

ISSN 0869-8678 (Print)
ISSN 2658-6738 (Online)

В Е С Т Н И К
ТРАВМАТОЛОГИИ
И ОРТОПЕДИИ
ИМЕНИ Н.Н. ПРИОРОВА
2023 том 30 №3

N.N. Priorov Journal
of Traumatology
and Orthopedics
2023 Volume 30 Issue 3

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 76249 от 19 июля 2019 г.

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор Ай-Пи»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Трухина Диана Аршалуйсовна

E-mail: vto@eco-vector.com

Тел.: +7 (967) 153-70-05

АДРЕС РЕДАКЦИИ

127299, г. Москва, ул. Приорова, д. 10

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через интернет:

www.journals.eco-vector.com/

www.pressa-rf.ru

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

Оригинал-макет изготовлен

ООО «Эко-Вектор».

Корректор: С.И. Яли

Верстка: Ф.А. Игнащенко

Обложка: Ф.А. Игнащенко

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».

196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, д. 69.

ISSN 0869-8678 (Print)

ISSN 2658-6738 (Online)

Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова

Том 30 | Выпуск 3 | 2023

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ

МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Назаренко Антон Герасимович — профессор РАН, д-р мед. наук, директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Ветрилэ Марчел Степанович — канд. мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Цыкунов Михаил Борисович — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Крупаткин Александр Ильич — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Алиев М.Б.Д. — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия

Баиндурашвили А.Г. — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Бодрова Р.А. — д-р мед. наук, доцент, КГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Казань, Россия

Буйлова Т.В. — д-р мед. наук, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Виссарионов С.В. — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Голубев И.О. — д-р мед. наук, проф., ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Губин А.В. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Гуща А.О. — д-р мед. наук, ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Дубров В.З. — д-р мед. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Ескин Н.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Загородний Н.В. — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Иванов П.А. — д-р мед. наук, проф., ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Каграманов С.В. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Карпенко В.Ю. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Коновалов Н.А. — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Москва, Россия

Крупаткин А.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Кулешов А.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Лежнев Д.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва, Россия

Мачак Г.А. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Михайлова Л.К. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Морозов А.К. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Мурылев В.Ю. — д-р мед. наук, проф., ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

Мушкин А.Ю. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физиополумонологии» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Назаренко А.Г. — проф. РАН, д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Орleckий А.К. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Очкуренко А.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Попков Д.А. — д-р мед. наук, проф., чл.-корр. Французской Академии медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Родионова С.С. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Рябых С.О. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Салтыкова В.Г. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Москва, Россия

Сергеев Н.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «РНЦРП» Минздрава России, Москва, Россия

Снетков А.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Солод З.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Тихонов Р.М. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Хубутия М.Ш. — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Черкашин А. — д-р мед. наук, Техасский детский госпиталь, Даллас, США

Хосни Г.А. — Университет Бенха, Бенха, Египет

Иванов М. — д-р мед. наук, Образовательные больницы Шеффилда Фонда NHS, Великобритания

Кириенко А. — Клинический институт, Ротцано, Италия

Чаудхари М. — Госпиталь Чодри, Акола, Индия

Миткович М.Б. — проф. Нишский университет, Ниш, Сербия

Мадан С.С. — д-р мед. наук, Детский госпиталь, Шеффилд, Великобритания

Глад В. — д-р мед. наук, Университет здравоохранения Сан-Антонио, Сан-Антонио, США

Кавагути Е. — Университет Тоамы, Япония

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://journals.eco-vector.com/0869-8678/>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».

16+

© ООО «Эко-Вектор Ай-Пи», 2023

ЭКО • ВЕКТОР

FOUNDER:

National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopedics
N.N. Priorov

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky
pereulok, 191186, Saint Petersburg,
Russian Federation

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Executive editor

Diana A. Trukhina

Email: vto@eco-vector.com

Phone: +7 (967) 153-70-05

EDITORIAL OFFICE ADDRESS

10, Priorova str., 127299, Moscow,
Russian Federation

SUBSCRIPTION

For print version:

www.journals.eco-vector.com

INDEXATION

- Russian Science Citation Index
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

TYPESET

complete in Eco-Vector

Proofreader: *S.I. Yali*

Layout editor: *Ph. Ignashchenko*

Cover: *Ph. Ignashchenko*

ISSN 0869-8678 (Print)

ISSN 2658-6738 (Online)

N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics

Volume 30 | Issue 3 | 2023

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Anton G. Nazarenko — professor of the Russian Academy of Sciences, MD, Professor, Head of N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Marchel S. Vetrile — MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Mikhail B. Tsykunov — MD, Professor the Department "Medical Rehabilitation" at N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

EXECUTIVE SECRETARY

Aleksandr I. Krupatkin — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

EDITORIAL BOARD

Aliev M.B.D. — M.D., Professor, academician of the Russian Academy of Sciences, National Medical Research Center for Radiology, Moscow, Russia.

Baindurashvili A.G. — corresponding member of RAS, MD, Professor, Research children's orthopedic institute G.I. Turner, Saint-Petersburg, Russia.

Bodrova R.A. — MD, Professor, KSMA — Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Kazan, Russia.

Buylova T.V. — MD, N.I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University (UNN), Nizhny Novgorod, Russia

Vissarionov S.V. — corresponding member of RAS, MD, Professor, G.I. Turner National Medical Research Center of Pediatric Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia.

Vorotnikov A.A. — MD, Professor, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia.

Golubev I.O. — MD, Professor, RUDN University, Moscow, Russia.

Gubin A.V. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Gushcha A.O. — Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Dubrov V.E. — MD, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Eskin N.A. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Zagorodny N.V. — corresponding member of RAS, Professor, MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Ivanov P.A. — MD, docent, Scientific Research Institute for Emergency Medicine named after N.V. Sklifosovsky of the Moscow City Health Department, Moscow, Russia.

Kagramanov S.V. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Karpenko V.Y. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Konovalov N.A. — MD, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russia.

Krupatkin A.I. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Kuleshov A.A. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Lezhnev D.A. — MD, Professor, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia.

Machak G.N. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Mikhailova L.K. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Morozov A.K. — MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Murylev V.Yu. — MD, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia.

Mushkin A.Yu. — MD, Professor, St. Petersburg National Medical Research Institute for Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia.

Orlitskiy A.K. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Ochkurenko A.A. — MD, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia.

Popkov D.A. — MD, Professor, corresponding member of French Academy of Medicine, G.A. Ilizarov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia.

Rodionova S.S. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Ryabykh S.O. — MD, Professor, G.A. Ilizarov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia.

Saltykova V.G. — MD, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia.

Sergeev N.I. — MD, Professor, Russian Scientific Center of Roentgenradiology (RSCRR), Moscow, Russia.

Snetkov A.I. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Solod E.I. — MD, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia.

Tikhilov R.M. — MD, Professor, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia.

Khubutiy M.S. — MD, Professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Research Institute for Emergency Medicine named after N.V. Sklifosovsky of the Moscow City Health Department, Moscow, Russia.

Cherkashin A. — MD, Texas Scottish Rite Hospital for Children, Dallas, USA.

Hosny G.A. — Benha University, Benha, Egypt.

Ivanov M. — MD, PhD, MSc, FRCS, Sheffield Teaching Hospitals NHS Foundation Trust, Sheffield, United Kingdom.

Kirienco A. — Clinical Institute, Rozzano, Italy.

Chaudhary M. — Chaudhary Trust Hospital, Akola, India.

Mitkovic M.B. — University of Nis, Nis, Serbia.

Madan S.S. — MBBS, FRCS, MCh, MBA, FInstLM, Sheffield Children's Hospital, Sheffield, United Kingdom.

Glad V. — PhD, UT Health San Antonio, San Antonio, USA.

Kawaguchi Y. — Toyama University, Toyama, Japan.

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://journals.eco-vector.com/0869-8678/>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher — the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.К. Орлецкий, Д.О. Тимченко, Н.А. Гордеев, В.А. Жариков, Д.О. Васильев, И.С. Косов

Оперативное лечение посттравматической нестабильности плечевого сустава у спортсменов.
Артроскопическая операция Латарже или свободный костный аутотрансплантат? 271

И.О. Голубев, М.В. Меркулов, В.Д. Кузнецов, О.М. Бушуев, И.А. Кутепов, Г.Г. Балюра

Современные аспекты в лечении внутрисуставных переломов и переломовывихов
проксимальных межфаланговых суставов трёхфаланговых пальцев кисти, а также их последствий 287

И.К. Ерёмин, Е.В. Огарёв, А.А. Данильянц, К.А. Жандаров, Н.В. Загородний

Преимущество переднего доступа при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава
(топографо-анатомическое и компьютерно-томографическое обоснование) 301

А.В. Скребцов, В.К. Никитина, В.Г. Процко, С.К. Тамоев, В.В. Скребцов, Д.С. Якушев

Анализ среднесрочных результатов коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы 315

А.А. Кулешов, А.В. Губин, В.А. Шаров, М.С. Ветрилэ, И.Н. Лисянский, С.Н. Макаров

Скрининговое обследование шейного отдела позвоночника у пациентов с синдромом Дауна 325

И.В. Маркин, К.С. Александров, Н.В. Варламова, П.К. Потапов, Е.А. Журбин,

А.Н. Матыцин, А.В. Ширшин, Е.С. Щелканова

Медицинский симулятор для подготовки рентген-лаборантов:
экспериментальная работа 335

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

Д.А. Большакова, А.А. Карданов, М.Н. Майсигов, А.В. Королёв

Лечение пациентки с хронической каузалгией после хирургического удаления невromы
второго межплюсневового промежутка. 347

ОБЗОРЫ

А.А. Агафонова, А.И. Крупаткин, А.И. Дорохин

Клинико-патогенетическое значение микрососудистого компонента костной ткани. 357

А.С. Золотов, Е.А. Зинькова, В.А. Атоян

Тело Гоффа, болезнь Гоффа, перелом Гоффа: история эпонимов. 367

НЕКРОЛОГ

Академик Российской академии наук Сергей Павлович Миронов (06.08.1948–14.08.2023) 375

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Anatoliy K. Orletskiy, Dmitriy O. Timchenko, Nikolay A. Gordeev, Vladislav A. Zharikov, Dmitriy O. Vasiliev, Igor S. Kosov

Surgical treatment of post-traumatic instability of the shoulder joint in athletes. Arthroscopic Latarjet procedure or free bone autograft? 271

Igor O. Golubev, Maksim V. Merkulov, Vasily D. Kusnetsov, Oleg M. Bushuev, Ilya A. Kutepov, Grigoriy G. Baliura

Modern aspects in the treatment of intra-articular fractures and fractures of the proximal interphalangeal joints of the three-phalangeal fingers of the hand, as well as their consequences. 287

Ivan K. Eremin, Egor V. Ogarev, Armen A. Daniliyants, Kirill A. Zhandarov, Nikolai V. Zagorodniy

Advantage of the anterior approach in total hip arthroplasty (topographic-anatomical and computed tomography substantiation). 301

Alexander V. Skrebtsov, Victoria K. Nikitina, Victor G. Protsko, Sargon K. Tamoev, Vladimir V. Skrebtsov, Denis S. Yakushev

Analysis of medium-term outcomes after surgical correction hallux valgus deformity 315

Alexander A. Kuleshov, Alexander V. Gubin, Vladislav A. Sharov, Marchel S. Vetrile, Igor N. Lisyansky, Sergey N. Makarov

Screening examination of the cervical spine in patients with Down syndrome 325

Ilya V. Markin, Konstantin S. Alexandrov, Natalya V. Varlamova, Petr K. Potapov, Evgeniy A. Zhurbin, Anton N. Matytsin, Alexandr V. Shirshin, Elena S. Shchelkanova

Medical simulator for the training of radiologists: experimental work. 335

CLINICAL CASE

Daria A. Bolshakova, Andrey A. Kardanov, Musa N. Maysigov, Andrey V. Korolev

Treatment of a patient with chronic causalgia after surgical removal of the neuroma in the second interdigital space 347

REVIEWS

Anastasia A. Agafonova, Alexandr I. Krupatkin, Alexandr I. Dorokhin

Clinical and pathogenetic significance of the microvascular component of bone tissue 357

Aleksandr S. Zolotov, Ekaterina A. Zinkova, Varsik A. Atoian

Hoffa's fat pad, Hoffa's disease, Hoffa's fracture: the history of eponyms 367

OBITUARY

Sergey Pavlovich Mironov, Academician of the Russian Academy of Sciences (06.08.1948–14.08.2023) 375

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321282>

Оперативное лечение посттравматической нестабильности плечевого сустава у спортсменов. Артроскопическая операция Латарже или свободный костный аутотрансплантат?

А.К. Орлецкий, Д.О. Тимченко, Н.А. Гордеев, В.А. Жариков, Д.О. Васильев, И.С. Косов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Оперативное лечение посттравматической нестабильности плечевого сустава подразумевает использование различных хирургических техник: операции Латарже, Банкарта, а также применение свободного костного ауто-трансплантата. У каждого из предложенных методов есть свои преимущества и недостатки, вследствие чего в последние 10 лет развиваются методики пластики суставной поверхности лопатки.

Цель. Комплексная оценка результатов биомеханических исследований плечевого сустава в послеоперационном периоде после артроскопической операции Латарже и артроскопической стабилизации с использованием свободного костного трансплантата у профессиональных спортсменов.

Материалы и методы. За период с 2017 по 2022 год в Клинике спортивной, балетной и цирковой травмы им. З.С. Мироновой (ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова») было выполнено 27 артроскопических операций у пациентов с посттравматической нестабильностью плечевого сустава.

Результаты. По результатам сравнительного исследования биомеханики плечевого сустава в послеоперационном периоде у 27 спортсменов, проведенного нами в научном отделе медицинской реабилитации НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова под руководством И.С. Косова, было выявлено, что применение артроскопической операции Латарже снижает силовые характеристики плечевого сустава, а также нарушает проприоцептивную чувствительность и, как следствие, тонкую координацию движений.

Заключение. Выбор методики хирургического лечения посттравматической нестабильности плечевого сустава у спортсменов зависит от специфики спорта. Применение свободного костного блока позволяет сохранить тонкие координированные движения, что важно в гимнастике, синхронном плавании и т.д., также свободный ауто-трансплантат не снижает силовые характеристики после операции. Операцию Латарже можно использовать при командных видах спорта (баскетбол, волейбол и т.д.) без потери спортивного результата.

Ключевые слова: посттравматическая нестабильность; артроскопия плеча; операция Латарже; свободный костный блок.

Как цитировать:

Орлецкий А.К., Тимченко Д.О., Гордеев Н.А., Жариков В.А., Васильев Д.О., Косов И.С. Оперативное лечение посттравматической нестабильности плечевого сустава у спортсменов. Артроскопическая операция Латарже или свободный костный аутотрансплантат? // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 271–285. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321282>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321282>

Surgical treatment of post-traumatic instability of the shoulder joint in athletes. Arthroscopic Latarjet procedure or free bone autograft?

Anatoliy K. Orletskiy, Dmitriy O. Timchenko, Nikolay A. Gordeev, Vladislav A. Zharikov, Dmitriy O. Vasiliev, Igor S. Kosov

Priorov National Medical Research Center, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Surgical therapy for post-traumatic shoulder includes a variety of procedures, such as the Latarjet operation, Bankart, and the use of free bone autograft. Each of the offered approaches has advantages and disadvantages. As a result, techniques for plastic surgery of the articular surface of the scapula have been developed in the last 10 yr.

OBJECTIVE: To comprehensively evaluate the outcomes of biomechanical studies of the shoulder joint in the postoperative period after arthroscopic Latarjet operation and arthroscopic stabilization using a free bone graft in professional athletes.

MATERIALS AND METHODS: From 2017 to 2022, the Clinic for Sports, Ballet, and Circus Trauma, named after Z.S. Mironova (N.N. Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics), performed 27 arthroscopic procedures on patients with post-traumatic shoulder joint instability.

RESULT: According to the results of a comparative study of the biomechanics of the shoulder joint in the postoperative period in 27 athletes, conducted by us in the scientific department of medical rehabilitation of the N.N. Priorov, under the guidance of I.S. Kosov, it was revealed that the use of arthroscopic Latarjet operation reduces the strength characteristics of the shoulder joint and violates proprioceptive sensitivity, resulting in fine coordination of movements.

CONCLUSIONS: The surgical treatment of post-traumatic shoulder joint instability in athletes is determined by the sport. A free bone block allows you to maintain fine coordinated movements, which is vital in gymnastics, synchronized swimming, and other sports, and a free autograft does not reduce strength characteristics after surgery. The Latarjet operation can be used in team sports (basketball and volleyball) without affecting the outcome of the game.

Keywords: post-traumatic instability; shoulder arthroscopy; Latarjet operation; free bone block.

To cite this article:

Orletskiy AK, Timchenko DO, Gordeev NA, Zharikov VA, Vasiliev DO, Kosov IS. Surgical treatment of post-traumatic instability of the shoulder joint in athletes. Arthroscopic Latarjet procedure or free bone autograft? *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):271–285. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321282>

INTRODUCTION

According to Waterman et al. (2016), shoulder instability occurs in up to 24 per 1000 athletes and is an urgent problem at the present stage. The shoulder joint has the greatest functional significance in the following high-performance sports [1–3]:

- Contact sports: wrestling, sambo, boxing, and mixed martial arts
- Team disciplines: basketball, volleyball, and handball
- Gymnastics (both sports and artistic)
- Track and field athletics: hammer, javelin, discus, and shot put

To date, many surgical techniques have been proposed for the treatment of posttraumatic shoulder instability. Each treatment method has its advantages and disadvantages. The most common surgical techniques at the present stage are as follows [4–6]:

- Bankart arthroscopic soft tissue surgery
- Latarjet–Bristow open surgery
- Latarjet–Bristow arthroscopic surgery
- Open surgery using a free bone autograft
- Arthroscopic stabilization using a bone autograft

Posttraumatic instability of the shoulder joint with bone mass loss of the scapula articular socket is considered the most difficult in terms of prognosis and treatment results. As a result, operative techniques of glenoid bone grafting have actively developed in the last decade [7–9].

