны лицам с нарушением азотовыделительной функции почек [62]. В этих случаях в качестве антирезорбтивного препарата при асептическом некрозе есть опыт применения деносумаба в дозе 60 мг дважды в год [62].

Использование антирезорбтивных препаратов требует одновременного назначения препаратов кальция в дозе 500–1000 мг/сут. и колекальциферола в дозе не менее 1000 МЕ/сут. или альфакальцидола в дозе не менее 0,5–0,75 мкг/сут. [63].

Назначение колекальциферола в период пандемии рекомендуется, прежде всего, с целью влияния на течение COVID-19. В этом случае снижается тяжесть течения инфекции и повышается выживаемость [64, 65]. Эти эффекты объясняют замедлением скорости репликации вирусов, снижением концентрации провоспалительных и повышением концентрации противовоспалительных цитокинов [64]. Однако этот механизм действия колекальциферола имеет слабую доказательную базу, так как наблюдательные и клинические испытания, проведенные в отношении эффекта витамина D и связанного с этим риска инфекций дыхательных путей, противоречат друг другу: одни сообщают о снижении риска, другие — нет [64, 66]. Предполагается, что эти противоречивые результаты связаны с неоднородностью популяции пациентов, а также с дозой витамина D. Поэтому следует подождать результатов хорошо спланированных испытаний витамина D, прежде чем можно будет сделать какое-либо заключение об их возможном влиянии на течение COVID-19.

В то же время использование колекальциферола и особенно альфакальцидола имеет значение в комплексной терапии остеонекроза. Так, ранее было показано, что у пациентов с идиопатическим остеонекрозом головки бедренной кости сывороточная концентрация 1,25 (ОН) 2D3 (16,7±7,9 мг/мл) значительно ниже, чем в контрольной группе (26,9 мг/мл) ± 13,7 мг/мл ($p < 0,01$) [64]. Это снижение расценивалось авторами как неблагоприятный фон для развития и прогрессирования остеонекроза.

Еще одним аргументом для назначения колекальциферола стало указание на связь развития остеонекроза с низкой МПК [67]. Использование колекальциферола в комбинации с препаратами кальция в настоящее время является базовой терапией для поддержания метаболизма костной ткани при низких значениях МПК на фоне как первичного, так и вторичного остеопороза [68].

Учитывая отмеченную связь остеонекроза с нарушением микроциркуляции, с первых дней после диагностики остеонекроза (в качестве ингибитора агрегации тромбоцитов и ангиопротективного средства) применяется дипиридамола внутрь в дозе 25 мг 3 раза в сут. в течение 3 нед. [69]. С целью снижения внутрикостного давления и улучшения состояния микроциркуляторного русла возможно назначение илоprostа. Эффективность данного препарата при лечении остеонекроза была отмечена ранее [70]. В связи с высоким риском снижения артериального давления инфузия илоprostа должна проводиться исключительно в условиях стационара или амбулатории с наличием реанимационной бригады [71].

При наличии у пациентов с остеонекрозом после перенесенного COVID-19 гиперкоагуляции или гипофибринолиза для предотвращения прогрессирования болезни на 1–2 стадии ARCO в комплексной терапии рекомендуются антикоагулянты, в частности эноксипарин натрия, вводимый в дозе от 4000 МЕ (0,4 мл) до 6000 МЕ (0,6 мл) подкожно в сутки длительностью от 2 до 12 нед. [72]. Учитывая тот факт, что при лечении COVID-19 таблетированные антикоагулянты показали схожий эффект с препаратами подкожного введения, их применение, например апиксабана в дозе 2,5 мг 2 раза в сут. на протяжении 12 нед., считается не менее эффективным [73].

В ряде случаев уменьшить симптоматику заболевания позволяет физиотерапевтическое лечение [74]. В этой связи в комплексном лечении остеонекроза возможно использование импульсной электромагнитной терапии, гипербарической оксигенации, озонотерапии, экстракорпоральной ударно-волновой терапии. Однако оценка их эффективности при лечении остеонекроза вследствие COVID-19 требует дальнейшего изучения.

На начальных стадиях для снижения болевого синдрома и улучшения кровоснабжения возможна туннелизация (декомпрессия) очага пораженного участка головки бедренной кости, которая проводится после ранее назначенной консервативной терапии [75].

Заключение

В настоящее время, судя по доступным публикациям, обсуждаются два механизма развития остеонекроза после перенесенного COVID-19: влияние глюкокортикоидов, используемых для лечения инфекции, и вклад непосредственно вируса COVID-19 в нарушение метаболизма костной ткани. В последнем случае развитие остеонекроза обусловлено микротромбозом и нарушением питания костной ткани на фоне прямого повреждения сосудов вирусом или развитием воспаления сосудистой стенки в сочетании с повышением

свертываемости крови под влиянием провоспалительных цитокинов, увеличение которых обусловлено иммунным ответом на инфекцию. По общему мнению, снижение частоты остеонекроза и последствий его поздней диагностики

(эндопротезирование) может быть достигнуто выполнением в динамике МРТ в интервале 3–6 мес. после перенесенного COVID-19. В то же время не исключается поиск новых предикторов заболевания.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Торгашин А.Н. — поиск литературы, написание текста статьи.

Родионова С.С. — редактирование рукописи.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Не требуется.

Литература [References]

1. WHO coronavirus disease (COVID-19) Dashboard. Available from: <https://covid19.who.int/table>.
2. Leung T.Y.M., Chan A.Y.L., Chan E.W., Chan V.K.Y., Chui C.S.L., Cowling B.J. et al. Short- and potential long-term adverse health outcomes of COVID-19: a rapid review. *Emerg Microbes Infect.* 2020;9(1):2190-2199. doi: 10.1080/22221751.2020.1825914.
3. Mahase E. Covid-19: What do we know about «long covid»? *BMJ.* 2020;370:m2815. doi: 10.1136/bmj.m2815.
4. Agarwala S.R., Vijayvargiya M., Pandey P. Avascular necrosis as a part of 'long COVID-19'. *BMJ Case Rep.* 2021;14(7):e242101. doi: 10.1136/bcr-2021-242101.
5. Griffith J.F. Musculoskeletal complications of severe acute respiratory syndrome. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2011;15(5):554-560. doi: 10.1055/s-0031-1293500.
6. Hong N., Du X.K. Avascular necrosis of bone in severe acute respiratory syndrome. *Clin Radiol.* 2004;59(7):602-608. doi: 10.1016/j.crad.2003.12.008.
7. Lv H., de Vlas S.J., Liu W., Wang T.B., Cao Z.Y., Li C.P. et al. Avascular osteonecrosis after treatment of SARS: a 3-year longitudinal study. *Trop Med Int Health.* 2009;14 Suppl 1(Suppl 1):79-84. doi: 10.1111/j.1365-3156.2008.02187.x.
8. Sardu C., Gambardella J., Morelli M.B., Wang X., Marfella R., Santulli G. Hypertension, Thrombosis, Kidney Failure, and Diabetes: Is COVID-19 an Endothelial Disease? A Comprehensive Evaluation of Clinical and Basic Evidence. *J Clin Med.* 2020;9(5):1417. doi: 10.3390/jcm9051417.
9. Escher R., Breakey N., Lämmle B. Severe COVID-19 infection associated with endothelial activation. *Thromb Res.* 2020;190:62. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.014.

Disclaimers

Author contribution

Torgashin A.N. — literature review, writing the draft, editing.

Rodionova S.S. — writing the draft, editing.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

10. Gralinski L.E., Ferris M.T., Aylor D.L., Whitmore A.C., Green R., Frieman M.B. et al. Genome Wide Identification of SARS-CoV Susceptibility Loci Using the Collaborative Cross. *PLoS Genet.* 2015;11(10):e1005504. doi: 10.1371/journal.pgen.1005504.
11. Oxley T.J., Mocco J., Majidi S., Kellner C.P., Shoirah H., Singh I.P. et al. Large-Vessel Stroke as a Presenting Feature of Covid-19 in the Young. *N Engl J Med.* 2020;382(20):e60. doi: 10.1056/NEJMc2009787.
12. Channappanavar R., Perlman S. Pathogenic human coronavirus infections: causes and consequences of cytokine storm and immunopathology. *Semin Immunopathol.* 2017;39(5):529-539. doi: 10.1007/s00281-017-0629-x.
13. Van Reeth K., Van Gucht S., Pensaert M. Correlations between lung proinflammatory cytokine levels, virus replication, and disease after swine influenza virus challenge of vaccination-immune pigs. *Viral Immunol.* 2002;15(4):583-594. doi: 10.1089/088282402320914520.
14. Nie S., Han S., Ouyang H., Zhang Z. Coronavirus Disease 2019-related dyspnea cases difficult to interpret using chest computed tomography. *Respir Med.* 2020;167:105951. doi: 10.1016/j.rmed.2020.105951.
15. Полякова Ю.В., Папичев Е.В., Ахвердян Ю.Р., Сивордова Л.Е., Заводовский Б.В. Новая коронавирусная инфекция – прямое и косвенное влияние на пациентов с болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани. *Современные проблемы науки и образования.* 2021;(6). Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31342>.

- Polyakova Yu.V., Papichev E.V., Akhverdyan Y.R., Sivordova L.E., Zavodovskiy B.V. [New coronavirus infection - direct and indirect impact on patients with diseases of the musculoskeletal system and connective tissue]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2021;(6). (In Russian). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31342>.
16. Муштин Н.Е., Цед А.Н., Дулаев А.К., Ильющенко К.Г., Шмелев А.В. Влияние новой коронавирусной инфекции COVID-19 на развитие остеонекроза. В кн.: *Медицинская помощь при травмах, новое в организации и технологиях, роль национальной общественной профессиональной организации травматологов в системе здравоохранения РФ*. Санкт-Петербург; 2021. с. 98-99.
Mushtin N.E., Tsed A.N., Dulaev A.K., Ilyushchenko K.G., Shmelev A.V. [A variant of the new coronavirus infection Covid-19 for the development of osteonecrosis]. In: *Meditinskaya pomoshch' pri travmakh, novoe v organizatsii i tekhnologiyakh, rol' natsional'noi obshchestvennoi professional'noi organizatsii travmatologov v sisteme zdravookhraneniya RF: sbornik tezisev* [Medical care for injuries, new organization and technology, the role of the national professional organization of traumatologists in the healthcare system of the Russian Federation]. St. Petersburg; 2021. p. 98-99. (In Russian).
 17. Strehl C., Ehlers L., Gaber T., Buttgerit F. Glucocorticoids-All-Rounders Tackling the Versatile Players of the Immune System. *Front Immunol.* 2019;10:1744. doi: 10.3389/fimmu.2019.01744.
 18. Russell B., Moss C., Rigg A., Van Hemelrijck M. COVID-19 and treatment with NSAIDs and corticosteroids: should we be limiting their use in the clinical setting? *Ecancermedicalscience.* 2020;14:1023. doi: 10.3332/ecancer.2020.1023.
 19. Russell B., Moss C., George G., Santaolalla A., Cope A., Papa S. et al. Associations between immune-suppressive and stimulating drugs and novel COVID-19-a systematic review of current evidence. *Ecancermedicalscience.* 2020;14:1022. doi: 10.3332/ecancer.2020.1022.
 20. Arabi Y.M., Fowler R., Hayden F.G. Critical care management of adults with community-acquired severe respiratory viral infection. *Intensive Care Med.* 2020;46(2):315-328. doi: 10.1007/s00134-020-05943-5.
 21. Lau E.M., Chan F.W., Hui D.S., Wu A.K., Leung P.C. Reduced bone mineral density in male Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) patients in Hong Kong. *Bone.* 2005;37(3):420-424. doi: 10.1016/j.bone.2005.04.018.
 22. Yang X., Yu Y., Xu J., Shu H., Xia J. Liu H. et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *Lancet Respir Med.* 2020;8(5):475-481. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30079-5.
 23. Villar J., Ferrando C., Martínez D., Ambrós A., Muñoz T., Soler J.A. et al. Dexamethasone treatment for the acute respiratory distress syndrome: a multicentre, randomised controlled trial. *Lancet Respir Med.* 2020;8(3):267-276. doi: 10.1016/S2213-2600(19)30417-5.
 24. RECOVERY Collaborative Group, Horby P., Lim W.Sh., Emberson J.R., Mafham M., Bell J.L. et al. Dexamethasone in Hospitalized Patients with COVID-19 — Preliminary Report. *N Engl J Med.* 2021; 384(8):693-704. doi: 10.1056/NEJMoa2021436.
 25. Powell C., Chang C., Naguwa S.M., Cheema G., Gershwin M.E. Steroid induced osteonecrosis: An analysis of steroid dosing risk. *Autoimmun Rev.* 2010;9(11):721-743. doi: 10.1016/j.autrev.2010.06.007.
 26. Koromila T., Baniwal S.K., Song Y.S., Martin A., Xiong J., Frenkel B. Glucocorticoids antagonize RUNX2 during osteoblast differentiation in cultures of ST2 pluripotent mesenchymal cells. *J Cell Biochem.* 2014;115(1):27-33. doi: 10.1002/jcb.24646.
 27. Matthews B. Involvement of the osteoblast in Paget's disease of bone. *Medicine.* 2009. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Involvement-of-the-osteoblast-in-Paget%27s-disease-of-Matthews/c20b73cf3d1e1d6ed15801a3ac5e230459fcf1b7>.
 28. O'Brien C.A., Jia D., Plotkin L.I., Bellido T., Powers C.C., Stewart S.A. et al. Glucocorticoids act directly on osteoblasts and osteocytes to induce their apoptosis and reduce bone formation and strength. *Endocrinology.* 2004;145(4):1835-1841. doi: 10.1210/en.2003-0990.
 29. Koo K.H., Kim R., Kim Y.S., Ahn I.O., Cho S.H., Song H.R. et al. Risk period for developing osteonecrosis of the femoral head in patients on steroid treatment. *Clin Rheumatol.* 2002;21(4):299-303. doi: 10.1007/s100670200078.
 30. Kerachian M.A., Séguin C., Harvey E.J. Glucocorticoids in osteonecrosis of the femoral head: a new understanding of the mechanisms of action. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2009;114(3-5):121-128. doi: 10.1016/j.jsbmb.2009.02.007.
 31. Fu L., Liu H., Lei W. MiR-596 inhibits osteoblastic differentiation and cell proliferation by targeting Smad3 in steroid-induced osteonecrosis of femoral head. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):173. doi: 10.1186/s13018-020-01688-5.
 32. Yamasaki K., Nakasa T., Miyaki S., Yamasaki T., Yasunaga Y., Ochi M. Angiogenic microRNA-210 is present in cells surrounding osteonecrosis. *J Orthop Res.* 2012;30(8):1263-1270. doi: 10.1002/jor.22079.
 33. Jia J., Feng X., Xu W., Yang S., Zhang Q., Liu X. et al. MiR-17-5p modulates osteoblastic differentiation and cell proliferation by targeting SMAD7 in non-traumatic osteonecrosis. *Exp Mol Med.* 2014;46(7):e107. doi: 10.1038/emmm.2014.43.
 34. Weinstein R.S., Wan C., Liu Q., Wang Y., Almeida M., O'Brien C.A. et al. Endogenous glucocorticoids decrease skeletal angiogenesis, vascularity, hydration, and strength in aged mice. *Aging Cell.* 2010;9(2):147-161. doi: 10.1111/j.1474-9726.2009.00545.x.
 35. Xu Y., Chen Y., Tang X. Guidelines for the diagnosis and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China. *Glob Health Med.* 2020;2(2):66-72. doi: 10.35772/ghm.2020.01015.
 36. Zheng Y., Xiong C., Liu Y., Qian X., Tang Y., Liu L. et al. Epidemiological and clinical characteristics analysis of COVID-19 in the surrounding areas of Wuhan, Hubei Province in 2020. *Pharmacol Res.* 2020;157:104821. doi: 10.1016/j.phrs.2020.104821.
 37. Zhao R., Wang H., Wang X., Feng F. Steroid therapy and the risk of osteonecrosis in SARS patients: a dose-response meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2017;28(3):1027-1034. doi: 10.1007/s00198-016-3824-z.
 38. Shen J., Liang B.L., Zeng Q.S., Chen J.Y., Liu Q.Y., Chen R.C. et al. [Report on the investigation of lower extremity osteonecrosis with magnetic resonance imaging in recovered severe acute respiratory syndrome in Guangzhou]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 2004;84(21):1814-1817. (In Chinese).