This study **aimed** to comprehensively evaluate the results of the biomechanical studies of the shoulder joint in the postoperative period following arthroscopic Latarjet surgery and arthroscopic stabilization using free bone autograft in professional athletes.

MATERIALS AND METHODS

Study design

A descriptive observational study was conducted.

Inclusion criteria

The study included professional and amateur athletes with a scapular articular surface bone mass deficit of more than 20%, recurrent shoulder instability, and bone mass loss of the humeral head of more than 3×3 cm.

Terms and conditions of the event

The study was conducted at the biomechanics laboratory of the Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics.

Duration of the study

The study was conducted from 2017 to 2022.

Description of the medical intervention

Patients with posttraumatic shoulder instability underwent Latarjet arthroscopic surgery and arthroscopic stabilization of the shoulder joint using free bone autograft.

Ethics Committee

The study was approved by the local ethics committee on December 26, 2022 (Protocol #1).

RESULTS

Study participants

The study included professional and amateur athletes with posttraumatic shoulder instability accompanied by ≥20% bone mass loss of the scapular socket, and participants were divided into two groups according to the type of surgical intervention performed [10–14]:

- Latarjet arthroscopic surgery
- Arthroscopic stabilization using a free bone autograft

From 2017 to 2022, 27 arthroscopic surgeries were performed on patients with posttraumatic shoulder instability at the Z.S. Mironova Clinic of Sports, Ballet and Circus Trauma (Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics). Latarjet arthroscopic surgery was performed in 19 (70.4%) patients. In 8 (29.6%) patients, patients underwent arthroscopic stabilization using bone autograft. The mean age of the patients was 29.4 ± 1.4 years, and there were 23 (86.9%) male and 4 (13.1%) female participants. The predominant were power sports, namely, judo ($n = 12$, 46.1%), sambo and mixed martial arts ($n = 9$, 33.3%), and rhythmic gymnastics, basketball, and javelin throwing ($n = 6$, 22.2%) [2, 3, 15, 16].

To date, according to Known et al., surgical treatment is indicated for all patients of active age with posttraumatic pathologies of the shoulder joint in the absence of contraindications [5, 17–20].

Arthroscopic stabilization using a free bone graft is one of the possible treatment options for patients with posttraumatic shoulder instability [21–24]. This technique involves the collection of an autograft from the iliac crest and its transposition into the anterolateral aspect of the articular surface of the scapula to fill the bone defect [5, 25, 26].

The dynamic observation and examination of our patients in the biomechanics laboratory at the Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics within 1.5 years following the surgical intervention revealed the following differences in the functional indices of the shoulder joint in those who underwent arthroscopic Latarjet surgery:

- Longer recovery time during the pretraining period
- Complaints of loss of athletic performance skills, i.e., muscle strength, endurance, and reaction speed (as measured by the visual analog pain scale, USES, and UCLA scale).

Shoulder biomechanics

The “hanging” shoulder joint is stabilized by passive (capsuloligamentous apparatus) and active (periarticular muscles) stabilizers. A special distinguishing feature is the need to compensate for the gravitational component [27–30].

Biokinematic chain “scapula–shoulder–forearm”

Moments of force:

- Anti-gravity
- Driving
- Internal rotation torque

In this biokinetic chain, the biceps brachii forms a force vector directed from the attachment site of the common tendon on the tuberosity of the radius to the attachment site of the short-head tendon on the clavicular process of the scapula [16, 31, 32].

In this case, the resultant forces acting from bottom to top and from outside to inside are responsible for the antigravity, driving, and torque intra-rotational moments (Fig. 1).

Receptor function of joint stabilizer muscles

The activity of the joint stabilizer muscles is regulated reflexively (Fig. 2):

- Tendon Golgi organs (receptors of the muscle tension regulation system)
- Muscle spindles (receptors of the muscle length regulation system)

The activity of the joint stabilizer muscles is regulated reflexively. The normal anatomical position of the muscle attachment points is one of the components of the normal physiological system of the biocontrol of the tonic activity of stabilizer muscles [19, 20].

Intact muscle fixation points provide physiologic length

The operative convergence of the muscle fixation points (during the transposition of the short head of the biceps in Latarjet surgery) may contribute to impaired reflex reactions and imbalance in active–dynamic stabilization of the shoulder joint, which negatively affects the recovery of sports performance (Fig. 3).

Humeral hardware test

To qualitatively and quantitatively assess the kinesiological profile of shoulder dislocation, the original humeral instrumentation test was used (Figure 4). The stages of patient testing were as follows:

- Goniogram of the m. deltoideus in the lead
- Spectrogram of the m. trapezius
- Spectrogram of the m. deltoideus
- Spectrogram of the m. biceps
- Electromyogram of the m. deltoideus

A pocket EMG device uses digital goniometers to estimate the angles of withdrawal and record the voluntary bioelectrical activity of the deltoid, trapezius, and biceps muscles of the shoulder joint in concentric (withdrawal), isometric (retention), and eccentric (adduction) phases (Figs. 5–11).

Electromyography evaluation included the following:

- Shape and amplitude of the signal
- Digital spectral analysis of recordings, i.e., determination of the functional type of the muscles

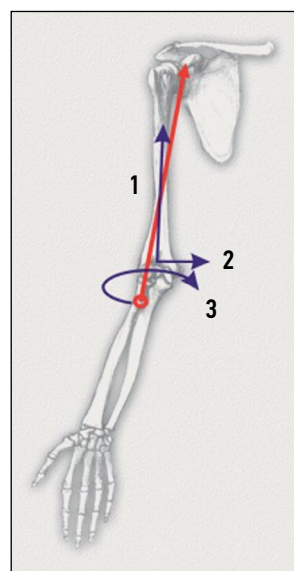


Fig. 1. Biokinematic chain “scapula–shoulder–forearm”.

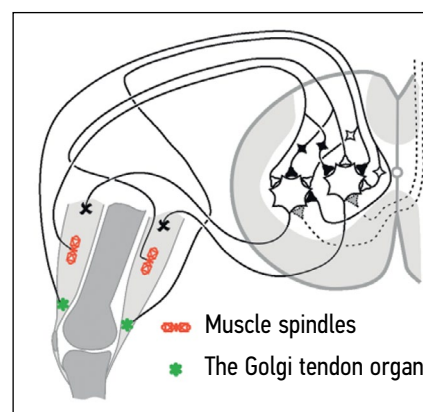


Fig. 2. The activity of joint stabilizing muscles is regulated reflexively.

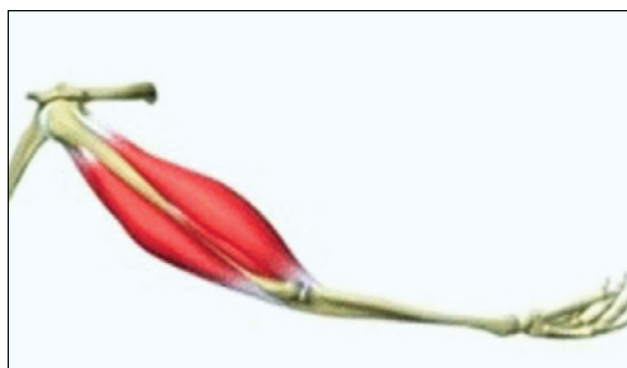


Fig. 3. Intact points of muscle fixation, ensuring its physiological length.

under study (slow and fast functional fibers) and their characteristics (Figs. 8 and 9).

After a comprehensive analysis of the kinesiological profile of the operated upper limb, the results were compared with those of the contralateral limb.

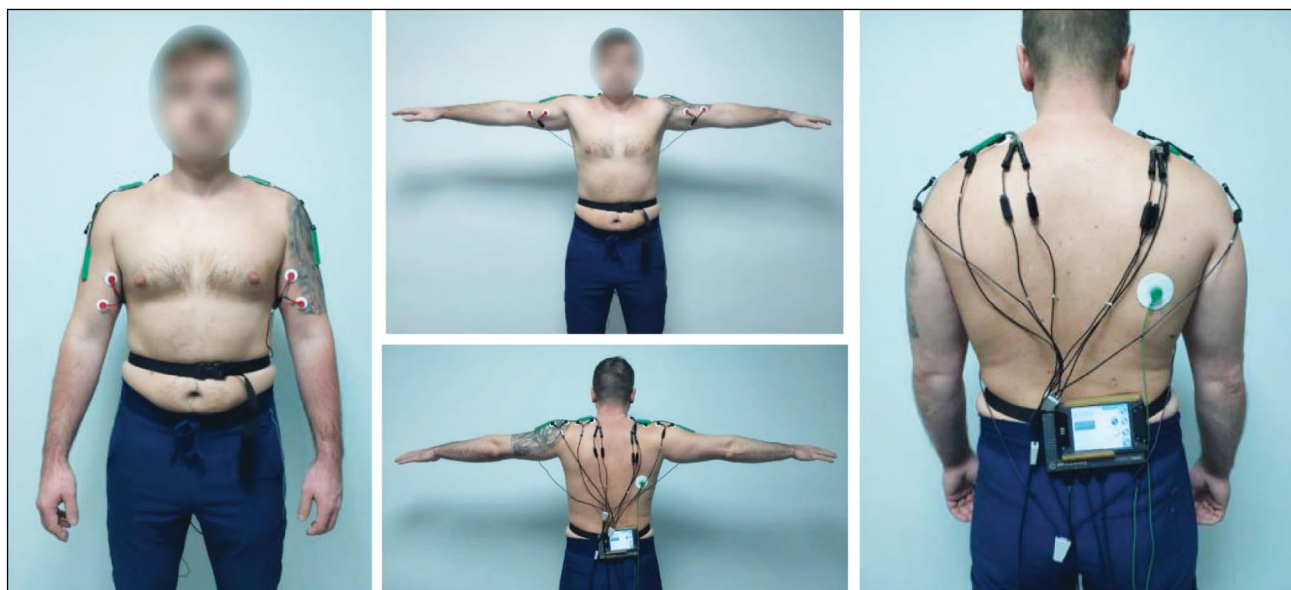


Fig. 4. Demonstration of scapulohumeral testing using the device.

Main results of the study

The results of the comparative study of the postoperative biomechanics of the shoulder joint in 27 athletes, which was conducted in the Scientific Department of Medical Rehabilitation at the Priorov Central Institute for Trauma

and Orthopedics under the direction of Kosov, were as follows:

- In patients who underwent arthroscopic Latarjet surgery, the strength characteristics of the operated limb decreased by 14.9% because of the severing

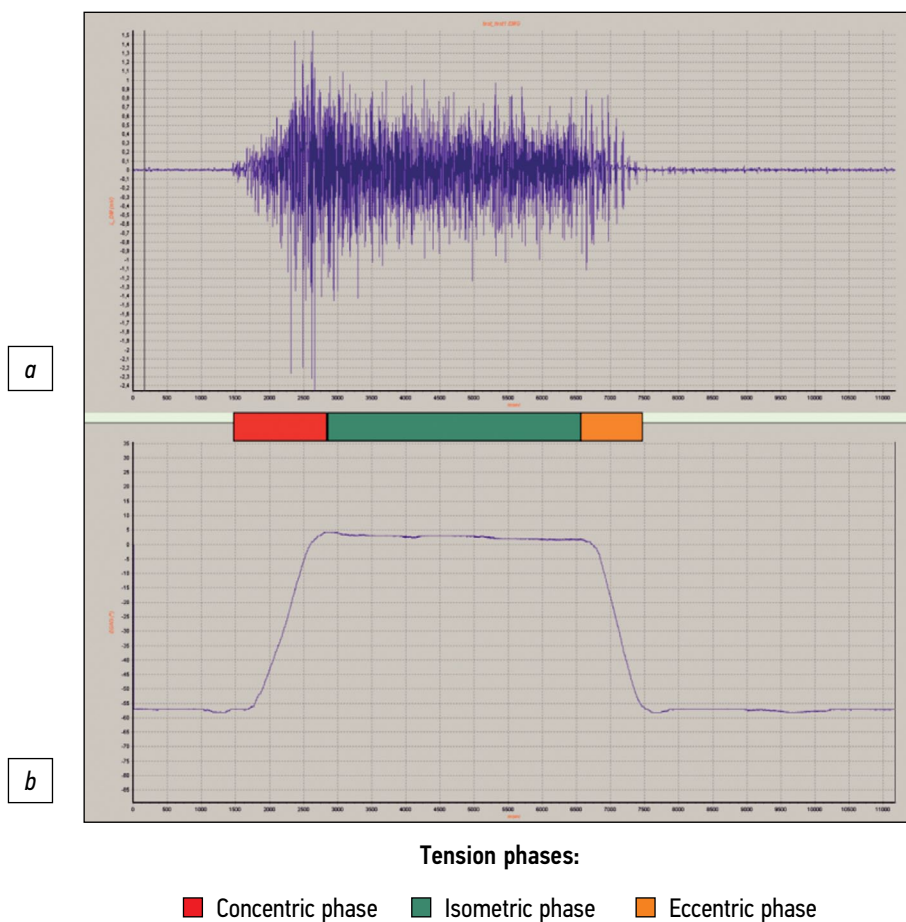


Fig. 5. An example of a protocol for processing the obtained data: *a* — electromyography of m. deltoideus, *b* — goniogram (lead).

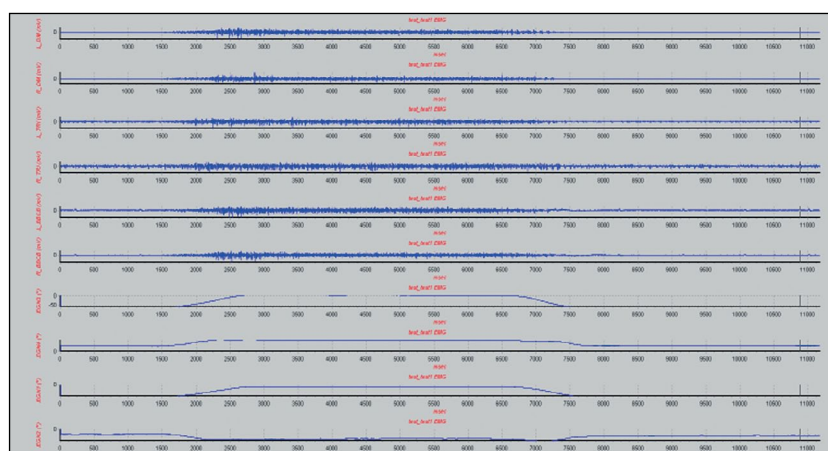


Fig. 6. Example of a protocol for processing received data.

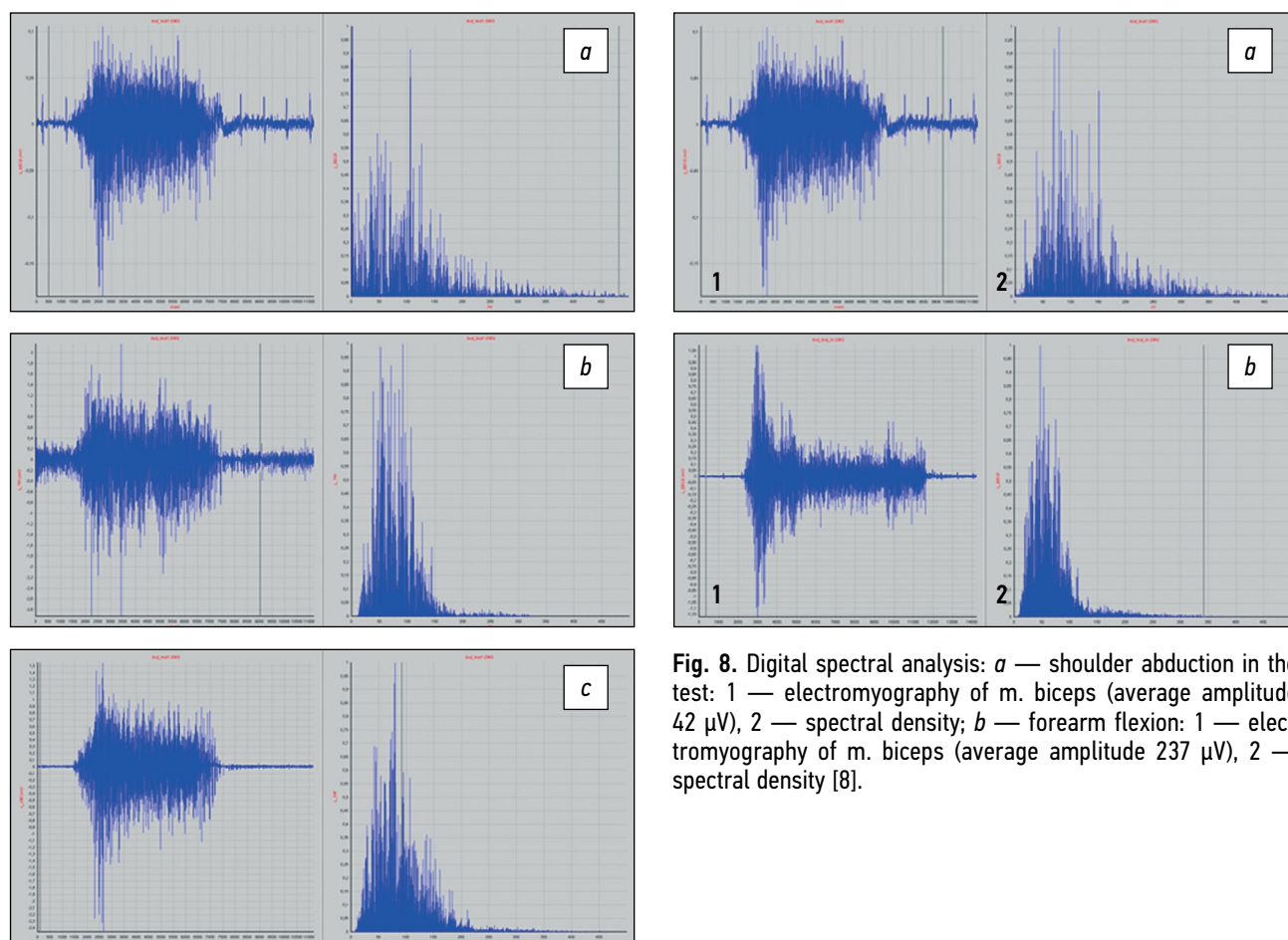


Fig. 8. Digital spectral analysis: *a* — shoulder abduction in the test: 1 — electromyography of *m. biceps* (average amplitude 42 μ V), 2 — spectral density; *b* — forearm flexion: 1 — electromyography of *m. biceps* (average amplitude 237 μ V), 2 — spectral density [8].