39. Motomura G., Yamamoto T., Irisa T., Miyanishi K., Nishida K., Iwamoto Y. Dose effects of corticosteroids on the development of osteonecrosis in rabbits. *J Rheumatol.* 2008;35(12):2395-2399. doi: 10.3899/jrheum.080324.
40. Marsh J.C., Zomas A., Hows J.M., Chapple M., Gordon-Smith E.C. Avascular necrosis after treatment of aplastic anaemia with antilymphocyte globulin and high-dose methylprednisolone. *Br J Haematol.* 1993;84(4):731-735. doi: 10.1111/j.1365-2141.1993.tb03153.x.
41. Mont M.A., Pivec R., Banerjee S., Issa K., Elmallah R.K., Jones L.C. High-Dose Corticosteroid Use and Risk of Hip Osteonecrosis: Meta-Analysis and Systematic Literature Review. *J Arthroplasty.* 2015;30(9):1506-1512.e5. doi: 10.1016/j.arth.2015.03.036.
42. Guo K.J., Zhao F.C., Guo Y., Li F.L., Zhu L., Zheng W. The influence of age, gender and treatment with steroids on the incidence of osteonecrosis of the femoral head during the management of severe acute respiratory syndrome: a retrospective study. *Bone Joint J.* 2014;96-B(2):259-262. doi: 10.1302/0301-620X.96B2.31935.
43. Rademaker J., Dobro J.S., Solomon G. Osteonecrosis and human immunodeficiency virus infection. *J Rheumatol.* 1997;24(3):601-604.
44. Chan M.H., Chan P.K., Griffith J.F., Chan I.H., Lit L.C., Wong C.K. et al. Steroid-induced osteonecrosis in severe acute respiratory syndrome: a retrospective analysis of biochemical markers of bone metabolism and corticosteroid therapy. *Pathology.* 2006;38(3):229-235. doi: 10.1080/00313020600696231.
45. Richards R.N. Short-term Corticosteroids and Avascular Necrosis: Medical and Legal Realities. *Cutis.* 2007;80(4):343-348.
46. Zhao F.C., Li Z.R., Guo K.J. Clinical analysis of osteonecrosis of the femoral head induced by steroids. *Orthop Surg.* 2012;4(1):28-34. doi: 10.1111/j.1757-7861.2011.00163.x.
47. Mirzai R., Chang C., Greenspan A., Gershwin M.E. The pathogenesis of osteonecrosis and the relationships to corticosteroids. *J Asthma.* 1999;36(1):77-95. doi: 10.3109/02770909909065152.
48. Zhao F.C., Hu H.X., Zheng X., Cang D.W., Liu X., Zhang J.Z. et al. Clinical analysis of 23 cases of steroid-associated osteonecrosis of the femoral head with normal initial magnetic resonance imaging presentation. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(49):e8834. doi: 10.1097/MD.0000000000008834.
49. Sun W., Li Z., Shi Z., Wang B., Gao F., Yang Y. et al. Relationship between post-SARS osteonecrosis and PAI-1 4G/5G gene polymorphisms. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(4):525-529. doi: 10.1007/s00590-013-1223-0.
50. Wei B., Wei W. Identification of aberrantly expressed of serum microRNAs in patients with hormone-induced non-traumatic osteonecrosis of the femoral head. *Biomed Pharmacother.* 2015;75:191-195. doi: 10.1016/j.biopha.2015.07.016.
51. Hsu S.L., Wang C.J., Lee M.S., Chan Y.S., Huang C.C., Yang K.D. Cocktail therapy for femoral head necrosis of the hip. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010;130(1):23-29. doi: 10.1007/s00402-009-0918-5.
52. Wong T., Wang C.J., Hsu S.L., Chou W.Y., Lin P.C., Huang C.C. Cocktail therapy for hip necrosis in SARS patients. *Chang Gung Med J.* 2008;31(6):546-553.
53. Wang W., Zhang N., Guo W., Gao F. Combined pharmacotherapy for osteonecrosis of the femoral head after severe acute respiratory syndrome and interstitial pneumonia: two and a half to fourteen year follow-up. *Int Orthop.* 2018;42(7):1551-1556. doi: 10.1007/s00264-018-3907-x.
54. Klumpp R., Trevisan C. Aseptic osteonecrosis of the hip in the adult: current evidence on conservative treatment. *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2015;12(Suppl 1):39-42. doi: 10.11138/ccmbm/2015.12.3s.039.
55. Agarwala S., Banavali S.D., Vijayvargiya M. Bisphosphonate Combination Therapy in the Management of Postchemotherapy Avascular Necrosis of the Femoral Head in Adolescents and Young Adults: A Retrospective Study From India. *J Glob Oncol.* 2018;4:1-11. doi: 10.1200/JGO.17.00083.
56. Ramachandran M., Ward K., Brown R.R., Munns C.F., Cowell C.T., Little D.G. Intravenous bisphosphonate therapy for traumatic osteonecrosis of the femoral head in adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(8):1727-1734. doi: 10.2106/JBJS.F.00964.
57. Karim A.R., Cherian J.J., Jauregui J.J., Pierce T., Mont M.A. Osteonecrosis of the knee: review. *Ann Transl Med.* 2015;3(1):6. doi: 10.3978/j.issn.2305-5839.2014.11.13.
58. Zywił M.G., McGrath M.S., Seyler T.M., Marker D.R., Bonutti P.M., Mont M.A. Osteonecrosis of the knee: a review of three disorders. *Orthop Clin North Am.* 2009;40(2):193-211. doi: 10.1016/j.ocl.2008.10.010.
59. Hong Y.C., Luo R.B., Lin T., Zhong H.M., Shi J.B. Efficacy of alendronate for preventing collapse of femoral head in adult patients with nontraumatic osteonecrosis. *Biomed Res Int.* 2014;2014:716538. doi: 10.1155/2014/716538.
60. Cross M., Macara M., Little E., Chan M., Little D., Buchbinder R. et al. Efficacy of zoledronate in treating osteonecrosis of femoral head: a randomized controlled trial Abstracts. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2018;26(Suppl 1):S309-S310. doi: 10.1016/j.joca.2018.02.622.
61. Agarwala S., Vijayvargiya M. Single Dose Therapy of Zoledronic Acid for the Treatment of Transient Osteoporosis of Hip. *Ann Rehabil Med.* 2019;43(3):314-320. doi: 10.5535/arm.2019.43.3.314.
62. Rolvien T., Schmidt T., Butscheidt S., Amling M., Barvencik F. Denosumab is effective in the treatment of bone marrow oedema syndrome. *Injury.* 2017;48(4):874-879. doi: 10.1016/j.injury.2017.02.020.
63. Родионова С.С., Еловой-Вронский А.А., Бернакевич А.И. Альфакальцидол или колекальциферол в комбинации с ибандроновой кислотой при лечении постменопаузального системного остеопороза. *Остеопороз и остеопатии.* 2014;17(1):21-24. Rodionova S.S., Elovoy-Vronskiy A.A., Bernakevich A.I. [Alfacalcidol or cholecalciferol in combination with ibandronic acid in the treatment of postmenopausal systemic osteoporosis]. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Bone Diseases]. 2014;17(1):21-24. (In Russian).
64. Grant W.B., Lahore H., McDonnell S.L., Baggerly C.A., French C.B., Aliano J.L. et al. Evidence that Vitamin D Supplementation Could Reduce Risk of Influenza and COVID-19 Infections and Deaths. *Nutrients.* 2020;12(4):988. doi: 10.3390/nu12040988.
65. Annweiler C., Hanotte B., Grandin de l'Eprevier C., Sabatier J.M., Lafaie L., Célarier T. Vitamin D and survival in COVID-19 patients: A quasi-experimental study. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2020;204:105771. doi: 10.1016/j.jsbmb.2020.105771.

66. Kakodkar P., Kaka N., Baig M.N. A Comprehensive Literature Review on the Clinical Presentation, and Management of the Pandemic Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Cureus*. 2020;12(4):e7560. doi: 10.7759/cureus.7560.
67. Gangji V., Soyfoo M.S., Heuschling A., Afzali V., Moreno-Reyes R., Rasschaert J. et al. Non traumatic osteonecrosis of the femoral head is associated with low bone mass. *Bone*. 2018;107:88-92. doi: 10.1016/j.bone.2017.11.005.
68. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В., Дедов И.И., Дзеранова Л.К., Драпкина О.М. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. *Остеопороз и остеопатии*. 2021;24(2):4-47. doi: 10.14341/osteo12930. Belaya Z.E., Belova K.Yu., Biryukova E.V., Dedov I.I., Dzeranova L.K., Drapkina O.M. et al. [Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis]. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Bone Diseases]. 2021;24(2):4-47. (In Russian). doi: 10.14341/osteo12930.
69. Торгашин А.Н., Родионова С.С., А.А. Шумский А.А., Макаров М.А., Торгашина А.В., Ахтымов И.Ф. и др. Лечение асептического некроза головки бедренной кости. Клинические рекомендации. *Научно-практическая ревматология*. 2020;58(6):637-645. Torgashin A.N., Rodionova S.S., Shumsky A.A., Makarov M.A., Torgashina A.V., Akhtyamov I.F. et al. [Treatment of aseptic necrosis of the femoral head. Clinical guidelines]. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya* [Rheumatology Science and Practice]. 2020;58(6):637-645. (In Russian).
70. Jäger M., Zilkens C., Bittersohl B., Matheney T., Kozina G., Blondin D. et al. Efficiency of iloprost treatment for osseous malperfusion. *Int Orthop*. 2011;35(5):761-765. doi: 10.1007/s00264-010-0998-4.
71. Claßen T., Becker A., Landgraerber S., Haversath M., Li X., Zilkens C. et al. Long-term Clinical Results after Iloprost Treatment for Bone Marrow Edema and Avascular Necrosis. *Orthop Rev (Pavia)*. 2016;8(1):6150. doi: 10.4081/or.2016.6150.
72. Glueck C.J., Freiberg R.A., Sieve L., Wang P. Enoxaparin prevents progression of stages I and II osteonecrosis of the hip. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;(435):164-170. doi: 10.1097/01.blo.0000157539.67567.03.
73. Billett H.H., Reyes-Gil M., Szymanski J., Ikemura K., Stahl L.R., Lo Y. et al. Anticoagulation in COVID-19: Effect of Enoxaparin, Heparin, and Apixaban on Mortality. *Thromb Haemost*. 2020;120(12):1691-1699. doi: 10.1055/s-0040-1720978.
74. Trancik T., Lunceford E., Strum D. The effect of electrical stimulation on osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(256):120-124.
75. Rajagopal M., Balch Samora J., Ellis T.J. Efficacy of core decompression as treatment for osteonecrosis of the hip: a systematic review. *Hip Int*. 2012;22(5):489-493. doi: 10.5301/HIP.2012.9748.

Сведения об авторах

✉ Торгашин Александр Николаевич — канд. мед. наук, старший научный сотрудник
Адрес: Россия, 127299, г. Москва, ул. Приорова, 10
<https://orcid.org/0000-0002-2789-6172>
e-mail: dr.torgashin@gmail.com

Родионова Светлана Семеновна — д-р мед. наук, профессор, врач травматолог-ортопед
<https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>
e-mail: rod06@inbox.ru

Authors' information

✉ Alexander N. Torgashin — Cand. Sci. (Med.)
Address: 10, Priorova str., Moscow, 127299, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-2789-6172>
e-mail: dr.torgashin@gmail.com

Svetlana S. Rodionova — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>
e-mail: rod06@inbox.ru



Обзорная статья
УДК (616.728.3+616.718)-089
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1627>

Хирургическое лечение пациентов с патологией коленного сустава и деформациями нижних конечностей: систематический обзор литературы

С.Б. Жумабеков, А.А. Пронских, В.В. Павлов, А.А. Корыткин

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

Актуальность. У пациентов с патологией коленного сустава часто используется этапный подход к хирургическому лечению: сначала корригирующие остеотомии, а затем, при необходимости — эндопротезирование. Такая тактика позволяет добиться оптимальных конечных результатов лечения. **Целью** данного обзора является определение перспективных способов хирургического лечения пациентов с патологией коленного сустава в сочетании с деформациями оси нижней конечности. **Материал и методы.** Поиск публикаций проводили в базах данных eLIBRARY, PubMed и Scopus с глубиной поиска 20 лет (с 2000 по 2020 г.) по ключевым словосочетаниям: деформация оси конечности (deformity of the lower limb axis), корригирующая остеотомия (deformity correction), тотальное эндопротезирование коленного сустава (total knee arthroplasty). Были проанализированы демографические данные пациентов, особенности хирургических вмешательств и результаты лечения. **Результаты.** По результатам поиска было найдено 1232 публикации, для анализа отобрано 12 исследований, в которые вошли 2428 пациентов. Сроки оперативного лечения пациентов охватили период с 1987 по 2018 г. Срок наблюдения составил в среднем $64,1 \pm 7,4$ мес., средний возраст пациентов составил $58,8 \pm 1,4$ года, средняя продолжительность операции — $114,2 \pm 3,9$ мин., средний объем кровопотери — $484,0 \pm 30,0$ мл. Время фиксации металлоконструкцией, прошедшее от момента остеотомии до удаления, составило в среднем $18,0 \pm 1,8$ мес. **Заключение.** Корригирующие остеотомии могут предотвратить эндопротезирование или отсрочить его в среднем на 11,8 лет. Остеотомия, предшествующая тотальному эндопротезированию, не оказывает отрицательного влияния на выживаемость эндопротеза, ее результаты сопоставимы со среднесрочными и долгосрочными результатами первичного эндопротезирования.

Ключевые слова: деформация оси конечности, корригирующая остеотомия, высокая тибиальная остеотомия, тотальное эндопротезирование коленного сустава.

Жумабеков С.Б., Пронских А.А., Павлов В.В., Корыткин А.А. Хирургическое лечение пациентов с патологией коленного сустава и деформациями нижних конечностей: систематический обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(1):138-147. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1627>.

Cite as: Zhumabekov S.B., Pronskikh A.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A. [Surgical Treatment of Patients With Knee Pathology and Deformities of the Lower Extremities: A Systematic Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(1):138-147. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1627>.

Жумабеков Субанбек Бакытович / Subanbek B. Zhumabekov; e-mail: Zhumabekov.93@mail.ru

Рукопись получена: 27.04.2021. Рукопись одобрена: 01.02.2022. Статья опубликована онлайн: 10.02.2022.
Submitted: 27.04.2021. Accepted: 01.02.2022. Published Online: 10.02.2022.

© Жумабеков С.Б., Пронских А.А., Павлов В.В., Корыткин А.А., 2022
© Zhumabekov S.B., Pronskikh A.A., Pavlov V.V., Korytkin A.A., 2022

Surgical Treatment of Patients With Knee Pathology and Deformities of the Lower Extremities: A Systematic Review

Subanbek B. Zhumabekov, Aleksandr A. Pronskikh, Vitaliy V. Pavlov, Andrey A. Korytkin

Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

Background. In patients with knee pathology, a phased approach to surgical treatment is often used: first, corrective osteotomies and then, if necessary, arthroplasty. This technique allows achieving optimal results of treatment.

The study aimed to determine promising methods of surgical treatment of patients with knee pathology and deformities of the lower limb axis. **Material and Methods.** Publication search was conducted in the databases of eLibrary, PubMed, and Scopus from 2000 to 2020 (a search period of 20 years) using the following keywords: deformity of the lower limb axis, deformity correction, and total knee arthroplasty. Demographic data of the patients, features of surgical techniques, and treatment results were analyzed. **Results.** The literature search identified 1,232 publications, of which 12 studies that analyzed a total of 2,428 patients were included in this review. The surgical treatment covered the period from 1987 to 2018. The average follow-up period was 64.1 ± 7.4 months, the average patient age was 58.8 ± 1.4 years, the average duration of surgery was 114.2 ± 3.9 min, and the average volume of blood loss was 484.0 ± 30.0 mL. The fixation period with a metal plate, from the moment of osteotomy to hardware removal, was on average 18.0 ± 1.8 months. **Conclusion.** Corrective osteotomies can prevent or delay knee replacement by an average of 11.8 years. Osteotomy preceding total arthroplasty does not negatively affect the survival of endoprosthesis, and its results are comparable with the medium- and long-term results of primary arthroplasty.

Keywords: limb axis deformity, corrective osteotomy, high tibial osteotomy, total knee arthroplasty.

Введение

В структуре патологии костно-мышечной системы остеоартроз является самым распространенным заболеванием и остается на протяжении многих лет ведущей проблемой клинической медицины. По данным статистики, остеоартрозом страдает 20% населения земного шара [1].

Многие ученые, изучающие патогенез остеоартроза, являются сторонниками механо-функциональной теории развития деформирующего артроза крупных суставов нижней конечности [2, 3, 4]. Согласно этой теории, развитие дегенеративно-дистрофического процесса в суставном хряще, субхондральной кости и капсуле сустава связано с функциональной перегрузкой хряща. При изменении механической оси конечности нагрузка на суставные поверхности коленного сустава оказывается неравномерной. Патологический перекос суставных поверхностей обуславливает перегрузку одного из мышечков бедренной или большеберцовой кости в зависимости от вида и степени деформации (синдром гиперпрессии). При вальгусной деформации наблюдается гиперпрессия латерального отдела, при варусной деформации — медиального [4, 5, 6, 7, 8]. Установлено, что своевременная коррекция биомеханической оси нижней конечности

и компенсация нестабильности тазобедренного и/или коленного сустава играют значительную роль в сохранении и оптимальной функции всех суставов нижней конечности [9, 10].

Актуальность исследований, посвященных вопросам хирургического лечения патологии коленного сустава, обусловлена многими причинами: высокой частотой встречаемости, быстрым прогрессированием дегенеративно-дистрофических процессов с ранней инвалидизацией пациентов трудоспособного возраста, низкой эффективностью консервативного лечения и трудностями выбора оптимального вида хирургического лечения. В настоящее время среди хирургических методов лечения преобладает тотальное эндопротезирование [11]. К 2030 г., согласно прогнозам зарубежных авторов, потребность в первичном эндопротезировании коленного сустава в мире возрастет на 673% и составит 3,48 млн операций в год [12, 13]. Однако тотальное эндопротезирование крупных суставов нижней конечности до конца не решило проблему лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний — возникает потребность в замене компонентов эндопротеза, что, в свою очередь, приводит к асептическому расшатыванию, износу вкладыша и гнойным осложнениям [13, 14, 15].

Органосохраняющие корригирующие остеотомии не потеряли своего значения, так как позволяют уменьшить и перераспределить статико-динамические напряжения в опорных зонах, способны предотвратить или замедлить течение дегенеративно-дистрофического процесса, продлить срок функционирования естественного сустава [16, 17, 18].

Цель исследования — определить перспективные способы хирургического лечения пациентов с патологией коленного сустава в сочетании с деформацией оси нижней конечности.

Материал и методы

Поиск публикаций проводили в базах данных eLIBRARY, PubMed и Scopus с глубиной поиска 20 лет — с 2000 по 2020 г.

Критерии включения:

- возраст пациентов 18 лет и старше;
- статьи на английском или русском языке;
- наличие полного текста статьи с указанием количественных и качественных данных.

Критерии исключения:

- неполнотекстовые публикации, клинические случаи, неопубликованные работы;
- исследования, имеющие признаки дублирования (схожий протокол исследования, группы и число пациентов и др.); в случае обнаружения дублирующих статей выбирали более позднюю по дате публикации;
- исследования с малым количеством клинических наблюдений (менее 10), сроком наблюдения менее 12 мес.

Поисковый запрос на русском языке выполняли по ключевым словам: «деформация оси конечности», «корригирующая остеотомия», «тотальное эндопротезирование коленного сустава». Для поиска в зарубежных источниках использовали ключевые словосочетания: “deformity of the lower limb axis”, “deformity correction”, “total knee arthroplasty”.

Полные тексты статей были оценены на предмет их пригодности для включения в систематический обзор. Критерием являлось наличие в публикациях таких сведений, как количество и возраст пациентов; срок, прошедший от корригирующей остеотомии до тотального эндопротезирования; тип деформации бедренной и большеберцовой костей; характеристика оперативного вмешательства (тип фиксации после остеотомии, время фиксации, длительность операции, объем кровопотери), результаты лечения. Для оценки отдаленных результатов анализировали сроки, количество и причины развития осложнений, а также процент и сроки потребовавшихся ревизионных вмешательств, выживаемость имплантатов.

Процесс отбора статей для анализа представлен на рисунке 1.

После детального изучения часть полнотекстовых статей была исключена из исследования: в 3 публикациях количество случаев было менее 10 [19, 20, 21], в одной публикации наблюдались пациенты в возрасте менее 18 лет [22], в трех статьях срок наблюдения был менее 12 мес. [23, 24, 25]. В конечном итоге в систематический обзор было включено 12 публикаций (табл. 1).