Fig. 7. Shoulder test, normal indicators: *a* — spectrogram of *m. deltoideus*, *b* — spectrogram of *m. trapezius*, *c* — spectrogram of *m. biceps* [11, 21, 22].

- of the beak-like process of the scapula, which led to a decrease in athletic performance (weightlifters, athletes engaged in martial arts, boxing, etc.).
- The proprioceptive function of the shoulder joint decreased by 18.7%, which caused impairments in the fine coordination of movements, which is extremely important in sports such as rhythmic gymnastics, figure skating, and ballet.

- Arthroscopic stabilization using a free bone block did not affect shoulder proprioception; however, postoperatively, it preserves fine muscle coordination, which is very important in gymnastics, figure skating, ballet, etc.
- Free bone block surgery is more sparing than Latarjet surgery because the tendons of the short head of the *m. biceps*, *m. subscapularis*, and *m. teres minor*

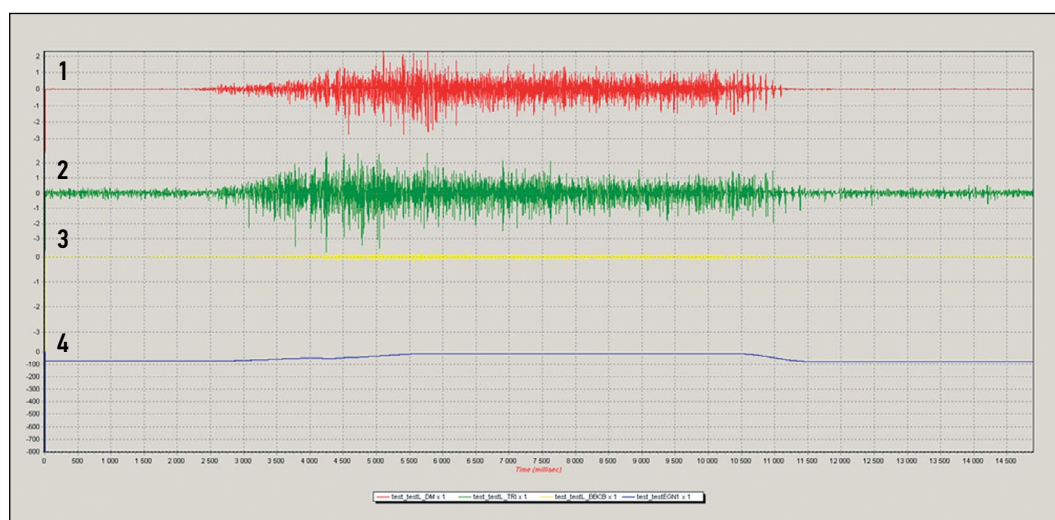


Fig. 9. 1 — electromyography of m. deltoideus (529 μ V), 2 — electromyography of m. trapezius (481 μ V), 3 — electromyography of m. biceps (42 μ V), 4 — goniogram [9].

remain intact, which leads to a reduction in functional recovery by 3–4 weeks.

Clinical case study 1

Patient D (30 years old) was diagnosed with recurrent instability of the left shoulder joint (Master of Sports, International Sambo Class). In 2022, arthroscopic Latarjet surgery of the left shoulder joint was performed (Fig. 10).

Preoperative computed tomography and radiography were performed 6 months after the intervention. A study was also performed 7 months after the surgical treatment. The results of the clinical evaluation were good, no recurrences occurred, and the external shoulder rotation was slightly limited (Fig. 11).

In this patient, the spectral power of the left operated arm was reduced, which was most pronounced in the isometric phase (holding) (Fig. 12).

Maximum changes, such as spectrum narrowing, were also observed on the left side in the isometric phase. In the concentric and eccentric phases, slight differences from the right side were noted (Fig. 13).

Changes in the spectral power of the biceps on the affected side indicated its greater involvement in the motor pattern of shoulder extension and increased motor activity than on the opposite side (Fig. 14). The goniometric data indicated a failure of the isometric phase of the platysma by 10°. Interestingly, at the beginning of the eccentric phase, the angle of withdrawal increased by 5°. The aforementioned changes were attributed to the deficit of proprioceptive sensitivity and impairment of the biocontrol system of muscle activity.

Clinical case study 2

Patient N (27 years old) was diagnosed with recurrent instability of the left shoulder joint (honored master of sports in artistic gymnastics). In 2022, the patient underwent arthroscopic stabilization using a free bone autograft of the right humerus (Fig. 15).

The position of the bone autograft and results of the muscle functional status test performed 6 months after surgery to assess spectral power in the left arm are presented in Figs. 16–18.

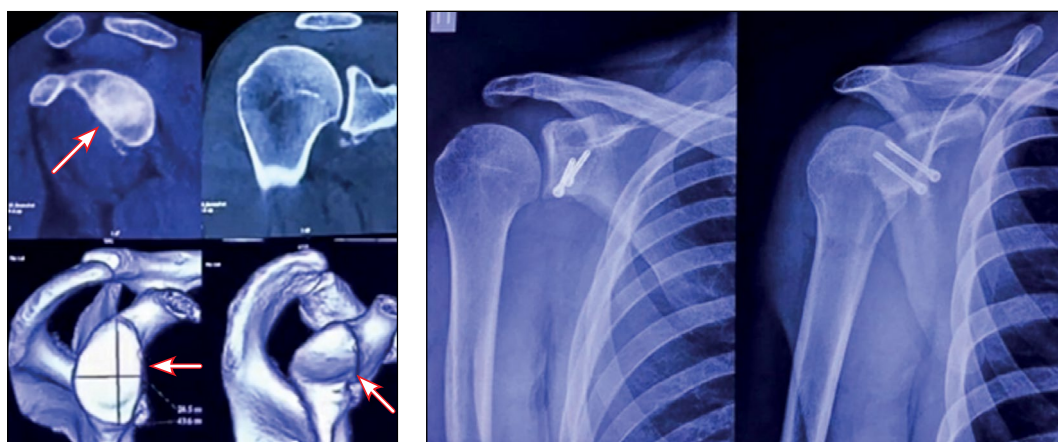


Fig. 10. Bone defect of the glenoid on preoperative computed tomography, control radiography 6 months after surgery.

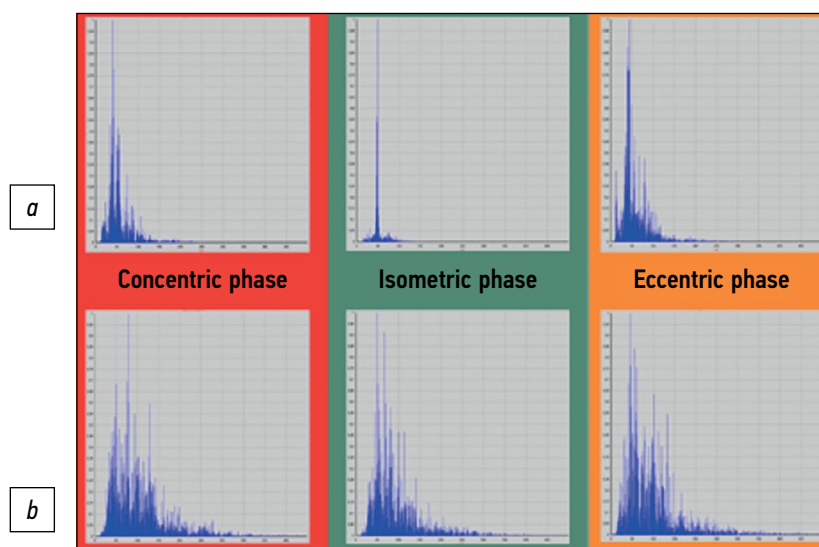


Fig. 11. Spectrograms of m. deltoideus: *a* — left hand, *b* — right hand.

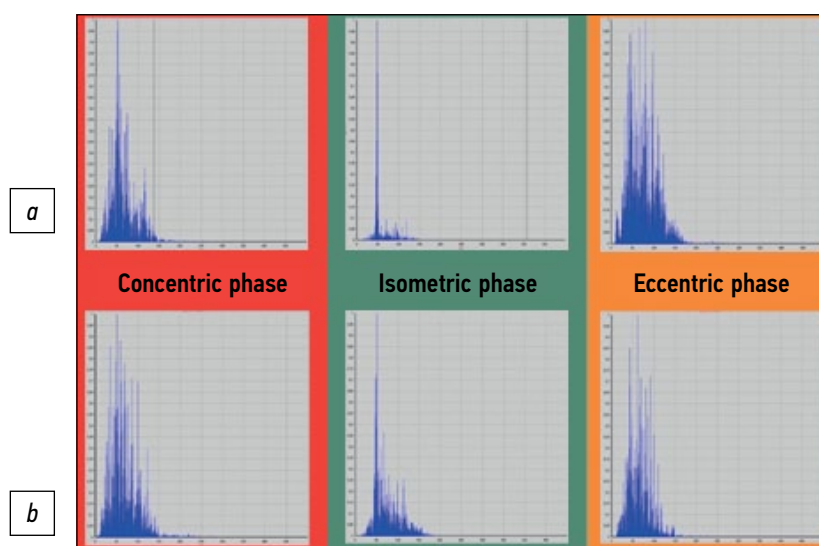


Fig. 12. Spectrograms of m. trapezius: *a* — left hand, *b* — right hand.

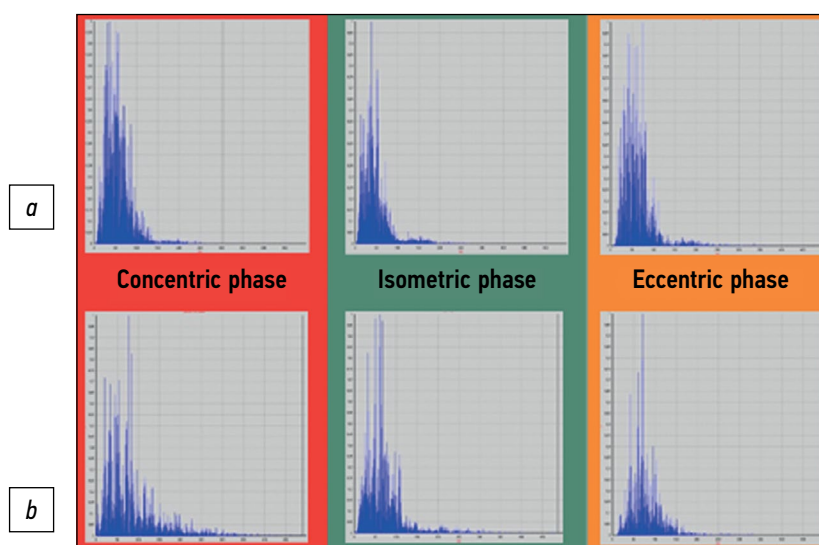


Fig. 13. Spectrograms of m. biceps: *a* — left hand, *b* — right hand.

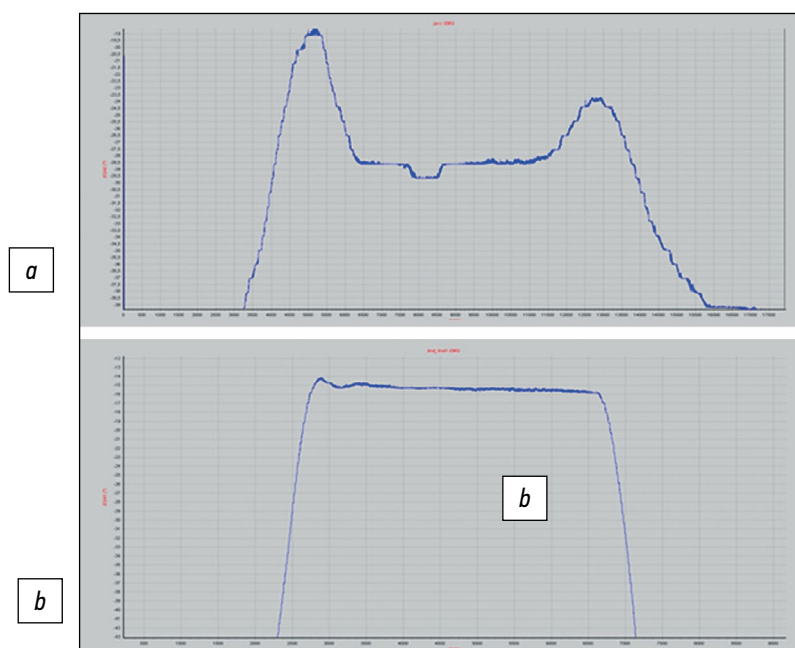


Fig. 14. Goniograms: *a* — left hand, *b* — right hand.

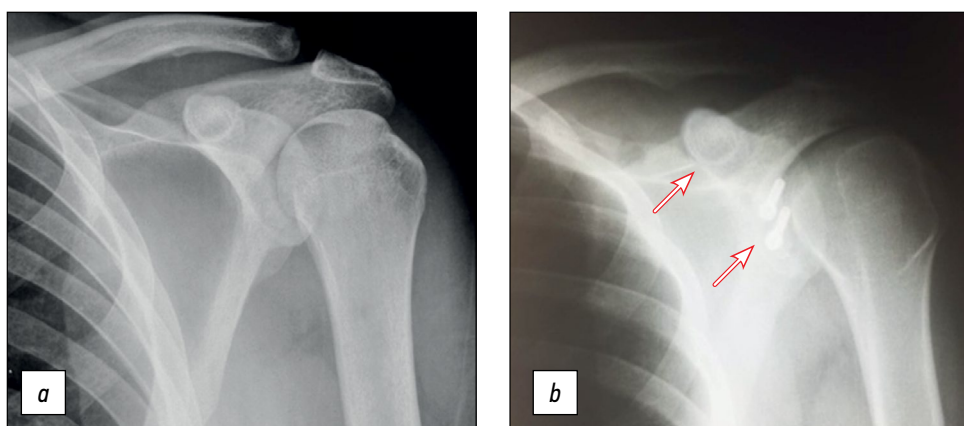


Fig. 15. X-ray of the right shoulder joint: *a* — before surgery, *b* — 6 months after it.

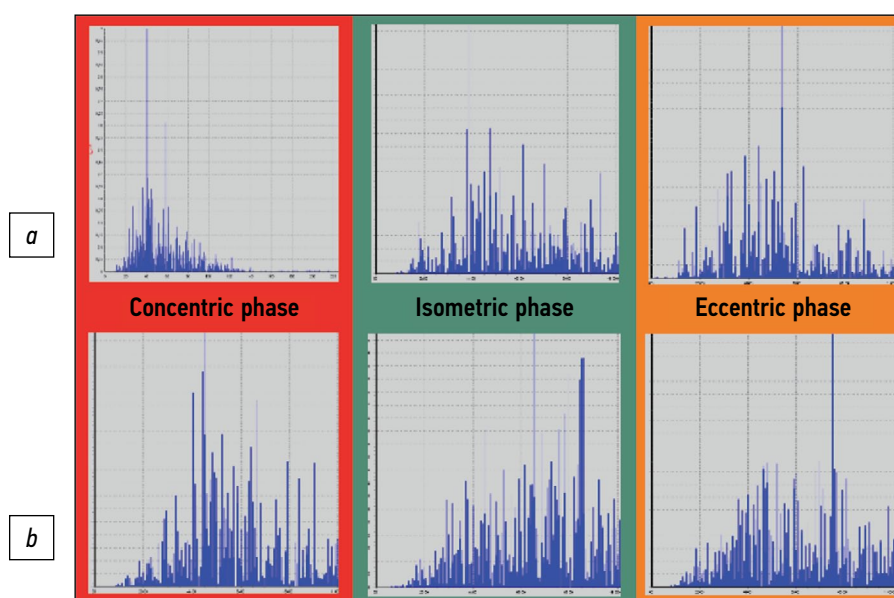


Fig. 16. Spectrograms of *m. deltoideus*: *a* — left hand, *b* — right hand.

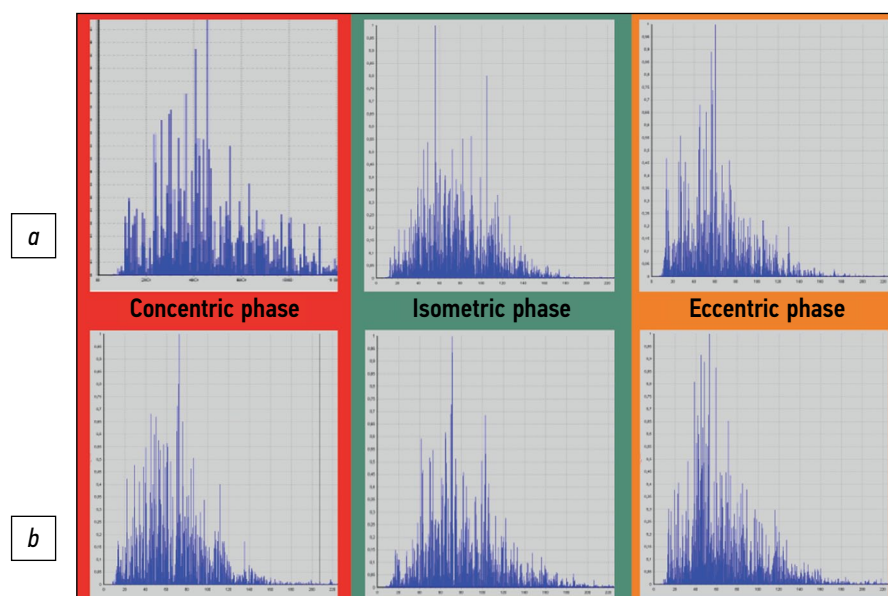


Fig. 17. Spectrograms of m. trapezius: *a* — left hand, *b* — right hand.