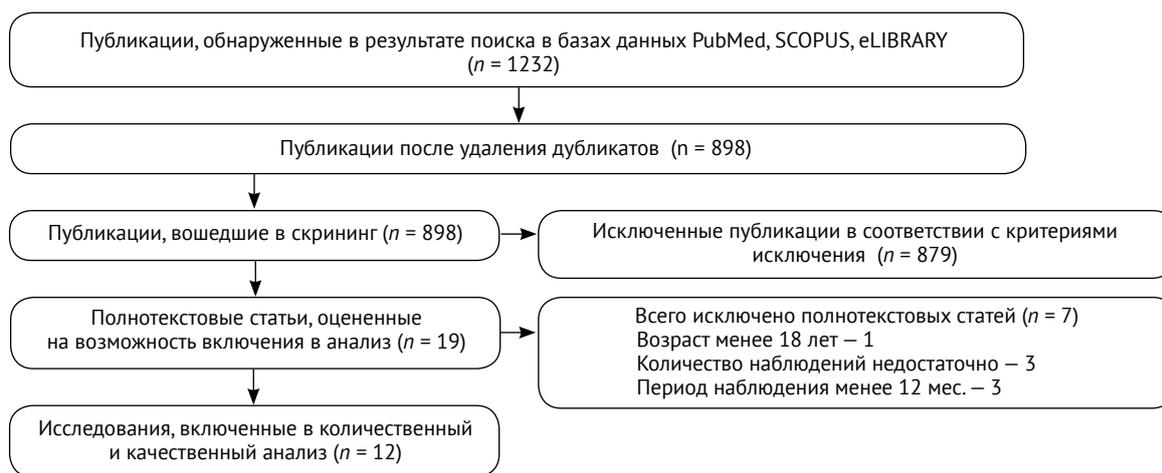


Рис. 1. Блок-схема отбора публикаций

Fig. 1. Flow chart of the study

Таблица 1

Исследования, включенные в систематический анализ

Авторы	Год публикации	Средний возраст пациентов, лет	Количество случаев	Годы исследования	Срок наблюдения, мес.
van Raaij T.M. [26]	2007	60,0	14	1996–2003	44,4
Gaillard R. [27]	2017	66,5	14	–	41,8
Gaasbeek D.A. [28]	2010	48,4	50	2003–2005	12,0
Brouwer R.W. [29]	2006	50,2	92	2001–2004	12,0
Luites J.W.H. [30]	2009	53,0	42	2001–2004	24,0
Бялик В.Е. [31]	2019	57,6	28	2005–2018	102,0
Bae D.K. [32]	2017	68,3	32	1994–2012	74,4
Amendola L. [33]	2010	68,5	24	1994–2005	97,0
El-Galaly A. [34]	2018	62,0	1044	1997–2015	102,0
Niinimäki T. [35]	2014	4,3	1036	1987–2008	80,4
Kosashvili Y. [36]	2011	56,0	22	–	60,0
Chalmers B.P. [37]	2019	51,0	30	2000–2012	120,0

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программы Excel. Критерии Вилкоксона были использованы для сравнения показателей по шкалам ВАШ и KSS.

Результаты

Общее количество наблюдений во всех исследованиях составило 2428: от 14 до 1044. Сроки оперативного лечения пациентов охватили период с 1987 по 2018 г. Срок наблюдения составил в среднем $64,1 \pm 7,4$ мес.: от 12 до 120; Me — 67,2 мес. Средний возраст больных составил $58,8 \pm 1,4$ года: от 48,4 до 68,5; Me — 58,8 лет. Средняя продолжительность операции — $114,2 \pm 3,9$ мин.: от 88 до 136; Me — 120 мин. Средний объем кровопотери — от 329 до 700 мл: в среднем — 484 ± 30 мл; Me — 422 мл. Время фиксации металлоконструкцией, прошедшее от момента остеотомии до удаления, в среднем составило $18,0 \pm 1,8$ мес.: от 12 до 24; Me — 18 мес.

Все вошедшие в исследование публикации мы разделили на две группы.

В I группу вошли 4 публикации, в которых описаны разновидности высокой тибиальной остеотомии (ВТО) при артрозе 2–3 степени, сочетающимся с деформацией коленного сустава. Оперативные вмешательства в данной группе проводились в период с 2001 по 2018 г. Результаты анализа публикаций представлены в таблице 2.

Во II группу вошли 8 публикаций, посвященных эндопротезированию коленного сустава

после различных вариантов корригирующих остеотомий большеберцовой и бедренных костей. Исследования выполнялись с 1987 по 2015 г. (табл. 3).

Таблица 2

Результаты анализа публикаций I группы

Параметр	M ± SD	Me
Возраст, лет	$52,3 \pm 1,7$	51,6
Срок наблюдения, мес.	$37,5 \pm 19,3$	18
Количество случаев, n	212	46
Частота осложнений, %	$5,5 \pm 0,3$	5,5
ВАШ до операции, балл	$6,4 \pm 0,2$	6,3
ВАШ после операции, балл	$2,1 \pm 0,5$	2,0

Таблица 3

Результаты анализа публикаций II группы

Параметр	M ± SD	Me
Возраст, лет	$62,0 \pm 2,1$	63,1
Срок наблюдения, мес.	$77,5 \pm 9,8$	77,4
Количество случаев, n	2216	27
Частота осложнений, %	$2,2 \pm 0,5$	1,0
KSS до операции, балл	$51,9 \pm 4,8$	49,05
KSS после операции, балл	$90,0 \pm 1,4$	91,3

Обсуждение

При проведении анализа публикаций, включенных в исследование, было выявлено, что средний срок, прошедший от остеотомии до эндопротезирования, составил 11,8 лет: минимум — 4,8 лет [26], максимум — 18,8 лет [27] (Me — 12,5 лет).

Эндопротезирование у молодого пациента может иметь неблагоприятные последствия, увеличивая количество асептических расшатываний и, как следствие, ранних ревизионных вмешательств. Десятилетняя выживаемость при протезировании коленного сустава у пациентов в возрасте 55 лет и моложе составила 83% по сравнению с 94% у пациентов старше 70 лет ($p < 0,0001$) [38].

Существует два основных вида изолированной высокой тибиальной остеотомии: закрытоугольная (ЗУ) и открытоугольная (ОУ) [39].

В своем исследовании D.A. Gaasbeek с соавторами сравнили результаты ОУ и ЗУ остеотомий. Были обнаружены незначительные различия между группами. Средний балл по KSS увеличился в группе ОУ с 111,7 до 176,6, в группе ЗУ — с 113,6 до 180,2. Среднее значение ВАШ в группе с ОУ остеотомией снизилось с 6,6 до 2,5, в группе с ЗУ остеотомией — с 6,4 до 1,8. Авторы не сообщают о случаях потери уровня коррекции, значительная часть пациентов была удовлетворена лечением. Однако больше осложнений было замечено в группе с ЗУ ВТО [28]. Такое количество осложнений может быть связано с тем, что при ЗУ ВТО необходимо произвести остеотомию и малоберцовой кости, а также массивную диссекцию мягких тканей, что определяет высокий риск повреждения малоберцового нерва [40, 41]. Другой особенностью ЗУ ВТО является удаление фрагмента костной ткани, что может в дальнейшем создать технические трудности при выполнении тотального эндопротезирования коленного сустава, а при больших углах коррекции сопровождается укорочением конечности [29, 42].

ОУ ВТО является более современным методом, выполняется на медиальной стороне большеберцовой кости, поэтому латеральный кортикальный слой остается интактным. Нет необходимости в остеотомии малоберцовой кости, не теряется костная масса, что создает благоприятные условия для эндопротезирования. Однако после остеотомии и выравнивания оси конечности остается пространство между проксимальным и дистальным фрагментами, что может сопровождаться замедленной консолидацией [30, 42, 43].

В.Е. Бялик с соавторами выполнили ОУ ВТО у 28 пациентов и установили, что через 8,5 лет никто из них не нуждался в тотальном эндопротезировании коленного сустава. Самые лучшие функциональные результаты были получены через год после операции, показатели ВАШ снизились с 71,1

до 9,8. С течением времени показатели ухудшались, и через 8,5 года усиление боли было значимым — 38 баллов [31].

ВТО может применяться в сочетании с артроскопией коленного сустава (абразивная хондропластика и нанесение микропереломов). Так, P. Schuster с соавторами использовали этот метод лечения у 79 пациентов с остеоартрозом коленного сустава III–IV стадии и через 10 лет получили 81,7% хороших результатов [44].

Существует также ВТО с трансплантацией мениска. J.D. Harris с соавторами в метаанализе проанализировали результаты изолированного и комбинированного методов ВТО. При пятилетних наблюдениях комбинированная остеотомия показала лучшие результаты: — 97,7% с артроскопической пластикой и 90,9% — с трансплантацией мениска. Через 5 лет после изолированных остеотомий результаты были также отличными: в группе ОУ — 91,2% и ЗУ — 92,3%. Но к десятому году наблюдения результаты в обеих группах были уже одинаковыми — 84,5% [45].

ВТО, которая может предотвратить замену сустава, является признанным методом лечения остеоартроза, особенно у молодых и активных пациентов. Однако у части пациентов болезнь прогрессирует, и в зависимости от степени остеоартроза, уровня боли и функции сустава эндопротезирование является следующим этапом лечения [32, 46].