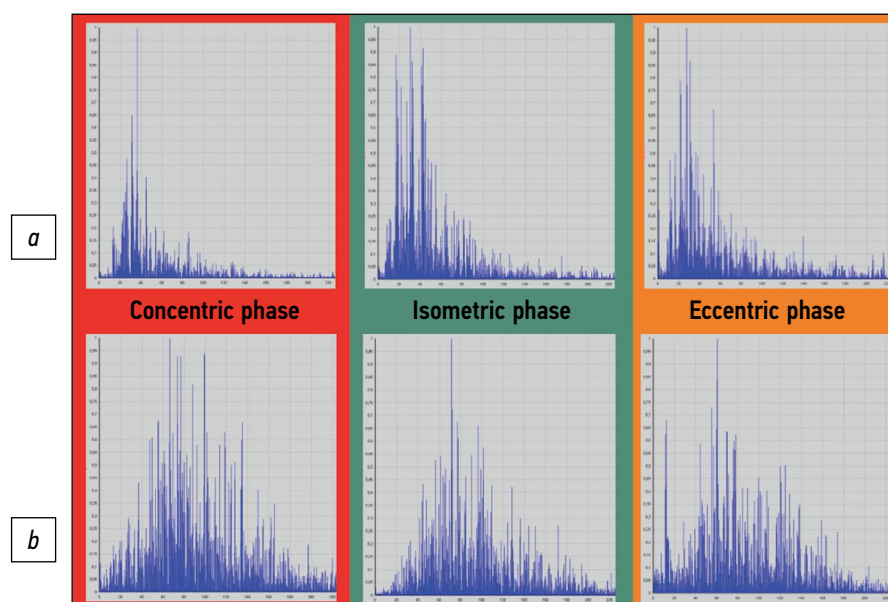


Fig. 18. Spectrograms of m. biceps: *a* — left hand, *b* — right hand.

Regarding the results of the examinations performed 6 months after surgery on the m. deltoideus, the goniometry data indicated adequate positional retention of the shoulder joint in the isometric phase and proprioceptive control (Fig. 19).

DISCUSSION

The results of the comparative analysis of the qualitative and quantitative kinesiological profiles of the shoulder joint in professionals and amateur athletes revealed that the specifics of sports should be considered when using different variants of arthroscopic stabilization. A free graft should be used in the stabilization of the shoulder joint of patients

who need preservation of fine coordination of movements (gymnastics, ballet, figure skating, etc.) and those engaged in power sports (boxing, sambo, and wrestling), where a decrease in muscle strength indices will negatively affect the results during competitions. Team sports with the playing position of the upper limb above the head allow for Latarjet arthroscopic surgery without significant loss of athletic performance postoperatively.

CONCLUSION

Stabilization using a free bone block allows graft harvesting considering the bony defect of the articular surface of the scapula. A free bone block has fewer

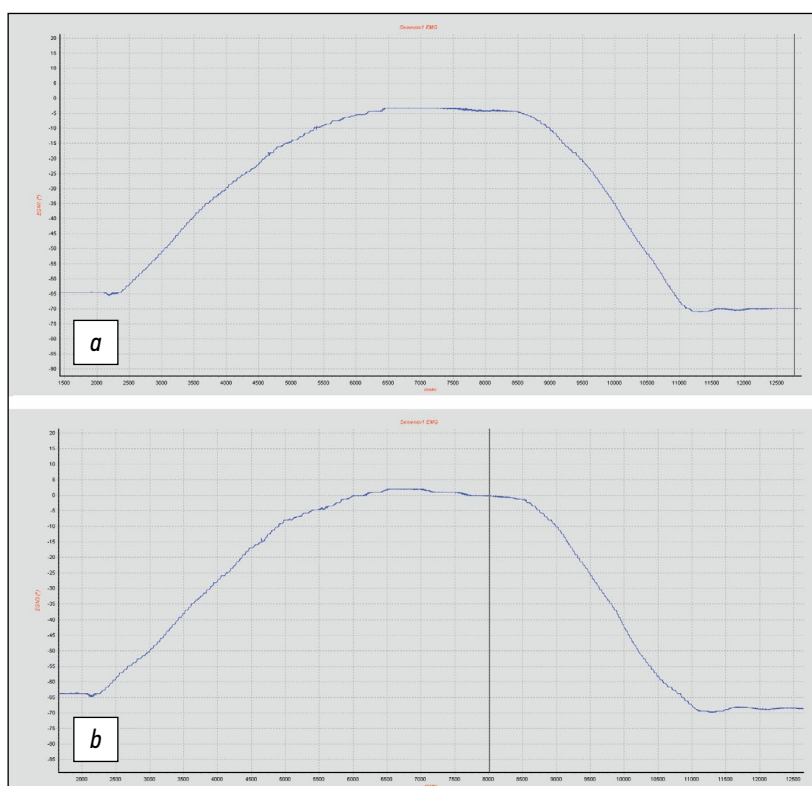


Fig. 19. Goniograms, plateau: *a* — left hand, *b* — right hand.

effects on the biokinematic aspects and proprioception of the shoulder joint, which does not affect the fine motor skills of the upper limb. In high-performance sports, a free graft is recommended for athletes of rhythmic and artistic gymnastics and synchronized swimming, which require finely coordinated movements of the upper limb for performing sports elements. Arthroscopic stabilization with a free bone block is also used in revision interventions following Latarjet surgery.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

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

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

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронова З.С., Меркулова Р.И., Богущкая Е.В., Баднин И.А. Перенапряжение опорно-двигательного аппарата у спортсменов. Москва: Физкультура и спорт, 1982. 96 с.
2. Крылов С.В., Пасечник И.Н., Орлецкий А.К., Тимченко Д.О. Современное состояние проблемы обеспечения безопасности пациента в положении шезлонга при артроскопических операциях на плечевом суставе // Кремли́вская медицина. 2021. № 2. С. 43–49.
3. Орлецкий А.К., Тимченко Д.О., Гордеев Н.А., Жари́ков В.А., Козлова Е.С., Крылов С.В. Оперативное лечение посттравматической нестабильности плечевого сустава у спортсменов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 1. С. 5–18. doi: 10.17816/vto105227
4. Hardy A., Sabatier V., Laboudie P., Schoch B., Nourissat G., Valenti P., Kany J., Deranlot J., Solignac N., Hardy P., Vigan M., Werthel J.D. Outcomes After Latarjet Procedure: Patients With First-

- Time Versus Recurrent Dislocations // *Am J Sports Med.* 2020. Vol. 48, № 1. P. 21–26. doi: 10.1177/0363546519879929
5. Songy C.E., Siegel E.R., Stevens M., Wilkinson J.T., Ahmadi S. The effect of the beach-chair position angle on cerebral oxygenation during shoulder surgery // *Journal of shoulder and elbow surgery.* 2017. Vol. 26, № 9. P. 1670–1675. doi: 10.1016/j.jse.2017.03.018
 6. Pavlov H., Warren R.F., Weiss C.B. Jr, Dines D.M. The roentgenographic evaluation of anterior shoulder instability // *Clin Orthop Relat Res.* 1985. № 194. P. 153–158.
 7. Bliven K.C.H., Parr G.P. Outcomes of the Latarjet Procedure Compared With Bankart Repair for Recurrent Traumatic Anterior Shoulder Instability // *J Athl Train.* 2018. Vol. 53, № 2. P. 181–183. doi: 10.4085/1062-6050-232-16
 8. Patte D., Bernageau J., Rodineau J., Gardes J.C. Unstable painful shoulders // *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1980. Vol. 66, № 3. P. 157–165.
 9. Thamyongkit S., Wanitchanont T., Chulsomlee K., Tuntiyatorn P., Vasaruchapong S., Vijitrakarnrung C., Saengpetch N. The University of California–Los Angeles (UCLA) shoulder scale: translation, reliability and validation of a Thai version of UCLA shoulder scale in rotator cuff tear patients // *BMC Musculoskelet Disord.* 2022. Vol. 23, № 1. P. 65. doi: 10.1186/s12891-022-05018-0
 10. Coyner K.J., Arciero R.A. Shoulder Instability: Anterior, Posterior, Multidirectional, Arthroscopic Versus Open, Bone Block Procedures // *Sports Med Arthrosc Rev.* 2018. Vol. 26, № 4. P. 168–170. doi: 10.1097/JSA.0000000000000211
 11. Hohmann E., Tetsworth K., Glatt V. Open versus arthroscopic surgical treatment for anterior shoulder dislocation: a comparative systematic review and meta-analysis over the past 20 years // *J Shoulder Elbow Surg.* 2017. Vol. 26, № 10. P. 1873–1880. doi: 10.1016/j.jse.2017.04.009
 12. Burrus C., Deriaz O., Luthi F., Konzelmann M. Role of pain in measuring shoulder strength abduction and flexion with the Constant–Murley score // *Ann Phys Rehabil Med.* 2017. Vol. 60, № 4. P. 258–262. doi: 10.1016/j.rehab.2016.09.005
 13. Niedzielski K.R., Malecki K., Flont P., Fabis J. The results of an extensive soft-tissue procedure in the treatment of obligatory patellar dislocation in children with ligamentous laxity: a post-operative isokinetic study // *Bone Joint J.* 2015. Vol. 97-B, № 1. P. 129–133. doi: 10.1302/0301-620X.97B1.33941
 14. Pauzenberger L., Dyrna F., Obopilwe E., Heuberger P.R., Arciero R.A., Anderl W., Mazzocca A.D. Biomechanical Evaluation of Glenoid Reconstruction With an Implant-Free J-BoneGraft for Anterior Glenoid Bone Loss // *Am J Sports Med.* 2017. Vol. 45, № 12. P. 2849–2857. doi: 10.1177/0363546517716927
 15. Bishop J.Y., Sprague M., Gelber J., et al. Interscalene regional anesthesia for shoulder surgery // *J Bone Joint Surg Am.* 2005. Vol. 87, № 5. P. 974–979. doi: 10.2106/JBJS.D.02003
 16. Chahal J., Marks P.H., Macdonald P.B., et al. Anatomic Bankart repair compared with nonoperative treatment and/or arthroscopic lavage for first-time traumatic shoulder dislocation // *Arthroscopy.* 2012. Vol. 28, № 4. P. 565–575. doi: 10.1016/j.arthro.2011.11.012
 17. Tie T.A., Hong C.K., Chua I., Kuan F.C., Su W.R., Hsu K.L. The Chinese version of the American shoulder and elbow surgeons standardized shoulder assessment form questionnaire, patient self-report section: a cross-cultural adaptation and validation study // *BMC Musculoskelet Disord.* 2021. Vol. 22, № 1. P. 382. doi: 10.1186/s12891-021-04255-z
 18. Nixon M.F., Keenan O., Funk L. High recurrence of instability in adolescents playing contact sports after arthroscopic shoulder stabilization // *J Pediatr Orthop B.* 2015. Vol. 24, № 3. P. 173–177. doi: 10.1097/BPB.0000000000000135
 19. Paz D.A., Chang G.H., Yetto J.M. Jr, Dwek J.R., Chung C.B. Upper extremity overuse injuries in pediatric athletes: clinical presentation, imaging findings, and treatment // *Clin Imaging.* 2015. Vol. 39, № 6. P. 954–964. doi: 10.1016/j.clinimag.2015.07.028
 20. Provencher M.T., Frank R.M., Leclerc L.E., Metzger P.D., Ryu J.J., Bernhardson A., Romeo A.A. The Hill-Sachs lesion: diagnosis, classification, and management // *J Am Acad Orthop Surg.* 2012. Vol. 20, № 4. P. 242–252. doi: 10.5435/JAAOS-20-04-242
 21. Popchak A., Burnett T., Weber N., Boninger M. Factors related to injury in youth and adolescent baseball pitching, with an eye toward prevention // *Am J Phys Med Rehabil.* 2015. Vol. 94, № 5. P. 395–409. doi: 10.1097/PHM.0000000000000184
 22. Porcellini G., Campi F., Pegreff F., Castagna A., Paladini P. Predisposing factors for recurrent shoulder dislocation after arthroscopic treatment // *J Bone Joint Surg Am.* 2009. Vol. 91, № 11. P. 2537–2542. doi: 10.2106/JBJS.H.01126
 23. Vangsness C.T. Jr, Ennis M. Neural anatomy of the human glenoid labrum and shoulder ligaments. Proceedings of the American Academy of Orthopaedic Surgeons 59th Annual Meeting, Washington, DC. Park Ridge, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1992. 205 p.
 24. Miniaci A., Gish M. Management of anterior glenohumeral instability associated with large Hill-Sachs defects // *Techiques in Shoulder and Elbow Surgery.* 2004. Vol. 5. P. 170–175. doi: 10.1097/01.bte.0000137216.70574.ba
 25. Netter F.H. Atlas of human anatomy. 6th edition. Saunders Elsevier, USA; 2014. 417 p.
 26. Pacey V., Nicholson L.L., Adams R.D., Munn J., Munns C.F. Generalized joint hypermobility and risk of lower limb joint injury during sport: a systematic review with meta-analysis // *Am J Sports Med.* 2010. Vol. 38, № 7. P. 1487–1497. doi: 10.1177/0363546510364838
 27. Moerman A.T., De Hert S.G., Jacobs T.F., De Wilde L.F., Wouters P.F. Cerebral oxygen desaturation during beach chair position // *European Journal of Anaesthesiology.* 2012. Vol. 29, № 2. P. 82–87. doi: 10.1097/EJA.0b013e328348ca18
 28. Khiami F., Gerometta A., Loriaut P. Management of recent first-time anterior shoulder dislocations // *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015. Vol. 101, № 1 (Suppl). P. S51–7. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.027
 29. Pribicevic M. The epidemiology of shoulder pain: A narrative review of the literature // *Pain in Perspective.* 2012. Vol. 3. P. 45–49. doi: 10.5772/52931
 30. Minns L.C.J., Moser J., Barker K. Living with a symptomatic rotator cuff tear 'bad days, bad nights': a qualitative study // *BMC Musculoskelet Disord.* 2014. Vol. 15. P. 228. doi: 10.1186/1471-2474-15-228
 31. Boileau P., Thélou C.É., Mercier N., Ohl X., Houghton-Clemmey R., Carles M., Trojani C. Arthroscopic Bristow–Latarjet combined with bankart repair restores shoulder stability in patients with glenoid bone loss // *Clin Orthop Relat Res.* 2014. Vol. 472, № 8. P. 2413–24. doi: 10.1007/s11999-014-3691-x
 32. Auffarth A., Schauer J., Matis N., Kofler B., Hitzl W., Resch H. The J-bone graft for anatomical glenoid reconstruction in recurrent posttraumatic anterior shoulder dislocation // *Am J Sports Med.* 2008. Vol. 36, № 4. P. 638–647. doi: 10.1177/0363546507309672

REFERENCES

1. Mironova ZS, Merkulova RI, Boguckaya EV, Badnin IA. *Perenapryazhenie oporno-dvigatel'nogo apparata u sportsmenov*. Moskva: Fizkul'tura i sport; 1982. 96 s. (In Russ).
2. Krylov SV, Pasechnik IN, Orleckij AK, Timchenko DO. Sovremennoe sostoyanie problem obespecheniya bezopasnosti pacienta v polozhenii shezlonga pri artroskopicheskikh operaciayah na plechevom sustave. *Kremlyovskaya medicina*. 2021;(2):43–49. (In Russ).
3. Orletskiy AK, Timchenko DO, Gordeev NA, Zharikov VA, Kozlova ES, Krylov SV. Surgical treatment of post-traumatic instability of the shoulder joint in athletes. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(1):5–18. (In Russ). doi: 10.17816/vto105227
4. Hardy A, Sabatier V, Laboudie P, Schoch B, Nourissat G, Valenti P, Kany J, Deranlot J, Solignac N, Hardy P, Vigan M, Werthel JD. Outcomes After Latarjet Procedure: Patients With First-Time Versus Recurrent Dislocations. *Am J Sports Med*. 2020;48(1):21–26. doi: 10.1177/0363546519879929
5. Songy CE, Siegel ER, Stevens M, Wilkinson JT, Ahmadi S. The effect of the beach-chair position angle on cerebral oxygenation during shoulder surgery. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2017;26(9):1670–1675. doi: 10.1016/j.jse.2017.03.018
6. Pavlov H, Warren RF, Weiss CB Jr, Dines DM. The roentgenographic evaluation of anterior shoulder instability. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(194):153–158.
7. Bliven KCH, Parr GP. Outcomes of the Latarjet Procedure Compared With Bankart Repair for Recurrent Traumatic Anterior Shoulder Instability. *J Athl Train*. 2018;53(2):181–183. doi: 10.4085/1062-6050-232-16
8. Patte D, Bernageau J, Rodineau J, Gardes JC. Unstable painful shoulders. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1980;66(3):157–165.
9. Thamyongkit S, Wanitchanont T, Chulsomlee K, Tuntiyatorn P, Vasaruchapong S, Vijitrakarnrung C, Saengpetch N. The University of California-Los Angeles (UCLA) shoulder scale: translation, reliability and validation of a Thai version of UCLA shoulder scale in rotator cuff tear patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):65. doi: 10.1186/s12891-022-05018-0
10. Coyner KJ, Arciero RA. Shoulder Instability: Anterior, Posterior, Multidirectional, Arthroscopic Versus Open, Bone Block Procedures. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2018;26(4):168–170. doi: 10.1097/JSA.0000000000000211
11. Hohmann E, Tetsworth K, Glatt V. Open versus arthroscopic surgical treatment for anterior shoulder dislocation: a comparative systematic review and meta-analysis over the past 20 years. *J Shoulder Elbow Surg*. 2017;26(10):1873–1880. doi: 10.1016/j.jse.2017.04.009
12. Burrus C, Deriaz O, Luthi F, Konzelmann M. Role of pain in measuring shoulder strength abduction and flexion with the Constant-Murley score. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017;60(4):258–262. doi: 10.1016/j.rehab.2016.09.005
13. Niedzielski KR, Malecki K, Flont P, Fabis J. The results of an extensive soft-tissue procedure in the treatment of obligatory patellar dislocation in children with ligamentous laxity: a post-operative isokinetic study. *Bone Joint J*. 2015;97-B(1):129–133. doi: 10.1302/0301-620X.97B1.33941
14. Pauzenberger L, Dyrna F, Obopilwe E, Heuberger PR, Arciero RA, Anderl W, Mazzocca AD. Biomechanical Evaluation of Glenoid Reconstruction With an Implant-Free J-BoneGraft for Anterior Glenoid Bone Loss. *Am J Sports Med*. 2017;45(12):2849–2857. doi: 10.1177/0363546517716927
15. Bishop JY, Sprague M, Gelber J, et al. Interscalene regional anesthesia for shoulder surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87(5):974–979. doi: 10.2106/JBJS.D.02003
16. Chahal J, Marks PH, Macdonald PB, et al. Anatomic Bankart repair compared with nonoperative treatment and/or arthroscopic lavage for first-time traumatic shoulder dislocation. *Arthroscopy*. 2012;28(4):565–575. doi: 10.1016/j.arthro.2011.11.012
17. Tie TA, Hong CK, Chua I, Kuan FC, Su WR, Hsu KL. The Chinese version of the American shoulder and elbow surgeons standardized shoulder assessment form questionnaire, patient self-report section: a cross-cultural adaptation and validation study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):382. doi: 10.1186/s12891-021-04255-z
18. Nixon MF, Keenan O, Funk L. High recurrence of instability in adolescents playing contact sports after arthroscopic shoulder stabilization. *J Pediatr Orthop B*. 2015;24(3):173–177. doi: 10.1097/BPB.0000000000000135
19. Paz DA, Chang GH, Yetto JM Jr, Dwek JR, Chung CB. Upper extremity overuse injuries in pediatric athletes: clinical presentation, imaging findings, and treatment. *Clin Imaging*. 2015;39(6):954–964. doi: 10.1016/j.clinimag.2015.07.028
20. Provencher MT, Frank RM, Leclerc LE, Metzger PD, Ryu JJ, Bernhardtson A, Romeo AA. The Hill-Sachs lesion: diagnosis, classification, and management. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20(4):242–252. doi: 10.5435/JAAOS-20-04-242
21. Popchak A, Burnett T, Weber N, Boninger M. Factors related to injury in youth and adolescent baseball pitching, with an eye toward prevention. *Am J Phys Med Rehabil*. 2015;94(5):395–409. doi: 10.1097/PHM.0000000000000184
22. Porcellini G, Campi F, Pegreff F, Castagna A, Paladini P. Predisposing factors for recurrent shoulder dislocation after arthroscopic treatment. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(11):2537–2542. doi: 10.2106/JBJS.H.01126
23. Vangsness CT Jr, Ennis M. Neural anatomy of the human glenoid labrum and shoulder ligaments. Proceedings of the American Academy of Orthopaedic Surgeons 59th Annual Meeting, Washington, DC. Park Ridge, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1992. 205 p.
24. Miniaci A, Gish M. Management of anterior glenohumeral instability associated with large Hill-Sachs defects. *Techniques in Shoulder and Elbow Surgery*. 2004;5(3):170–175. doi: 10.1097/01.bte.0000137216.70574.ba
25. Netter FH. Atlas of human anatomy. 6th edition. Saunders Elsevier; USA. 2014. 417 p.
26. Pacey V, Nicholson LL, Adams RD, Munn J, Munns CF. Generalized joint hypermobility and risk of lower limb joint injury during sport: a systematic review with meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2010;38(7):1487–1497. doi: 10.1177/0363546510364838
27. Moerman AT, De Hert SG, Jacobs TF, De Wilde LF, Wouters PF. Cerebral oxygen desaturation during beach chair position. *European Journal of Anaesthesiology*. 2012;29(2):82–87. doi: 10.1097/EJA.0b013e328348ca18
28. Khiami F, Gerometta A, Loriaut P. Management of recent first-time anterior shoulder dislocations. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015;101(1 Suppl):S51–7. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.027

29. Pribicevic M. The epidemiology of shoulder pain: A narrative review of the literature. *Pain in Perspective*. 2012;3:45–49. doi: 10.5772/52931
30. Minns LCJ, Moser J, Barker K. Living with a symptomatic rotator cuff tear 'bad days, bad nights': a qualitative study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014;15:228. doi: 10.1186/1471-2474-15-228
31. Boileau P, Thélou CÉ, Mercier N, Ohl X, Houghton-Clemmey R, Carles M, Trojani C. Arthroscopic Bristow-Latarjet combined

with bankart repair restores shoulder stability in patients with glenoid bone loss. *Clin OrthopRelat Res*. 2014;472(8):2413–24. doi: 10.1007/s11999-014-3691-x

32. Auffarth A, Schauer J, Matis N, Kofler B, Hitzl W, Resch H. The J-bone graft for anatomical glenoid reconstruction in recurrent posttraumatic anterior shoulder dislocation. *Am J Sports Med*. 2008;36(4):638–647. doi: 10.1177/0363546507309672

ОБ АВТОРАХ

Орлецкий Анатолий Корнеевич, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: nova495@mail.ru

* **Тимченко Дмитрий Олегович**, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, Москва, 115172, Новоспасский переулок, д. 9;
eLibrary SPIN: 6626-2823;
e-mail: d.o.Timchenko@mail.ru

Гордеев Николай Александрович,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: nikolas095@mail.ru

Жариков Владислав Алексеевич,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: vladislav.zharikov1996@yandex.ru

Васильев Дмитрий Олегович, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: VasilievDO@cito-priorov.ru

Косов Игорь Семёнович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
eLibrary SPIN: 3260-8950;
e-mail: KosovIS@cito-priorov.ru

AUTHORS' INFO

Anatoliy K. Orletskiy, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
e-mail: nova495@mail.ru

* **Dmitriy O. Timchenko**, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
address: 9 Novospasskiy pereulok, 115172, Moscow, Russia;
eLibrary SPIN: 6626-2823;
e-mail: d.o.Timchenko@mail.ru

Nikolay A. Gordeev,
traumatologist-orthopedist;
e-mail: nikolas095@mail.ru

Vladislav A. Zharikov,
traumatologist-orthopedist;
e-mail: vladislav.zharikov1996@yandex.ru

Dmitriy O. Vasiliev, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist, senior researcher;
e-mail: VasilievDO@cito-priorov.ru

Igor S. Kosov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
eLibrary SPIN: 3260-8950;
e-mail: KosovIS@cito-priorov.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321379>

Современные аспекты в лечении внутрисуставных переломов и переломовывихов проксимальных межфаланговых суставов трёхфаланговых пальцев кисти, а также их последствий

И.О. Голубев, М.В. Меркулов, В.Д. Кузнецов, О.М. Бушуев, И.А. Кутепов, Г.Г. Балюра

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Внутрисуставные переломы в проксимальном межфаланговом суставе — достаточно распространённая проблема в травматологии и ортопедии. Наиболее часто повреждение происходит в основании средней фаланги в результате соударения с головкой проксимальной фаланги. Вследствие этого критично страдает подвижность пальца, что, естественно, сказывается на функции всей кисти. Лечение пациентов с данной патологией в остром периоде травмы более благоприятно для восстановления функции конечности по сравнению с застарелыми повреждениями. При недооценке или пропуске внутрисуставного перелома на ранних сроках с течением времени врач сталкивается с постоянным болевым синдромом, контрактурой сустава и/или тугоподвижностью, а также с более трудоёмкими методами лечения. Существует множество методов лечения как при острой травме, так и при застарелых повреждениях, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Цель. Описать наиболее подходящие, на наш взгляд, методы лечения пациентов с данными повреждениями на ранних сроках (до 4 недель с момента травмы) и в отдалённом периоде (более 4 недель).

Материалы и методы. При лечении 26 пациентов с переломовывихами основания средней фаланги трёхфаланговых пальцев кисти в остром периоде травмы применялся метод чрескостного остеосинтеза с применением спицевого аппарата наружной фиксации Suzuki. В лечении 23 пациентов с неправильно сросшимися внутрисуставными переломами основания средней фаланги трёхфаланговых пальцев кисти использовалась артропластика основания средней фаланги трансплантатом крючковидной кости (гемиартропластика) с её модификациями. Для диагностики и подтверждения/уточнения характера повреждения всем пациентам проводились физикальное обследование, рентгенологическое и/или компьютерно-томографическое исследование. В послеоперационном периоде все пациенты проводили раннюю разработку пассивных/активных движений в оперированном сегменте.

Результаты. По визуально-аналоговой шкале ВАШ болевой синдром оценивался пациентом в 4–6 баллов, через 6–8 недель этот показатель составлял 0–1 балл. Амплитуда движений в проксимальном межфаланговом суставе пальцев в среднем составляла 30–50°, через 6–8 недель достигая в среднем 15–95°. В двух случаях оставалась сгибательная контрактура в 15–20°.

Заключение. Лечение пациентов с внутрисуставными переломами и переломовывихами в проксимальном межфаланговом суставе трёхфаланговых пальцев кисти, а также их последствиями является сложной и актуальной проблемой в травматологии и ортопедии, не имеющей однозначного универсального решения. Для выбора тактики лечения необходимы проведение многофакторного обследования пациента, правильное верифицирование и трактование существующего повреждения, возможное при глубоком понимании анатомии пальцев и кисти в целом.

Ключевые слова: гемиартропластика; переломовывихи; проксимальный межфаланговый сустав; дистракционный аппарат.

Как цитировать:

Голубев И.О., Меркулов М.В., Кузнецов В.Д., Бушуев О.М., Кутепов И.А., Балюра Г.Г. Современные аспекты в лечении внутрисуставных переломов и переломовывихов проксимальных межфаланговых суставов трёхфаланговых пальцев кисти, а также их последствий // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 287–300. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321379>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321379>

Modern aspects in the treatment of intra-articular fractures and fractures of the proximal interphalangeal joints of the three-phalangeal fingers of the hand, as well as their consequences

Igor O. Golubev, Maksim V. Merkulov, Vasily D. Kusnetsov, Oleg M. Bushuev,
Ilya A. Kutepov, Grigoriy G. Baliura

Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Proximal interphalangeal joint intra-articular fractures are a prevalent problem in traumatology and orthopedics. Damage typically develops at the base of the middle phalanx due to a collision with the head of the proximal phalanx. As a result, the finger's function declines significantly, which inevitably impacts the function of the entire brush. Compared with long-standing injuries, treating patients with this pathology in the acute period of injury is more likely to result in limb function restoration. Suppose an intra-articular fracture is underestimated or missed in the early stages. In that case, the doctor may eventually encounter chronic pain syndrome, joint and/or stiffness, and more time-consuming treatment procedures. There are many methods of treatment for both "acute" and long-standing injuries, each with advantages and disadvantages.

OBJECTIVE: To describe, in our opinion, the most effective modalities of therapy for patients with these injuries in the early stages (up to 4 weeks from the time of injury) and long-term periods (more than 4 weeks).

MATERIALS AND METHODS: The Suzuki external fixation spoke device (pins and rubber traction system [PRTS]) was used to treat 26 patients with fractures and dislocations of the base of the middle phalanx of the three-phalangeal fingers of the hand in the acute period of injury. Arthroplasty of the base of the middle phalanx with a hook bone graft (hemihamate) with its modifications was used in the treatment of 23 patients with inadequately fused intra-articular fractures of the base of the middle phalanx of the three-phalangeal fingers of the hand. All patients underwent physical examinations, X-rays, and/or CT scans to diagnose and confirm or clarify the nature of the damage. All patients developed passive/active movements early in the operated section during the postoperative period.

RESULTS: The patient estimated the VAS pain syndrome at 4–6 points on the scale; however, after 6–8 weeks, this indicator was 0–1 points. After 6–8 weeks, the amplitude of movements in the proximal interphalangeal joint of the fingers from the average of 30–50° after 6–8 weeks, was reached the average of 15–95°. There was a 15–20° extensor contracture in two patients.

CONCLUSION: The treatment of patients with intra-articular fractures and fracture-dislocations in the proximal interphalangeal joint of the three-phalangeal fingers of the hand, as well as their consequences, is a complex current problem in traumatology and orthopedics with no one-word universal solution. To select treatment strategies, a comprehensive evaluation of the patient, correct verification and interpretation of the existing damage, and a thorough understanding of the anatomy of the fingers and the hand are required.

Keywords: hemihamate; proximal interphalangeal joint; fracture dislocation; Suzuki; pins and rubber traction system; intra-articular fractures.

To cite this article:

Golubev IO, Merkulov MV, Kuznetsov VD, Bushuev OM, Kutepov IA, Baliura GG. Modern aspects in the treatment of intra-articular fractures and fractures of the proximal interphalangeal joints of the three-phalangeal fingers of the hand, as well as their consequences. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):287–300. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321379>

BACKGROUND

The human hand is a composite organ characterized by a particular complexity of differentiated movements. Any trauma with a violation to the anatomical structure of the hand leads to changes in its biomechanics, limiting the patient's ability to work [1]. Hand injuries account for 30% of all injuries to the musculoskeletal system [2]. Treatment of phalangeal fractures and metacarpal fractures is challenging [3]. The proximal interphalangeal (PIP) joint is the most commonly injured joint in the hand. Injuries to PIP joints are challenging to treat owing to the joint's tendency for early stiffness and late detection of injuries, as they are often ignored or underestimated during initial patient presentation. Errors in diagnosing and treating these injuries occur in 28%–70% of cases, and unsatisfactory outcomes reach 16%–30% [3]. The main objective of treating patients with fracture dislocations of the interphalangeal joints of fingers are stabilization and early development of active movements [4]. When treating individuals with complex fracture dislocations, distant sequelae, such as pain syndrome and stiffness, and limitation of movement are often observed. The Eaton classification, proposed by Eaton and Malerich in 1980 [6], is prevalent in categorizing the subtypes of this type of lesions, as well as in selecting the method of treatment [5]. There are many treatment methods, but none guarantee a consistently good result [7]. The choice of treatment method depends on the degree of stability of the anatomical structures of the injured joint, the size of the bone fragment and the direction of its displacement, and the presence of concomitant damage to soft tissues that mainly are joint stabilizers [4].

The study aimed to describe treatment methods and consequences of intra-articular fractures and fracture dislocations of the PIP joints of the triphalangeal fingers of the hand.

MATERIALS AND METHODS

Study design

This was an observational, single-center, prospective, continuous, controlled, randomized, and simple-blind study. Patients were treated based on clinical indications using the necessary surgical methods to achieve the best treatment outcome.

Eligibility criteria

The study included patients with intra-articular fractures, fracture dislocations of the palmar and dorsal edges of the base of the middle phalanx, as well as with the consequences of these injuries during the chronic trauma period.

Terms and conditions of the event

The study involved patients treated in the 3rd Traumatology and Orthopedics Department of Microsurgery

and Hand Trauma at the Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics (Moscow).

There were no specific inclusion factors.

Duration of the study

If the time interval from the moment of injury to seeking medical attention up to 4 weeks, it is considered as acute period. If the interval was longer than 4 weeks, the injuries were considered stale (consequences of acute trauma). The preoperative period averaged 1 day. The early postoperative period of inpatient observation usually lasted 4–5 days. Control examinations in outpatient mode were performed at 4, 6, and 8 weeks and at 4, 6, 8, 12, and 18 months.

Description of the medical intervention

In the preoperative period, all patients were comprehensively examined. Trauma history was collected. Clinical examination with determination of amplitudes of passive/active movements in the joints of the limb using a goniometer, palpation, and determination of the severity of pain syndrome using the visual analog scale (VAS) was performed. Radiation examination methods, such as radiography and/or computed tomography (CT), were used. If concomitant somatic pathology were present, an anesthesiologist and specialist physicians were consulted.

The volume of anesthesia was determined based on the patient's age, number of previous surgeries if any, presence of concomitant pathology, and history of allergies and other somatic diseases. A combination of conduction anesthesia and sedation was preferred. Under the control of ultrasound navigation, an axillary block was performed on the side of the operated limb with ropivacaine 0.375%–0.5% solution in a single dosage not exceeding 2 mg/kg. Sedation was carried out due to intravenous propofol administration: induction of 1–2 mg/kg (bolus) and maintenance of constant infusion of 2–5 mg/kg/hour.

All patients received complex antibacterial, analgesic, and symptomatic therapy as indicated in the postoperative period. During hospitalization, daily dressings of postoperative wounds with antiseptic solutions were performed.

The course of surgery and postoperative rehabilitation tactics is described in detail in the text for each specific technique.

A method of hemiarthroplasty from the hook bone of the hand for injury to the palmar edge of the base of the middle phalanx

The hand was placed on an extension table in the supine position, and a pneumatic cuff was applied. The surgical field was treated three times with antiseptic solutions. A trapezoidal incision was made along the palmar surface in the projection of the PIP joints of the injured finger with skin flap withdrawal. Access to the flexor tendon canal was realized. The latter was U-shapedly dissected in the gap between the annular ligaments A2 and A4, and the canal

flap was bent. The tendons of the superficial and deep flexors are isolated and withdrawn. The palmar plate was distally cut from the scar tissue, along with a fragment of the improperly fused palmar edge of the base of the middle phalanx. The collateral ligaments were proximally cut from the head of the proximal phalanx. Dislocation of the PIP joints to the rear was performed, and scar tissue was excised. The area of damage to the articular surface of the palmar edge of the base of the middle phalanx was detected, and an economical resection of the damaged part of the phalanx was performed. Measurements of the middle phalanx defect were made. A separate linear skin incision was made along the dorsal surface of the hand in the area of the IV–V carpal–carpal (CMC) joint. The joint capsule was longitudinally dissected. The articulation of the hook bone with the bases of the IV–V metacarpal bones was identified. A tangential osteotomy of the dorsal surface of

the metacarpal bases was performed using a chisel. Based on the size of the middle phalanx defect, a graft from the hook bone was marked and isolated. The graft was fixed to the phalanx with a bone holder, alternately drilled in the dorsal direction, and affixed with two 1.5 mm screws to the dorsal edge of the middle phalanx. The phalanx dislocation was repositioned and checked using an electron optical transducer (EOT). The positions of the phalanges and screws are confirmed to be correct. The capsule in the area of the CMC joint was sutured with passive drainage. The distal edge of the palmar plate and the proximal ends of the collateral ligaments are sutured together, harboring the screws. The flexor tendon capsule flap is passed under the tendons and sutured from the cutoff site. The skin flap is sutured with knotted sutures. An aseptic dressing is applied. Fixation in a posterior plaster cast bandage in the position of flexion in PIP joints at 30° (Figs. 1–8).