L. Amendola с соавторами сравнили результаты лечения 29 пациентов после эндопротезирования с предшествующей ВТО (время, прошедшее от остеотомии до эндопротезирования составило 8,5 лет) и у 29 пациентов, перенесших первичное эндопротезирование коленного сустава со сроком наблюдения 97 мес. При среднесрочном наблюдении между двумя группами значимых различий не было. Показатели по KSS в группе с ВТО выросли с 38,5 до 92,7 баллов, в группе с первичным эндопротезированием — с 35 до 91 балла. В конце исследования в группе с ВТО отличная оценка по KSS (90–100) достигнута в 25 коленных суставах, хорошая в трех (80–89) и плохая — в 1 случае (≤ 70). Аналогичные результаты были получены в группе без предшествующей остеотомии: отличный — в 23 случаях, хороший — в 5 и плохой — в одном случае [33].

Другие авторы сообщают о худших результатах и большом числе осложнений после эндопротезирования с предшествующей ВТО [47, 48]. Плохие результаты могут быть связаны с такими изменениями анатомии, как рубцевание мягких тканей, низкое стояние надколенника, потеря уровня коррекции, снижение костного запаса проксимального отдела большеберцовой кости, наклон большеберцового плато и наличие металлоконструкции [26].

А. El-Galaly с соавторами выполнили анализ выживаемости эндопротеза после предшествующей ВТО и первичного эндопротезирования коленного сустава в более значительных масштабах. Исследование было основано на данных датского регистра эндопротезирования коленного сустава, который проспективно собирал данные о эндопротезировании коленного сустава с момента своего возникновения в 1968 г. и среди прочих данных содержит информацию о жизненном статусе пациентов. Авторы изучили 64804 наблюдения, из них 1044 случая эндопротезирования после предшествующей ВТО. При сравнении результатов выживаемости в трех различных периодах с 1997 по 2015 г. никакой существенной разницы не было. Показания к ревизионному эндопротезированию значимо не различались между группами. Тем не менее нестабильность и износ вкладыша наблюдались чаще (22,5% против 17% и 7,25% против 4% соответственно) в группе пациентов с предшествующей ВТО. Однако асептическое расшатывание компонентов было частым показанием к ревизионному эндопротезированию и чаще наблюдалось в группе с первичным эндопротезированием — 27% против 22,5% в группе с ВТО. Инфекционные осложнения были равномерно распределены между группами: 24% случаев в группе с первичным эндопротезированием и 22% — в группе с ВТО [34].

Аналогичную работу провели Т. Niinimäki с соавторами, основываясь на данных финского регистра эндопротезирования, который начал работу в 1980 г. При исследовании были получены данные о 1036 операциях эндопротезирования коленного сустава с 1987 по 2008 г. после ВТО и 4143 пациентах с первичным эндопротезированием без ВТО, которые были сопоставимы по возрасту и полу. Выживаемость была оценена через 5, 10 и 15 лет — наблюдалась незначительная разница между группами: 95,3%; 91,8% и 88,4% в группе с ВТО и 97,2%; 94,5% и 90,6% в группе с первичным эндопротезированием соответственно. Авторы пришли к выводу, что эндопротезирование после предшествующей ВТО обеспечивает удовлетворительную выживаемость, как и первичное эндопротезирование без предшествующей корригирующей остеотомии [35].

М. Badawy с соавторами, оценивая частоту ревизионных вмешательств у больных после эндопротезирования коленного сустава с предшествующим ВТО и первичным эндопротезированием, не обнаружили статистически значимых различий. Исследование проводили на основе данных норвежского регистра эндопротезирования [49]. В 15-летнем наблюдении М. Badawy с соавторами сравнивали результаты 31077 первичных эндопротезирований и 1399 эндопротезирований

после ВТО. Десятилетняя выживаемость в группе без ВТО составила 93,8%, в группе с ВТО — 92,6%. Ревизионное эндопротезирование проводилось в 1387 (4,4%) случаях в группе с первичным эндопротезированием, 83 (5,9%) операции реэндопротезирования потребовались в группе с ВТО [50].

Кроме ВТО, многие авторы уделяют внимание дистальной бедренной остеотомии (ДБО) как операции, предшествующей тотальному эндопротезированию при начальных стадиях остеоартроза коленного сустава с деформацией оси конечности [36]. В.Р. Chalmers с соавторами проанализировали 31 случай эндопротезирования после ДБО. Выживаемость составила 100%, 100% и 95% через 2, 5 и 10 лет соответственно. Через 7 лет после эндопротезирования у 1 пациента было обнаружено асептическое расшатывание тиббиального компонента эндопротеза. Авторы связывают нестабильность эндопротеза с излишним весом больного — ИМТ составлял 32. За 10 лет не наблюдалось нестабильности бедренного компонента [37].

Ф. Luceri с соавторами выполнили первый систематический обзор, посвященный результатам эндопротезирования коленного сустава после ДБО, для которого отобрали 5 исследований. Для фиксации после остеотомии использовали накостную пластину. Более чем в половине случаев (59,7%) металлоконструкция была удалена во время проведения эндопротезирования. Такой подход является предпочтительным, чтобы избежать излишней травматизации. Сроки от ДБО до эндопротезирования составили от 10 до 15 лет. В общей сложности было изучено 85 пациентов, средняя частота послеоперационных осложнений составила 18,6%. Недостатком этого обзора было то, что во всех публикациях анализировалось небольшое количество пациентов. Тем не менее авторы сделали вывод о том, что предыдущая правильно выполненная остеотомия не влияет на клинические исходы первичного эндопротезирования, результаты которого сопоставимы с результатами эндопротезирования без предшествующей остеотомии [51].

Заключение

Корригирующие остеотомии костей нижних конечностей позволяют перераспределить статико-динамическое напряжение в опорных зонах, замедлить течение дегенеративно-дистрофического процесса, продлить срок естественной функции сустава.

На настоящий момент нет единого мнения о том, влияет ли предшествующая остеотомия на результаты эндопротезирования. В большинстве случаев предшествующая остеотомия не оказывает отрицательного влияния на выживаемость эндопротеза, позволяет отсрочить тотальное эн-

допротезирование, что важно для молодых и активных пациентов. Показатели сопоставимы с результатами первичного эндопротезирования в средне- и долгосрочные периоды наблюдения. Если есть выбор, то предпочтительнее проводить ОУ ВТО в сочетании с артроскопией сустава.

Показания к проведению одно- или многоэтапного хирургического лечения является дискуссионным вопросом и определяются множеством факторов (пол, возраст, уровень функции сустава, тяжесть

деформации и т.д.). Большинство авторов стремятся к проведению одноэтапного лечения. По нашему мнению, при проведении многоэтапного лечения в случаях сочетания выраженного артроза и сложной многоплоскостной деформации необходимо проводить тщательное предоперационное планирование. Если имплантация эндопротеза не позволит добиться его стабильной фиксации и одномоментной коррекции деформации, то методом выбора является многоэтапное лечение.

Дополнительная информация

Заявленный вклад авторов

Жумабеков С.Б. — идея и дизайн исследования, сбор и обработка материала, оценка и интерпретация полученных данных, подготовка текста.

Пронских А.А. — обработка материала, оценка и интерпретация полученных данных, подготовка текста.

Павлов В.В. — обработка материала, оценка и интерпретация полученных данных.

Корыткин А.А. — оценка и интерпретация полученных данных, дизайн исследования.

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

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Не требуется.

Disclaimers

Authors' contributions

Zhumabekov S.B. — idea and design of the study, the collection and processing of material, evaluation and interpretation of the data and the preparation of the text.

Pronskikh A.A. — material processing, evaluation and interpretation of the data and the preparation of the text.

Pavlov V.V. — material processing, evaluation and interpretation of the data and preparation of the text,

Korytkin A.A. — evaluation and interpretation of the data, design of the study.

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

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

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

Литература [References]

1. Алексеева Л.И., Зайцева Е.М. Клинические подходы к лечению остеоартроза. *Русский медицинский журнал*. 2006;14(6):450. Режим доступа: https://www.rmj.ru/articles/obshchie-stati/Klinicheskie_podhody_k_lecheniyu_osteoartroza/.
Alekseeva L.I., Zaitseva E.M. [Clinical approaches to osteoarthritis treatment]. *Russkij medicinskij zhurnal*. [Russian Medical Journal]. 2006;14(6):450. (In Russian). Available from: https://www.rmj.ru/articles/obshchie-stati/Klinicheskie_podhody_k_lecheniyu_osteoartroza/.
2. Cooke T.D., Sled E.A., Scudamore R.A. Frontal plane knee alignment: a call for standardized measurement. *J Rheumatol*. 2007;34(9):1796-1801. doi: 10.1080/03009740600905372.
3. Sharma L. The role of varus and valgus alignment in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2007;56(4):1044-1047. doi: 10.1002/art.22514.
4. Paley D. Principles of deformity correction. New York: Springer Verlag; 2003. p. 61-97.

5. Супрунов К.Н. Биомеханическое обоснование оперативного лечения посттравматических деформаций коленного сустава у детей. *Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова*. 2006;(1):14-19.
Suprunov K.N. [Biomechanical basis of operative treatment of posttraumatic deformations of children's knee-joint]. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald]. 2006;(1):14-19. (In Russian).
6. Brouwer G.M., Van Tol A.W., Bergink A.P., Belo J.N., Bernsen R.M.D., Reijman M. et al. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum*. 2007;56(4):1204-1211. doi: 10.1002/art.22515.
7. Doherty M. Risk factors for progression of knee osteoarthritis. *Lancet*. 2001;358(9284):775-776. doi: 10.1016/S0140-6736(01)06006-8.

8. Thorp L.E., Sumner D.R., Wimmer M.A., Block J.A. Relationship between pain and medial knee joint loading in mild radiographic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2007;57(7):1254-1260. doi: 10.1002/art.22991.
9. Paley D., Kocaoglu M., Erkal F.E. Combined Technique: Correction of Long Bone Deformities Using Fixator-Assisted Nailing. Berlin: Heidelberg Springer; 2015. p. 33-47. doi: 10.1007/978-3-642-55026-3_2.
10. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза. Москва: Бином; 2015. Т. 2, Гл. 8. с. 590-645.
Solomin L.N. *Osnovy chreskostnogo osteosinteza* [Basics transosseous osteosynthesis]. Moscow: Binom; 2015. Vol. 2, Ch. 8. p. 590-645. (In Russian).
11. Thein R., Bronak S., Thein R., Haviv B. Distal femoral osteotomy for valgus arthritic knees. *J Orthop Sci.* 2012;17(6):745-749. doi: 10.1007/s00776-012-0273-1.
12. Kurtz S., Ong K., Lau E., Mowat F., Halpern M. Projections of Primary and Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-785. doi: 10.2106/jbjs.f.00222.
13. Sharkey P.F., Lichstein P.M., Shen C., Tokarski A.T., Parvizi J. Why Are Total Knee Arthroplasties Failing Are Today – Has Anything Changed After 10 Years? *J Arthroplasty.* 2014;29(9):1774-1778. doi: 10.1016/j.arth.2013.07.024.
14. Healy W.L., Della Valle C.J., Iorio R., Berend K.R., Cushman F.D., Dalury D.F. et al. Complications of total knee arthroplasty: standardized list and definitions of the Knee Society. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;471(1):215-220. doi: 10.1007/s11999-012-2489-y.
15. Dalury D.F., Pomeroy D.L., Gorab R.S., Adams M.J. Why are total knee arthroplasties being revised? *J Arthroplasty.* 2013;28(8 Suppl):120-121. doi: 10.1016/j.arth.2013.04.051.
16. Harris J.D., McNeil R., Siston R.A., Flanagan D.C. Survival and clinical outcome of isolated high tibial osteotomy and combined biological knee reconstruction. *Knee.* 2013;20(3):153-161. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.012.
17. Sharma L., Chmiel J.S., Almagor O., Felson D., Guermazi A., Roemer F. The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: the MOST study. *Ann Rheum Dis.* 2013;72(2):235-240. doi: 10.1136/annrheumdis-2011-201070.
18. Зыкин А.А., Тенелин Н.А., Короткин А.А., Герасимов С.А. Новый способ корригирующей остеотомии голени при осевых деформациях нижней конечности. *Новости хирургии.* 2015;23(6):651-657. doi: 10.18484/2305-0047.2015.6.651
Zykin A.A., Tenilin N.A., Korytkin A.A., Gerasimov S.A. [A New Method for Osteotomy of the Tibia for Axial Deformity Correction of the Lower Extremities]. *Novosti Khirurgii* [Surgery News]. 2015;23(6):651-657. (In Russian). doi: 10.18484/2305-0047.2015.6.651.
19. Robinson P.M., Papanna M.C., Somanchi B.V., Khan S.A. High tibial osteotomy in medial compartment osteoarthritis and varus deformity using the Taylor spatial frame: early results. *Strategies Trauma Limb Recon.* 2011;6(3):137-145. doi: 10.1007/s11751-011-0123-2.
20. Тепленький М.П., Буравцов П.П., Бирюкова М.Ю. Лечение деформации костей голени, осложненной нестабильностью коленного сустава. *Гений ортопедии.* 2012;(2):99-101.
Teplen'ky M.P., Buravtsov P.P., Biriukova M.Yu. [Treatment of leg bone deformity complicated by the knee instability]. *Genij ortopedii.* 2012;(2):99-101. (In Russian).
21. Рева М.А., Чергуров О.К., Каминский А.В., Максимов А.Л., Ефимов Д.Н. Применение корригирующей остеотомии костей голени и тотального эндопротезирования коленного сустава в комплексном лечении больных гонартрозом с нарушением биомеханической оси нижней конечности. *Гений ортопедии.* 2012;(3):66-71.
Reva M.A., Chegurov O.K., Kaminsky A.V., Maksimov A.L., Yefimov D.N. [The use of correcting osteotomy of leg bones and total endoprosthesis of the knee in complex treatment of patients with gonarthrosis and the disorder of the lower limb biomechanical axis]. *Genij ortopedii.* 2012;(3):66-71. (In Russian).
22. Меркулов В.Н., Цыкунов М.Б., Дорохин А.И., Дуйсенов Н.Б. Лечение посттравматических деформаций и укорочения конечности у детей и подростков. *Вестник РГМУ.* 2009;(5):25-28.
Merkulov V.N., Tzykunov M.B., Dorokhin A.I., Duysenov N.B. [Treatment of post-traumatic deformations and limb shortenings in children and teenagers]. *Vestnik RGMU* [Bulletin of Russian State Medical University]. 2009;(5):25-28. (In Russian).
23. Тропин В.И., Буравцов П.П., Бирюкова М.Ю., Чертищев А.А., Тропин Д.В. Оперативное лечение пациентов с гонартрозом и варусной деформацией коленного сустава с применением аппарата Илизарова. *Гений ортопедии.* 2016;(1):70-74. doi: <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2016-1-70-74>.
Tropin V.I., Buravtsov P.P., Biriukova M.Iu., Chertishchev A.A., Tropin D.V. [Surgical treatment of patients with gonarthrosis and varus deformity of the knee using the Ilizarov fixator]. *Genij ortopedii.* 2016;(1):70-74. (In Russian). doi: <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2016-1-70-74>.
24. Hankemeier S., Mommensen P., Krettek C., Jagodzinski M., Brand J., Meyer C. et al. Accuracy of high tibial osteotomy: comparison between open- and closed-wedge technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(10):1328-1333. doi: 10.1007/s00167-009-1020-9.
25. Schaefer T.K., Majewski M.M., Hirschmann T., Friederich N.F. Comparison of sagittal and frontal plane alignment after open- and closed-wedge osteotomy: a matched-pair analysis. *J Int Med Res.* 2008;36(5):1085-1093. doi: 10.1177/147323000803600528.
26. van Raaij T.M., Bakker W., Reijman M., Verhaar J.A. The effect of high tibial osteotomy on the results of total knee arthroplasty: a matched case control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2007;8(1):74-79. doi: 10.1186/1471-2474-8-74.
27. Gaillard R., Lording T., Lustig S., Servien E., Neyret Ph. Total knee arthroplasty after varus distal femoral osteotomy vs native knee: similar results in a case control study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(11):3522-3529. doi: 10.1007/s00167-017-4487-9.
28. Gaasbeek R.D., Nicolaas L., Rijnberg W.J., van Loon C.J.M., van Kampen A. Correction accuracy and collateral laxity in open versus closed wedge high tibial osteotomy. A one-year randomised controlled study. *Int Orthop.* 2010;34(2):201-207. doi: 10.1007/s00264-009-0861-7.
29. Brouwer R.W., Bierma-Zeinstra S.M.A., van Raaij T.M., Verhaar J.A.N. Osteotomy for medial compartment arthritis of the knee using a closing wedge or an opening wedge controlled by a Puddu plate A one-year randomised, controlled study. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(11):1454-1459. doi: 10.1302/0301-620X.88B11.