Fig. 1. The appearance of the limb.



Fig. 2. X-ray picture.

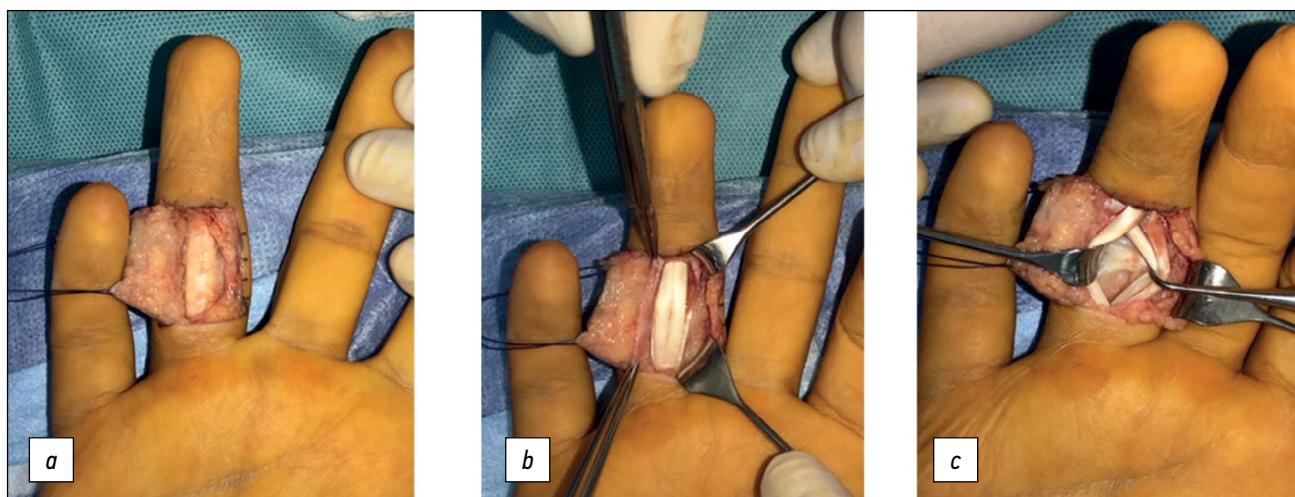


Fig. 3. *a* — skin incision with flap formation, *b* — the flexor tendons sheath is dissected, *c* — flexor tendons are withdrawn, the palmar plate is visualized.

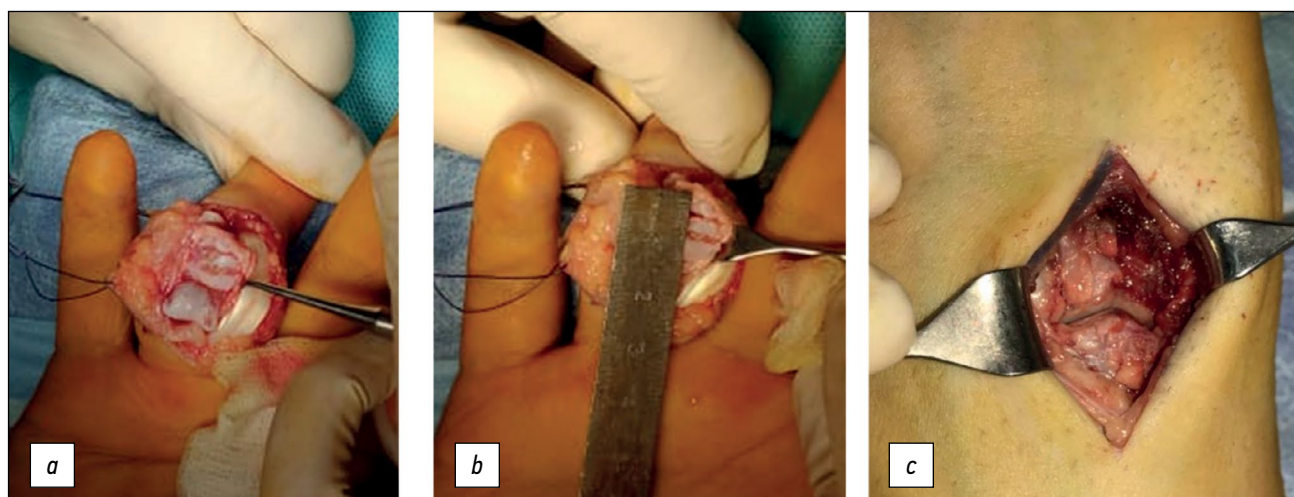


Fig. 4. *a* — dislocation of the proximal interphalangeal joint after cutting off the palmar plate and collateral ligaments ("shotgunning"), *b* — marking of the resection zone, *c* — approach to the IV–V carpometacarpal joints.



Fig. 5. Isolated bone autograft of the hamate.



Fig. 6. X-ray control after fixation of the graft with screws.

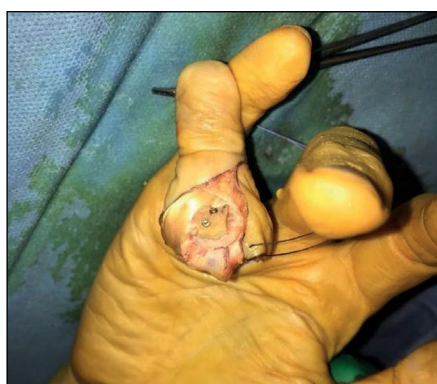


Fig. 7. Intraoperative picture after fixation of the graft with screws.

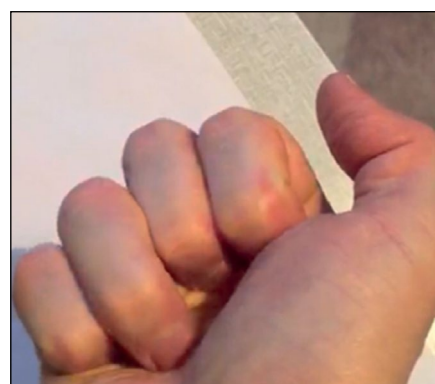


Fig. 8. The result 2 months after the operation.

Modification of the hemiarthroplasty method in the treatment of patients with damage to the palmar edge of the base of the middle phalanx of the triphalangeal fingers of the hand

In the preoperative period, multislice spiral CT was used to determine the spatial visualization of the affected bony anatomical structures of the fingers and the features of malunion fractures of the palmar edge of the base of the middle phalanx of the patient's triphalangeal fingers. The

results of multislice spiral CT are stored in DICOM format and transferred to Dolphin Imaging to form DICOM files. A solid three-dimensional (3D) model of the STL phalanx of the patient's damaged finger and the necessary bone autograft is formed, showing the affected bone anatomical structures and anomalies of the damaged phalanx made of biocompatible and non-toxic polymer material. Acrylonitrile butadiene styrene, polyethylene terephthalate with glycol, or polylactide is used as biocompatible and non-toxic polymeric material.

Virtual planning of the stages of surgical treatment is performed using the 3D model of the phalanx of the damaged finger and the bone autograft model. Intraoperatively, the same stages of hemiarthroplasty are performed only with the use of an individual fitting template, which allows the most accurate resection of the damaged part of the phalanx and the allocation of the hook bone autograft. This makes

it possible to improve the treatment result, speed up the operation, and make it more comfortable for the operating surgeon.

There is a patent for invention No. 2785748, "Method of surgical treatment of fracture dislocations of the palmar edge of the base of the middle phalanx of the triphalangeal fingers," dated 12.12.2022 (Figs. 9–13).

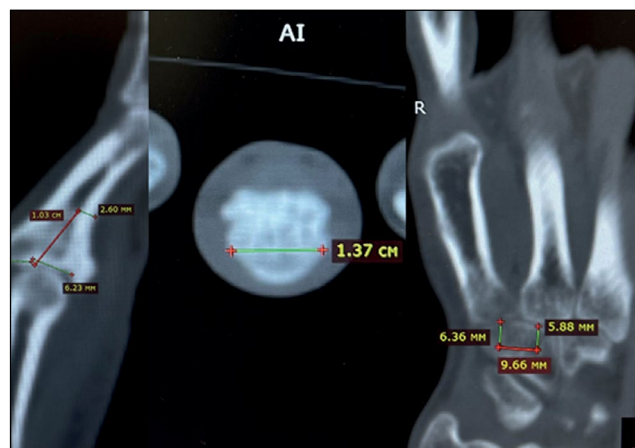


Fig. 9. Analysis and marking of computed tomography.

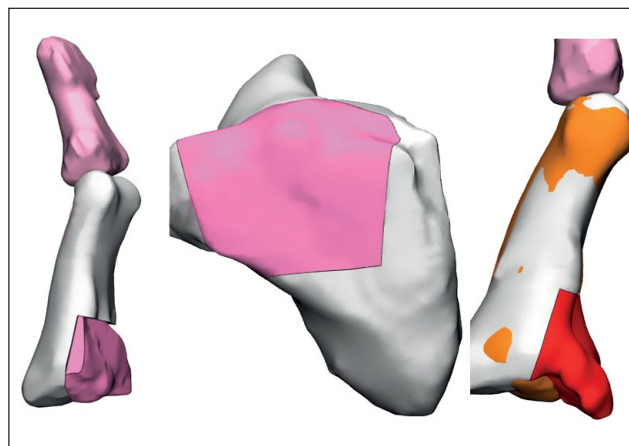


Fig. 10. Digital visualization of the resection zone and the future autograft of the hamate.

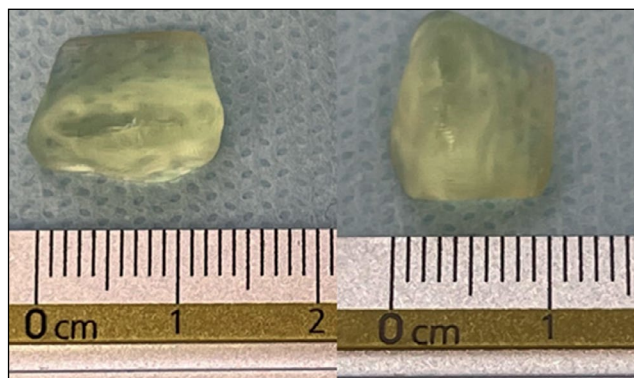


Fig. 11. Created solid-state individual fitting template made of polyacrylate.

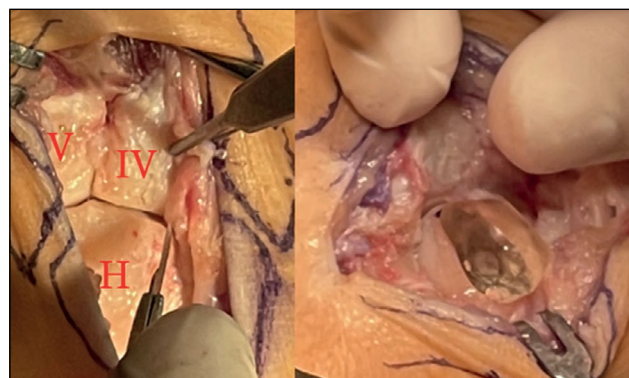


Fig. 12. Fitting the template during the operation. IV — 4th metacarpal bone, V — 5th metacarpal bone, H — hamate bone.



Fig. 13. Comparison of the template with the selected bone autograft.

Method of treatment of patients with damage to the dorsal edge of the base of the middle phalanx accompanied by failure of the central bundle of the tendon of the common extensor tendon of the triphalangeal fingers of the hand

In the preoperative period, a computed tomographic study of the patient's injured hand and contralateral foot is performed. Spatial visualization of the injured middle phalanx and middle phalanx of the second toe is performed. A solid polyacrylate template is created, corresponding to the dimensions of the future resection of the area of the damaged base of the middle phalanx, comparable with the dimensions of the future bone autograft from the dorsal edge of the base of the middle phalanx of the second toe.

In the supine position, the hand was placed on an extension table, and a pneumatic cuff was applied. An

arc-shaped incision was made along the dorsal surface in the projection of the PIP joint of the injured finger of the hand, involving the removal of a skin flap. Blunt and sharp access to the extensor tendon and joint capsule was achieved. The lateral legs of the extensor tendon were isolated and withdrawn. The joint capsule was dissected transversely. Dislocation of the PIP joint to the rear was performed, and scar tissue was excised. The damaged area to the articular surface of the dorsal edge of the base of the middle phalanx was identified, and a sparing resection of the damaged portion of the phalanx was performed using a pre-created 3D template. A pre-created individual polyacrylate template was attached to visualize the necessary parameters of the future graft from the middle phalanx of the second toe of the left foot. A separate linear skin incision was made along the dorsal surface of the PIP joint area of the II toe of the contralateral foot. The central bundle of the tendon of the long extensor tendon of the toe was isolated. The phalanx was marked according to the dimensions of the middle phalanx defect using a 3D template. An osteotomy of the outlined section of the middle phalanx of the second finger was performed using an oscillatory saw. Using a chisel, a fragment was isolated from the wound, cutting off the central bundle of the long extensor tendon 4 cm from the attachment site. The graft was fixed to the phalanx with a bone holder and alternately drilled in the palmar direction. Two 1.5 mm screws were inserted to fix the graft with the palmar edge of

the middle phalanx. The phalanx dislocation was corrected. EOT control was performed, and the position of the phalanges and screws was correct. Arthrodesis of the PIP joint of the second toe with spokes was performed. A layer-by-layer suture of the wound of the II toe of the left foot and rubber drainage were performed. The suture of the tendon end of the graft with the central bundle of the common extensor bundle of the wrist finger was performed using U-shaped sutures, along with adaptation sutures of the tendon edges. The skin flap was sutured with knotted sutures. An aseptic dressing was applied. Fixation in a palm plaster bandage in the position of flexion in the PIP joint was at 30°.

There is a patent application for invention No. 2022133417, "Method of surgical treatment of malpositioned fracture dislocations of the dorsal edge of the base of the middle phalanx of the triphalangeal fingers of the hand using an autograft from the middle phalanx of the second toe of the patient's contralateral foot," dated 20.12.2022 (Figs. 14–23).

Thanks to these templates, it was possible to accurately assess the defect of the base of the middle phalanx intraoperatively, resect the malalignment zone, and mark and isolate the bone autograft.

Full immobilization with a bandage is performed within 2 weeks after surgery. Radiologic and/or tomographic control of the operated limb segment are performed on days 2 and 3 post-surgery. In weeks 3 and 4, patients are recommended to develop passive/active movements 3–5 times a day.

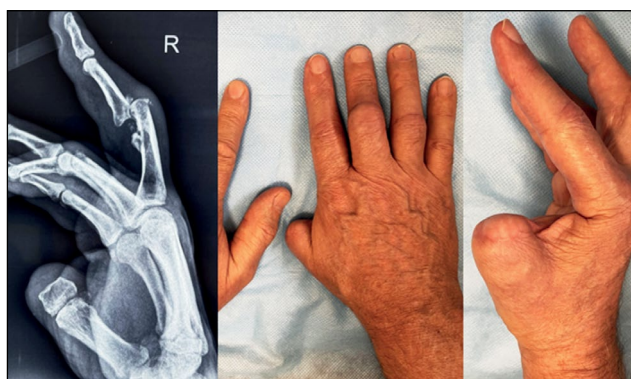


Fig. 14. Appearance and X-ray picture.

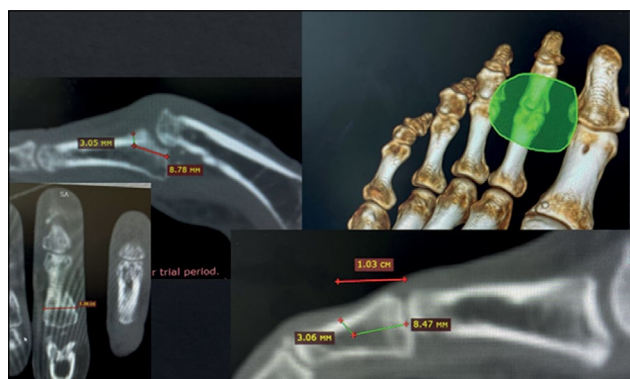


Fig. 15. Marking of computed tomography.

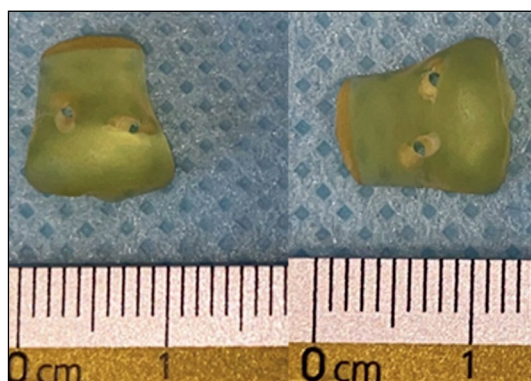


Fig. 16. Created solid-state template made of polyacrylate.

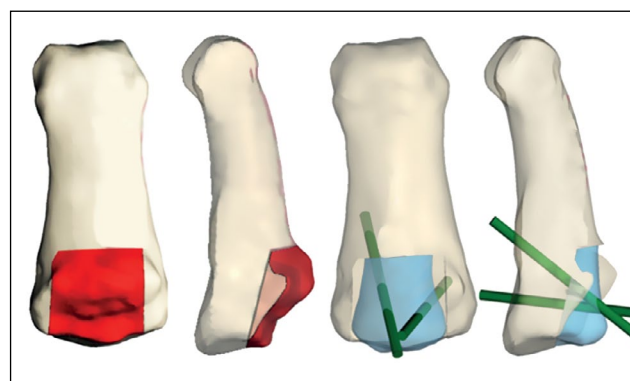


Fig. 17. Digital modeling.

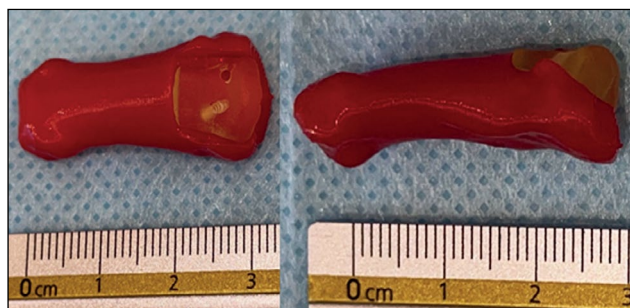


Fig. 18. Comparison of the graft template with the phalanx model.



Fig. 19. Isolation of autograft of the toe with extensor tendon.

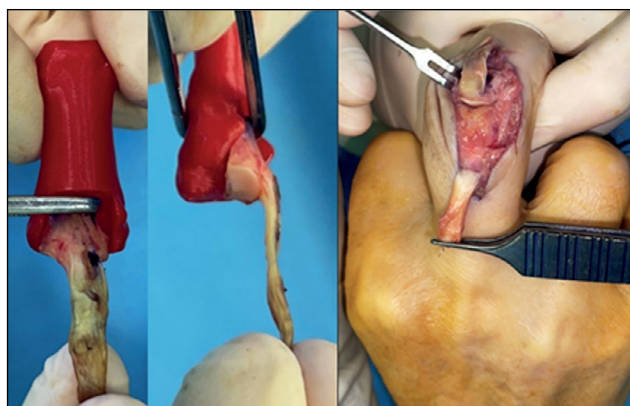


Fig. 20. The relationship of the graft and the phalanx model.



Fig. 21. X-ray control after osteosynthesis of the graft and arthrodesis of the proximal interphalangeal joint of the toe.



Fig. 22. X-ray control 2 months after the operation.



Fig. 23. Appearance and function 2 months after the operation.

On follow-up examinations, an increase in the amplitude of passive/active movements in the joint was assessed.

Methods of recording outcomes

Clinical examination methods were used to record treatment outcomes, including interview, palpation, determination of the amplitude of joint movements using a goniometer, and assessment of pain syndrome severity using VAS. Additionally, radiation examination methods, such as radiography and/or CT, were employed.

Ethical review

It was not conducted.

RESULTS

Treatment of patients with fracture dislocation of the base of the middle phalanx of the triphalangeal fingers in the acute period of trauma

During 2021–2022, 26 patients (23 men and 3 women) with fracture dislocation of the middle phalanx base of

triphalangeal fingers of hand in the acute period of trauma sought care. The average age was 31 years (16–46 years). The mechanism of injury was axial direction of force (impact) with rear deviation. All patients underwent preoperative diagnosis: radiography and clinical assessment of the amplitude of motion in the joint. Avulsive (detached) fractures of the palmar edge of the middle phalanx base with its dorsal subluxation were determined by radiologic signs. According to the Eaton classification, the patients were categorized as group IIIa. In all cases, the amplitude of movements in PIP joints was sharply limited by pain syndrome. Pain syndrome at the moment of attempted flexion in the joint was from 6 to 8 points on VAS. It was decided to treat all these patients with fixation of the injured finger in the Suzuki distraction-reposition external fixation apparatus (Figs. 24–29). This apparatus was described by Y. Suzuki in 1994 and represents a system of intraoperatively modeled three Kirschner spokes connected by rubber ties [8].

Intraoperatively, a 1.2 mm Kirschner spoke was inserted through the head of the proximal phalanx along the axis of rotation in the PIP joint (axial), with the ends of the spoke bent at 90°. A similar spoke is passed through the head of the middle phalanx along the axis of rotation in the distal

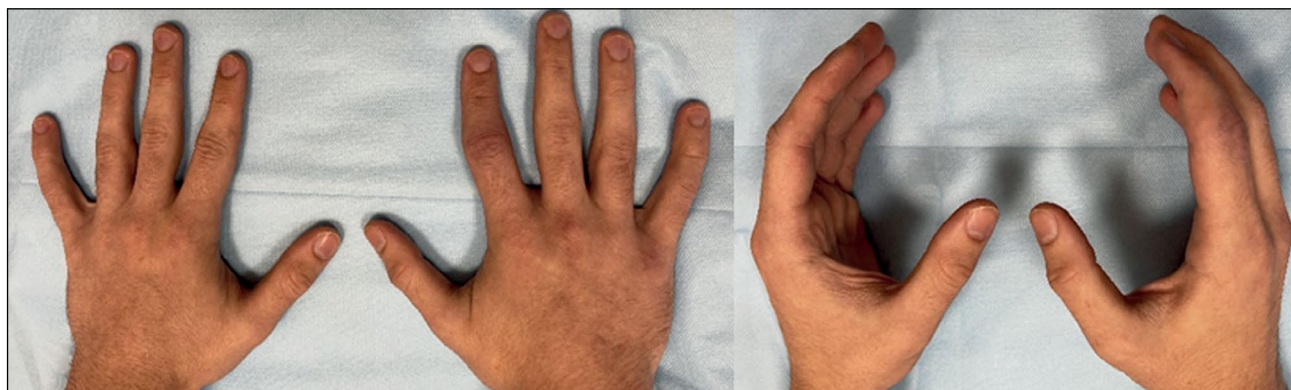


Fig. 24. Appearance before surgery.



Fig. 25. X-ray picture before surgery.



Fig. 26. X-ray control after surgery. Suzuki pins and rubber traction system.

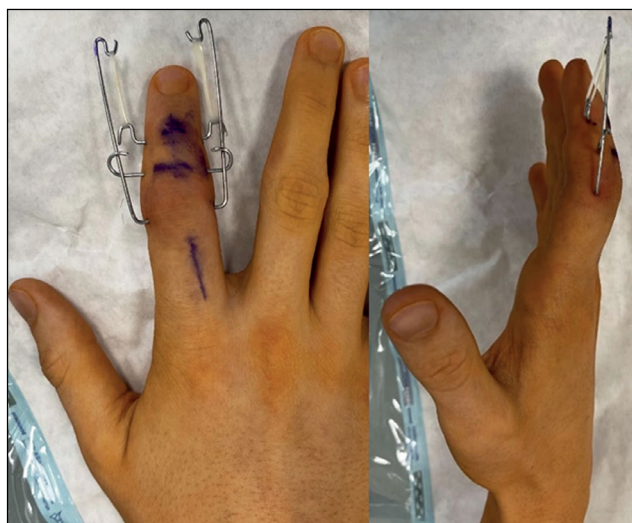


Fig. 27. Appearance after surgery. Suzuki pins and rubber traction system.



Fig. 28. Development of active movements in Suzuki pins and rubber traction system.



Fig. 29. The results of treatment after 3 months from the date of surgery.

interphalangeal joint; the ends of the spoke are also bent at 90° . Opposite bends (loops) are created at the ends of the curved shoulders of the spokes, ensuring a distance of 2.5 cm between them. Next, the third (repositioning) spoke is passed through the base of the middle phalanx as proximal as possible to the fracture zone; it is displaced to the rear relative to the phalanx axis and should pass under the shoulders of the axial spoke. Elastic rings, each 1 mm thick and cut from the rubber injection unit of an intravenous infusion system, are stretched over the bends of the first two predissected spokes. The degree of tension (distraction) of the spoke system (indicated by the number of elastic rings) is determined intraoperatively radiologically, based on size of the interarticular gap. Repositioning component of the system is accomplished by passing the middle phalanx base spoke displaced to the rear under the axial spoke. The last guided spoke is bent around the axial spoke to prevent displacement from under it but not to limit sliding between them.

Fixation in this system was carried out for 4 weeks. On day 1, the patient is trained to develop movements in the PIP joint passively. On day 2, the patient begins to perform

active movements in the joint, and a radiologic control study is conducted to determine the degree of distraction and the need for its correction. It is acceptable to increase the joint gap to 4–5 mm, but the most desirable is 2–3 mm. During the outpatient phase of treatment, the patient is recommended to develop passive/active movements three to five times a day.

On follow-up examinations, an increase in the amplitude of passive/active movements in the joint and regression of pain syndrome are evaluated.

At the follow-up examination at the time approaching 4 weeks, in one patient, there were signs of superficial inflammation at the axial spoke sites, which did not affect the process and outcome of treatment.

Treatment of patients with malunion of intra-articular fracture of the base of the middle phalanx of the triphalangeal fingers in the delayed period

In 2021–2022, 23 patients with malunion fractures of the palmar edge of the base of the middle phalanx of the

triphalangeal fingers were surgically treated using the hemiarthroplasty method and its modifications. Three patients with damage to the dorsal edge of the base of the middle phalanx accompanied by damage to the central bundle of the common extensor tendon were treated with autograft arthroplasty from the base of the middle phalanx of the second toe. All patients were men; the average age was 51 years (36 to 68 years).

All patients underwent preoperative diagnostics: radiography, computed tomographic study, and clinical evaluation of the range of motion in the joint. According to the radiological and tomographic signs, the fractures of the palmar edge of the base of the middle phalanx with its dorsal subluxation, and in three cases fractures of the dorsal edge of the base of the middle phalanx with palmar subluxation, accompanied by failure of the central bundle of the tendon of the common extensor tendon of the finger, were determined as malunion fractures. According to the Eaton classification, they are categorized as groups IIIa and IIIb. In all cases, the amplitude of movements in PIP joints was sharply limited; flexion was up to 30°. Pain syndrome at the moment of attempted flexion in the joint was assessed by patients ranging from three to four points on VAS.

During preoperative preparation stage, customized 3D templates made of polymer material from the polyacrylate group (MED610) were created for each patient, repeating the exact anatomical landmarks and dimensions of the normal section of the damaged edge of the base of the middle phalanx of the finger, recreated from the same phalanx of the contralateral hand, and, in case of damage to the rear edge, recreated from the middle phalanx of the second toe of the contralateral foot.

At 6–8 weeks after surgery, all patients had an increase in the amplitude of movements in PIP joints up to 80–95°. The VAS pain syndrome was reduced to 0–1 points. The patients denied pain syndrome in the donor hand area at 6 weeks. Consolidation of the fragment of the palmar edge of the base of the middle phalanx was noted on control radiographs.

The primary outcome of the study

The main criteria of the treatment outcome were the assessment of the total amplitude of movements in the operated joint and the degree of pain syndrome severity assessed by VAS.

Subgroup analysis

Patients were divided into two groups based on the age of injury before surgical treatment. Group 1 included patients in the acute period of trauma up to 4 weeks old. Group 2 included patients with long-standing intra-articular injuries (consequences of acute trauma) exceeding 4 weeks.

Undesirable events

In four patients treated in the acute period of trauma with the Suzuki distraction and repositioning apparatus, a

superficial inflammatory process was noted at the sites of the apparatus spokes passage. In one patient, excessive distraction in the PIP joint under the conditions of the apparatus was obtained.

DISCUSSION

In the acute period of trauma, good treatment results were obtained using the method of finger fixation in the Suzuki spoke distraction-reposition apparatus. There was a 5-fold decrease in VAS pain syndrome intensity and a 3.7-fold increase in the total amplitude of movements in the PIP joint by 4–6 months after treatment with the Suzuki apparatus compared with conservative methods of therapy ($p < 0.01$).

When treating patients with long-standing trauma by hemiarthroplasty, a 6-fold decrease in VAS pain intensity and a 3-fold increase in the total amplitude of movements in the PIP joint by 12 months after hemiarthroplasty were achieved ($p < 0.01$).

The proposed tactic, improving the method of hemiarthroplasty, allows the most accurate planning and intraoperative isolation of the hook bone-cartilage autograft. This ensures its accurate juxtaposition in the recipient area, thus improving the indices of the total amplitude of movements of PIP joints in the distant postoperative period, as well as reducing the time of the operating session.

The developed treatment method of patients with damage to the dorsal edge of the middle phalanx and the central bundle of the common extensor tendon enables the reconstruction of the middle phalanx base and performance of extensor tendon plasty as a single procedure.

CONCLUSION

Treatment of patients with intra-articular fractures and fracture dislocations in the PIP joint of the triphalangeal fingers, as well as their consequences, is a complex and urgent problem in traumatology and orthopedics that does not have an unambiguous universal solution. The choice of treatment tactics requires a multifactorial examination of the patient and correct verification and interpretation of the existing injury, which is possible with a deep understanding of the anatomy of the fingers and hand as a whole. When treating patients with intra-articular fractures and fracture dislocations of the middle phalanx base in the acute period of trauma, excellent and good results were obtained using the Suzuki distraction-reposition apparatus. In treating patients with the consequences of intra-articular injuries, good results were obtained using the method of hemiarthroplasty with the bone-cartilage autograft from the hook bone. A treatment method for patients with a defect of the dorsal edge of the middle phalanx base, accompanied by damage to the central bundle of the tendon of the common extensor tendon of the fingers, is presented.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: В.Д. Кузнецов — курация, хирургическое лечение пациента, обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; И.О. Голубев, М.В. Меркулов, О.М. Бушуев, И.А. Кутепов, Г.Г. Балура — курация, хирургическое лечение пациента, обзор литературы, сбор и анализ литературных источников.

Источник финансирования. Не указан.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов В.Ф., Магдиев Д.А., Барсук В.И. Удлинение культи пальцев кисти и устранение укорочений фаланг и пястных костей // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2004. № 1. С. 66–70.
2. Гильмутдинова Л.Т., Кутлиахметов Н.С., Сахбудинова А.Р. Медицинская реабилитация больных с травмами верхних конечностей // Фундаментальные исследования. 2014. Т. 10, № 4. С. 647–650.
3. Коршунов В.Ф., Магдиев Д.А., Барсук В.И. Стабильный интрамедуллярный остеосинтез при переломах пястных костей и фаланг пальцев кисти // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2000. № 2. С. 22–26. doi: 10.17816/vto101596
4. Caggiano N.M., Harper C.M., Rozental T.D. Management of Proximal Interphalangeal Joint Fracture Dislocations // Hand Clinics. 2018. Vol. 34, № 2. P. 149–165. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.005
5. Jha P., Bell D., Hacking C. Keifhaber-Stern classification of volar plate avulsion injuries of hand // Radiopaedia.org. Дата

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. V.D. Kuznetsov — curation, surgical treatment of the patient, literature review, collection and analysis of literary sources, designed the study, wrote the manuscript with input from all authors; I.O. Golubev, M.V. Merkulov, O.M. Bushuev, I.A. Kutepov, G.G. Baliura — curation, surgical treatment of the patient, literature review, collection and analysis of literary sources.

Funding source. Not specified.

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

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

обращения: 26.09.2023. Доступ по ссылке: <https://radiopaedia.org/articles/47255>

6. Jha P., Weerakkody Y., Hacking C., et al. Eaton classification of volar plate avulsion injury // Radiopaedia.org. Дата обращения: 26.09.2023. Доступ по ссылке: doi: 10.53347/rID-47254
7. Lo C.H., Nothdurft S.H., Park H.-S., Paul E., Leong J. Distraction ligamentotaxis for complex proximal interphalangeal joint fracture dislocations: a clinical study and the modified pins rubber band traction system revisited // Burns Trauma. 2018. Vol. 6. P. 23. doi: 10.1186/s41038-018-0124-1
8. Suzuki Y., Matsunaga T., Sato S., Yokoi T. The pins and rubbers traction system for treatment of comminuted intraarticular fractures and fracture-dislocations in the hand // Journal of Hand Surgery (British and European Volume). 1994. Vol. 19, № 1. P. 98–107. doi: 10.1016/0266-7681(94)90059-0

REFERENCES

1. Korshunov VF, Magdiev DA, Barsuk VI. Udlinienie kul'tej pal'cev kisti i ustranenie ukorochenij falang i pyastnyh kostej. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2004;(1):66–70. (In Russ).
2. Gil'mutdinova LT, Kutliahmetov NS, Sahabutdinova AR. Medicinskaya reabilitaciya bol'nyh s travmami verhnih konechnostej. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014;10(4):647–650. (In Russ).
3. Korshunov VF, Magdiev DA, Barsuk VI. Stabil'nyj intramedullyarnyj osteosintez pri perelomah pyastnyh kostej i falang pal'cev kisti. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2000;(2):22–26. (In Russ). doi: 10.17816/vto101596
4. Caggiano NM, Harper CM, Rozental TD. Management of Proximal Interphalangeal Joint Fracture Dislocations. *Hand Clinics*. 2018;34(2):149–165. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.005
5. Jha P, Bell D, Hacking C. Keifhaber-Stern classification of volar plate avulsion injuries of hand. *Radiopaedia.org* [cited 2023 Sep 26]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/47255>
6. Jha P, Weerakkody Y, Hacking C, et al. Eaton classification of volar plate avulsion injury. *Radiopaedia.org* [cited 2023 Sep 26]. Available from: doi: 10.53347/rID-47254
7. Lo CH, Nothdurft SH, Park H-S, Paul E, Leong J. Distraction ligamentotaxis for complex proximal interphalangeal joint fracture dislocations: a clinical study and the modified pins rubber band traction system revisited. *Burns Trauma*. 2018;6:23. doi: 10.1186/s41038-018-0124-1
8. Suzuki Y, Matsunaga T, Sato S, Yokoi T. The pins and rubbers traction system for treatment of comminuted intraarticular fractures and fracture-dislocations in the hand. *Journal of Hand Surgery (British and European Volume)*. 1994;19(1):98–107. doi: 10.1016/0266-7681(94)90059-0