30. Luites J.W.H., Brinkman J.-M., Wymenga A.B., van Heerwaarden R.J. Fixation stability of opening-versus closing-wedge high tibial osteotomy: a randomised clinical trial using radiostereometry. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(11):1459-1465. doi: 10.1302/0301-620X.91B11.22614.
31. Бялик В.Е., Макаров С.А., Алексеева Л.И., Бялик Е.И. Среднесрочные и отдаленные результаты высокой тибиальной остеотомии у больных первичным и вторичным остеоартритом коленного сустава с варусной деформацией. *Современная ревматология.* 2019;13(2):38-46. doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-38-46. Byalik V.E., Makarov S.A., Alekseeva L.I., Byalik E.I. [Medium- and long-term results of high tibial osteotomy in patients with primary and secondary knee osteoarthritis with varus deformity]. *Sovremennaya revmatologiya* [Modern Rheumatology Journal]. 2019;13(2):38-46. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-38-46.
32. Bae D.K., Song S.J., Park C.H., Liang H., Bae J.K. Comparison of mid-term results between conversion total knee arthroplasties following closed wedge high tibial osteotomy and primary total knee arthroplasties: A matched pair study including patellar symptom and position. *J Orthop Sci.* 2017;22(3):495-500. doi: 10.1016/j.jos.2016.12.019.
33. Amendola L., Fosco M., Cenni E., Tigani D. Knee joint arthroplasty after tibial osteotomy. *Int Orthop.* 2010;34(2):289-295. doi: 10.1007/s00264-009-0894-y.
34. El-Galaly A., Nielsen P.T., Jensen S.L., Kappel A. Prior High Tibial Osteotomy Does Not Affect the Survival of Total Knee Arthroplasties: Results From the Danish Knee Arthroplasty Registry. *J Arthroplasty.* 2018;33(7):2131-2135.e1. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.076.
35. Niinimäki T.T., Eskelinen A., Ohtonen P., Puhto A.-P., Mann B.S., Leppilähti J. Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy: A registry-based case-control study of 1,036 knees. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134(1):73-77. doi: 10.1007/s00402-013-1897-0.
36. Kosashvili Y., Gross A.E., Zywił M.G., Safir O., Lakstein D., Backstein D. Total Knee Arthroplasty After Failed Distal Femoral Varus Osteotomy Using Selectively Stemmed Posterior Stabilized Components. *J Arthroplasty.* 2011;26(5):738-743. doi: 10.1016/j.arth.2010.06.008.
37. Chalmers B.P., Limberg A.K., Athey A.G., Perry K.I., Pagnano M.P., Abdel M.P. Total knee arthroplasty after distal femoral osteotomy. *Bone Joint J.* 2019; 101-B(6):660-666. doi: 10.1302/0301-620X.101B6.
38. Rand J.A., Trousdale R.T., Ilstrup D.M., Harmsen W.S. Factors affecting the durability of primary total knee prostheses. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(2):259-265. doi: 10.2106/00004623-200302000-00012.
39. Esenkaya I., Unay K., Akan K. Proximal tibial osteotomies for the medial compartment arthrosis of the knee: a historical journey. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2012;7(1):13-21. doi: 10.1007/s11751-012-0131-x.
40. Agarwala S., Sobti A., Naik S., Chaudhari S. Comparison of closing-wedge and opening-wedge high tibial osteotomies for medial compartment osteoarthritis of knee in Asian population: Mid-term follow-up. *J Clin Orthop Trauma.* 2016;7(4):272-275. doi: 10.1016/j.jcot.2016.06.012.
41. Dorofeev A., Tylla A., Drescher W., Stangl R. [Complication analysis after angle-stable CW and OW high tibial osteotomy]. *Der Orthopade.* 2020;49(1):18-25. [In German]. doi: 10.1007/s00132-019-03724-7.
42. Lobenhoffer P., De Simoni C., Staubli A.E. Open-wedge high-tibial osteotomy with rigid plate fixation. *Tech Knee Surg.* 2002;1(2):93-105. doi: 10.1097/00132588-200212000-00004.
43. Fowler P.J., Tan J.L., Brown G.A. Medial opening wedge high tibial osteotomy: How I do it. *Oper Tech Sports Med.* 2000;8(1):32-38. doi: 10.1016/s1060-1872(00)80022-2.
44. Schuster P., Geßlein M., Schlumberger M., Mayer P., Mayr R., Oremek D. et al. Ten-Year Results of Medial Open-Wedge High Tibial Osteotomy and Chondral Resurfacing in Severe Medial Osteoarthritis and Varus Malalignment. *Am J Sports Med.* 2018;46(6):1362-1370. doi: 10.1177/0363546518758016.
45. Harris J.D., McNeilan R., Siston R.A., Flanigan D.C. Survival and clinical outcome of isolated high tibial osteotomy and combined biological knee reconstruction. *Knee.* 2013;20(3):154-161. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.012.
46. Seo S.-S., Nha K.-W., Kim T.-Y., Shin Y.-S. Survival of total knee arthroplasty after high tibial osteotomy versus primary total knee arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine.* 2019;98(30):e16609. doi: 10.1097/MD.00000000000016609.
47. Madan S., Ranjith R.K., Fiddian N.J. Total knee replacement following high tibial osteotomy. *Bull Hosp Jt Dis.* 2002-2003;61(1-2):5-10.
48. Haslam P., Armstrong M., Geutjens G., Wilton T.J. Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy long-term follow-up of matched groups. *J Arthroplasty.* 2007;22(2):245-250. doi: 10.1016/j.arth.2006.01.031.
49. NAR. The Norwegian Arthroplasty Register. Annual report 2014. Available from: nrlhelse.ihelse.net.
50. Badawy M., Fenstad A.M., Indrekvam K., Havelin L., Furnes O. The risk of revision in total knee arthroplasty is not affected by previous high tibial osteotomy. *Acta Orthop.* 2015;86(6):734-739. doi: 10.3109/17453674.2015.1060402.
51. Luceri F., Tamini J., Ricci D., Batailler C., Lustig S. et al. Total knee arthroplasty after distal femoral osteotomy: a systematic review and current concepts. *SICOT J.* 2020;6:35-41. doi: 10.1051/sicotj/20200033.

Сведения об авторах

✉ Жумабеков Субанбек Бакытович — аспирант
Адрес: Россия, 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 17
<https://orcid.org/0000-0003-1132-3764>
e-mail: Zhumabekov.93@mail.ru

Пронских Александр Андреевич — канд. мед. наук,
научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0003-1197-556x>
e-mail: Proal_88@mail.ru

Павлов Виталий Викторович — д-р мед. наук, главный
научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>
e-mail: pavlovdoc@mail.ru

Корыткин Андрей Александрович — канд. мед. наук,
директор
<https://orcid.org/0000-0001-9231-5891>
e-mail: andrey.korytkin@gmail.com

Authors' information

✉ Subanbek B. Zhumabekov
Address: 17, Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-1132-3764>
e-mail: Zhumabekov.93@mail.ru

Aleksandr A. Pronskikh — Cand. Sci. (Med.)
<https://orcid.org/0000-0003-1197-556x>
e-mail: Proal_88@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

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ МОРОЗОВ К 75-летию со дня рождения

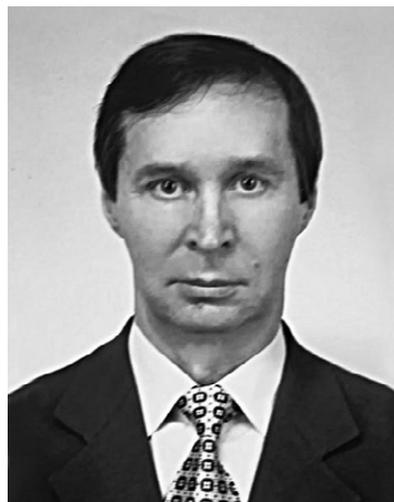
15 февраля 2022 г. исполнилось 75 лет профессору Владимиру Петровичу Морозову, с 1993 по 2009 гг. руководившему кафедрой ортопедии и травматологии Саратовского государственного медицинского университета.

Владимир Петрович родился в Ташкенте 15 февраля 1947 г. в семье кадрового военнослужащего, участника Великой Отечественной войны. В 1965 г. Владимир Петрович окончил среднюю школу и поступил на педиатрический факультет Саратовского медицинского института. По окончании интернатуры в 1973 г. В.П. Морозов работал в практическом звене здравоохранения г. Саратова.

В 1980 г. он начал свою работу на кафедре травматологии и ортопедии, где прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой. Свыше 30 лет Владимир Петрович проработал на кафедре травматологии и ортопедии, пока не покинул ее по состоянию здоровья. С 1980 г. основной научный интерес для В.П. Морозова представляли диафизарные переломы длинных костей конечностей и их лечение с помощью компрессионно-дистракционных аппаратов. К этому времени у него уже были собственные запатентованные конструкции.

В июне 1985 г. В.П. Морозов защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Лечение диафизарных переломов плеча, бедра, голени компрессионно-дистракционным аппаратом», а в мае 1993 г. — докторскую диссертацию «Совершенствование биомеханических условий лечения диафизарных переломов длинных трубчатых костей при чрескостном остеосинтезе».

В 1993 г. Владимир Петрович был назначен заведующим кафедрой, сменив ее основателя и своего учителя — профессора А.Е. Аболину. Кафедра под руководством В.П. Морозова успешно справлялась с большим объемом педагогической, научной и лечебно-консультативной работы. По инициативе профессора В.П. Морозова в 2007 г. был создан совместно с СарНИИТО научно-образовательный центр, с 2009 г. кафедра стала заниматься моделированием травматологических и операционных процессов. С 1 сентября 2009 г. до 30 июня 2014 г. Владимир Петрович работал профессором кафедры травматологии и ортопедии — он был ответственным за научно-исследовательскую работу.



С 2004 по 2010 г. он внедрял в клинику малоинвазивные методы лечения переломов голени, позволяющие сокращать сроки лечения в 1,5–1,8 раза. За последние 5 лет работы в травматологии Морозов В.П. выполнил более 500 операций, большинство из которых проводились по разработанным им новым методикам, имеющим высшую категорию сложности. В этот период Владимир Петрович много сил и знаний вложил в совершенствование методов лечения переломов шейки бедренной кости.

Под его руководством подготовлено и защищено 8 кандидатских диссертаций. Профессор В.П. Морозов являлся членом диссертационного совета Д 208.094.01.

Владимир Петрович — автор 19 патентов на изобретения и полезные модели, 15 рационализаторских предложений. Среди конструкций, разработанных В.П. Морозовым, — аппараты внешней фиксации, в том числе с уникальным репозирующим модулем, компрессирующей спиральной спицей или компрессирующим винтом. Его разработки неоднократно экспонировались на крупнейших выставках как в нашей стране, так и за рубежом. Профессор В.П. Морозов — автор более 260 печатных работ. Владимир Петрович выступал с научными докладами на конференциях, съездах и международных симпозиумах. Он активно занимался общественной деятельностью, многие годы был сопредседателем Саратовского общества ортопедов-травматологов. Многократно награждался почетными грамотами министерств, в 2007 г. был награжден нагрудным знаком «Отличник здравоохранения».

Коллектив кафедры травматологии и ортопедии СГМУ и НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии СГМУ поздравляют Владимира Петровича с юбилеем и желают ему здоровья и всего наилучшего!