ОБ АВТОРАХ

Голубев Игорь Олегович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-1291-5094;
eLibrary SPIN: 2090-0471;
e-mail: iog305@mail.ru

Меркулов Максим Владимирович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0004-9362-3449;
eLibrary SPIN: 4695-3570;
e-mail: mailmerkulovmv@cito-priorov.ru

* **Кузнецов Василий Дмитриевич**, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0003-1745-8010;
eLibrary SPIN: 4093-7566;
e-mail: Dr.kuznetsovvd@gmail.com

Бушуев Олег Михайлович, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0002-0051-2666;
eLibrary SPIN: 9793-5486;
e-mail: bushuevom@cito-priorov.ru

Кутепов Илья Александрович, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0001-3802-2577;
eLibrary SPIN: 6598-7387;
e-mail: kutepovia@cito-priorov.ru

Балюра Григорий Григорьевич, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-1656-1406;
eLibrary SPIN: 6581-4371;
e-mail: balyuragg@cito-priorov.ru

AUTHORS' INFO

Igor O. Golubev, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-1291-5094;
eLibrary SPIN: 2090-0471;
e-mail: iog305@mail.ru

Maksim V. Merkulov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0004-9362-3449;
eLibrary SPIN: 4695-3570;
e-mail: mailmerkulovmv@cito-priorov.ru

* **Vasily D. Kusnetsov**, post-graduate student,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0003-1745-8010;
eLibrary SPIN: 4093-7566;
e-mail: Dr.kuznetsovvd@gmail.com

Oleg M. Bushuev, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0002-0051-2666;
eLibrary SPIN: 9793-5486;
e-mail: bushuevom@cito-priorov.ru

Ilya A. Kutepov, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0001-3802-2577;
eLibrary SPIN: 6598-7387;
e-mail: kutepovia@cito-priorov.ru

Grigoriy G. Baliura, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-1656-1406;
eLibrary SPIN: 6581-4371;
e-mail: balyuragg@cito-priorov.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430270>

Преимущество переднего доступа при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава (топографо-анатомическое и компьютерно-томографическое обоснование)

И.К. Ерёмин¹, Е.В. Огарёв², А.А. Данильянц³, К.А. Жандаров⁴, Н.В. Загородний^{2,5}¹ ООО «Нейро-клиника», Москва, Российская Федерация;² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;³ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация;⁴ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Российская Федерация;⁵ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Эндопротезирование тазобедренного сустава не только выполняется пожилому населению, но и успешно проводится молодым людям, продолжающим работать и вести активный образ жизни. Росту числа операций способствуют повышение распространённости остеоартроза, гиподинамия, ведущая к увеличению индекса массы тела и, соответственно, нагрузки на суставы нижних конечностей. Увеличение объёма эндопротезирования тазобедренного сустава, расширение показаний, снижение среднего возраста пациентов, которым выполняется вмешательство, и связанный с этим рост требований к операции приводят к необходимости совершенствовать способы хирургического лечения. В странах СНГ прямой передний доступ применяется редко, хотя, на наш взгляд, он является малотравматичным.

Цель исследования. Провести топографо-анатомическое и компьютерно-томографическое обоснование преимуществ использования прямого переднего доступа при выполнении эндопротезирования тазобедренного сустава.

Материалы и методы. Настоящее исследование включало два этапа. Первый: а) послойное анатомическое препарирование области тазобедренного сустава на 5 секционных комплексах с целью установления точных анатомо-топографических связей структур передней области бедра и проектирования выполнения доступов; б) эндопротезирование тазобедренного сустава на 10 биоманекенах с применением двух доступов: 5 операций — прямым передним доступом и 5 — прямым боковым. Второй этап: анализ доступов к тазобедренному суставу с точки зрения критериев, разработанных А.Ю. Сазон-Ярошевичем для оценки оперативных доступов.

Результаты. Данное исследование подтвердило, что прямой передний доступ является малотравматичным, его использование сохраняет мягкие ткани. Однако применение прямого переднего доступа требует дополнительной подготовки хирургов-эндопротезистов. С целью снижения рисков возникновения осложнений, а также для закрепления хирургических навыков в начале кривой обучения авторы советуют выполнить первые 10–20 эндопротезирований на биоманекенах. При прямом переднем доступе к тазобедренному суставу глубина раны на 20–25% меньше, чем при доступе по Хардингу — 101 и 136 мм соответственно.

Заключение. 1. Прямой передний доступ является малотравматичным, поскольку подход к суставу осуществляется по межмышечному промежутку, что позволяет избежать повреждения мягких тканей, сосудов и нервов. 2. По своим характеристикам прямой передний доступ является оптимальным для выполнения эндопротезирования тазобедренного сустава. 3. Сохранение целостности мышц при выполнении прямого переднего доступа позволяет начать раннюю активизацию и реабилитацию пациентов. 4. Применение прямого переднего доступа ассоциировано с улучшением функциональных результатов тазобедренного сустава в раннем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: тазобедренный сустав; тотальное эндопротезирование; прямой передний доступ; прямой боковой доступ; задний доступ; топографическая анатомия; мультиспиральная компьютерная томография.

Как цитировать:

Ерёмин И.К., Огарёв Е.В., Данильянц А.А., Жандаров К.А., Загородний Н.В. Преимущество переднего доступа при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава (топографо-анатомическое и компьютерно-томографическое обоснование) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 301–313. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430270>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430270>

Advantage of the anterior approach in total hip arthroplasty (topographic-anatomical and computed tomography substantiation)

Ivan K. Eremin¹, Egor V. Ogarev², Armen A. Daniliyants³, Kirill A. Zhandarov⁴, Nikolai V. Zagorodniy^{2,5}

¹ LLC "Neuro-clinic", Moscow, Russian Federation;

² Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation;

³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation;

⁴ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation;

⁵ Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Hip arthroplasty is effectively performed for the elderly population and young people who continue to work and have an active lifestyle. An increase in the number of operations is facilitated by an increase in the prevalence of osteoarthritis and physical inactivity, leading to an increase in BMI and, accordingly, the load on the joints of the lower extremities. The increased volume of hip arthroplasty, the expansion of indications, the decrease in the average age of patients undergoing the intervention, and the related increase in surgical needs point to the need to improve surgical treatment approaches. In the CIS countries, the direct anterior approach is rarely used; in our opinion, it is less traumatic.

OBJECTIVE: To conduct a topographic-anatomical and computed tomographic study to support the advantages of using a direct anterior approach when performing hip arthroplasty.

MATERIALS AND METHODS: The present study included two stages: First, (a) layer-by-layer anatomical preparation of the hip joint area on five sectional complexes to establish accurate anatomical and topographic relationships of the structures of the anterior thigh region and design accesses and (b) hip arthroplasty on 10 biomannequins using two approaches: five operations (direct anterior approach) and five operations (direct lateral approach), and second, evaluation of access to the hip joint in terms of criteria developed by A.Yu. Sazon-Yaroshevich to assess online access.

RESULTS: This study confirmed that the direct anterior approach is less traumatic; its use preserves soft tissues. However, the use of a direct anterior approach requires additional training of endoprosthetic surgeons. The authors recommend executing the first 10–20 endoprostheses on biomanikins to link the risk of problems and to solidify surgical skills at the beginning of the learning curve. The depth of the wound is 20–25% less with the direct anterior approach to the hip joint than with the Harding approach — 101 and 136 mm, respectively.

CONCLUSION: Because the approach to the joint is carried out along the intermuscular gap, no soft tissues, blood vessels, or nerves are damaged during the direct anterior approach. According to its characteristics, the direct anterior approach is optimal for performing hip arthroplasty. Maintaining muscles during the performance of the direct anterior approach allows you to begin early activation and rehabilitation of patients. The adoption of a direct anterior approach is related to improved hip joint functional results in the early postoperative period.

Keywords: hip joint; total arthroplasty; direct anterior approach; direct lateral approach; posterior approach; topographic anatomy; multispiral computed tomography.

To cite this article:

Eremin IK, Ogarev EV, Daniliyants AA, Zhandarov KA, Zagorodniy NV. Advantage of the anterior approach in total hip arthroplasty (topographic-anatomical and computed tomography substantiation). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):301–313. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430270>

Received: 17.05.2023

Accepted: 21.06.2023

Published: 11.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире эндопротезирование тазобедренного сустава (ЭТС) не только выполняется пожилому населению, но и успешно проводится молодым людям, которые продолжают работать и вести активный образ жизни. Кроме того, частота выполняемых эндопротезирований неуклонно растёт: так, в США к 2030 году количество указанных операций увеличится на 71% и достигнет 635 000 процедур в год [1]. В Российской Федерации, согласно отчёту НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, в 2018 году было выполнено 116 597 артропластик, из них на долю тазобедренного сустава пришлось 70 316 случаев [2]. А уже в 2019 году число артропластик увеличилось на 20% [3]. Росту числа операций способствуют повышение распространённости в популяции остеоартроза, изменение образа жизни, ведущее к увеличению индекса массы тела и, соответственно, нагрузки на суставы нижних конечностей. Кроме того, согласно ряду исследований и наблюдениям авторов статьи, увеличение числа пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости напрямую ассоциировано с распространением новой коронавирусной инфекции [4–6].

Увеличение объёма проводимых ЭТС, расширение показаний, снижение среднего возраста пациентов, которым выполняется артропластика тазобедренного сустава, и связанный с этим рост требований к операции (таких как ранняя выписка, более низкое использование анальгетиков, экономичность, раннее функциональное восстановление и более короткая иммобилизация) приводят к необходимости совершенствовать имеющиеся на данный момент способы хирургического лечения больных.

Как известно, при выполнении тотального эндопротезирования тазобедренного сустава наиболее часто используются прямой боковой (по Хардингу), передний боковой (по Уотсону–Джонсу) и задний доступы [7]. В Европе и США за последние 20 лет особую популярность приобрёл прямой передний доступ (ППД) [8]. Однако в странах СНГ ППД применяется достаточно редко, хотя, на наш взгляд, он является наименее травматичным, что согласуется с многочисленными исследованиями зарубежных авторов.

Каждый из указанных способов обладает рядом преимуществ и недостатков. Так, согласно данным литературы [7], применение заднего доступа связано с более высоким риском послеоперационного вывиха, поскольку во время операции повреждается задняя капсула сустава, тогда как использование прямого бокового доступа ассоциировано с повышенным риском повреждения верхнего ягодичного нерва, послеоперационной слабости отводящей группы мышц и хромоты. Из-за длительного переднего отведения было высказано предположение о том, что переднебоковой доступ повреждает верхний ягодичный нерв. Использование ППД ассоциировано с риском повреждения латерального кожного нерва бедра.

Согласно ряду исследований, при применении ППД с кривой обучения выше 50 случаев риски послеоперационных осложнений как минимум сопоставимы с таковыми при использовании классических хирургических доступов [9]. При этом такие интраоперационные показатели, как длительность операции и кровопотеря, а также такие послеоперационные показатели, как ранняя реабилитация, длительность нахождения в стационаре, функция тазобедренного сустава, выраженность болевого синдрома, риск послеоперационного вывиха, во многих исследованиях были лучше при использовании ППД, чем при применении классических доступов, на фоне одинаковых показаний [10–13].

При этом основным осложнением при проведении ЭТС с выполнением ППД считается повреждение латерального кожного нерва бедра. Однако ряд хирургов говорят о том, что ввиду тяжёлой технической составляющей начальные этапы кривой обучения ассоциированы с высоким риском осложнений, что сказывается на отсутствии у хирургов интереса учиться выполнению ППД даже при наличии его доказанных преимуществ [14, 15].

Согласно опыту зарубежных коллег, преодоление начала кривой обучения под руководством наставника кратно снижает риски интра- и послеоперационных осложнений [16, 17].

Вышеизложенное побудило авторов статьи провести исследование, целью которого будут топографо-анатомическое обоснование преимуществ использования ППД, компьютерно-томографическая визуализация, отработка техники на кадаверном материале и предложение этого способа в качестве платформы для оттачивания хирургических навыков.

Цель исследования: провести топографо-анатомическое и компьютерно-томографическое обоснование преимуществ использования прямого переднего доступа при выполнении эндопротезирования тазобедренного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

На первом этапе проводилось доклиническое экспериментальное исследование на биологических объектах, на втором — когортное клиническое исследование.

Условия проведения

Первый этап исследования проведён на базе кадавер-центра г. Екатеринбурга, второй этап — на базе отделения лучевой диагностики Юсуповской больницы.

Критерии соответствия

Критерии включения для участия во втором этапе исследования: возраст (18–79 лет); пол (женский — с целью снижения вариабельности выборки); отсутствие предшествующих вмешательств на тазобедренном суставе.

Критерии исключения из участия во втором этапе исследования: предшествующее хирургическое лечение по поводу коксартроза; гнойная инфекция мягких тканей в области поражённого сустава; наличие рубцов в предполагаемой области оперативного вмешательства, затрагивающих костные компоненты поражённого сустава; острый тромбофлебит поверхностных вен; тромбоз глубоких вен нижних конечностей.

Методы оценки целевых показателей

Настоящее исследование включало два этапа. На первом, экспериментальном, этапе мы осуществляли:

- послойное анатомическое препарирование области тазобедренного сустава в кадавер-центре г. Екатеринбурга на 5 секционных комплексах тазобедренных суставов с целью установления точных анатомо-топографических связей структур передней области бедра и проектирования выполнения доступов (на этапе подготовки кадаверный материал проверялся на наличие инфекций (сифилис, гепатит В и С, ВИЧ), после чего выполнялось баллизирование исследуемой области для сохранения прижизненной окраски и эластических свойств анатомических структур при моделировании оперативных вмешательств; непосредственно перед послойным анатомическим препарированием сосуды накачивались гуашь-желатином для сохранения их объёма и придания естественного цвета);
- ЭТС на 10 биоманекенах с применением двух доступов: при 5 операциях — прямого переднего и при 5 — прямого бокового. При этом во всех случаях операция проводилась на правом тазобедренном суставе с целью точного сравнения результатов эндопротезирования с точки зрения анатомической целостности мягких тканей.

На втором этапе исследования все оперативные доступы к тазобедренному суставу были проанализированы с точки зрения критериев, разработанных А.Ю. Сазон-Ярошевичем для оценки оперативных доступов (ось операционного действия, угол отклонения оси операционного действия, угол операционного действия, глубина раны). Для этого использовались данные мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), выполненной 30 пациентам при заболеваниях тазобедренного сустава и таза. Чаще всего это были пациенты с деформирующим коксартрозом. МСКТ выполнялась на спиральном компьютерном томографе LightSpeed VCT. Исследование осуществлялось по стандартной программе для тазобедренного сустава с толщиной срезов 0,6 мм.

Этическая экспертиза

Все манипуляции, выполненные в исследовании с участием людей, соответствовали стандартам локального этического комитета, а также Хельсинкской декларации 1964 г. и более поздним поправкам к ней или сопоставимым этическим стандартам. Для исследования этого типа

формального согласия локального этического комитета не требуется.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Топографо-анатомическое обоснование прямого переднего доступа к тазобедренному суставу

Как известно, на передней поверхности тазобедренного сустава располагаются сосудисто-нервные образования, приходящие сюда из подбрюшинного этажа таза через мышечную и сосудистую лакуны. Через мышечную лакуну (исходя из её названия) на бедро опускается прежде всего подвздошно-поясничная мышца, которая прикрепляется к малому вертелу бедренной кости. А также через мышечную лакуну на бедро выходят бедренный нерв и латеральный кожный нерв бедра (рис. 1).

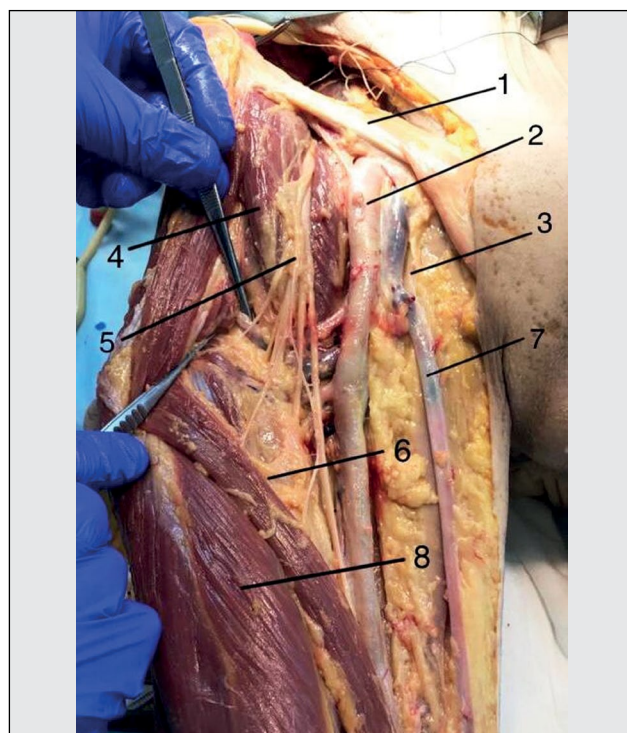


Рис. 1. Анатомия передней области бедра (здесь и в рис. 2–8: фото сделано при использовании кадаверного материала, предоставленного «Ekb_Cadaver_Lab» при АНО ДПО «Научно-образовательный медицинский центр», г. Екатеринбург): 1 — паховая связка (lig. inguinale), 2 — бедренная артерия (a. femoralis), 3 — бедренная вена (v. femoralis), 4 — подвздошно-поясничная мышца (m. iliopsoas), 5 — бедренный нерв (n. femoralis), 6 — портняжная мышца (m. sartorius), 7 — большая подкожная вена (v. saphena magna), 8 — прямая мышца бедра (m. rectus femoris).

Fig. 1. Anatomy of the anterior region of the thigh (here and in Fig. 2–8: the photo was taken using cadaver material provided by Ekb_Cadaver_Lab at the Scientific and Educational Medical Center, Yekaterinburg): 1 — inguinal ligament (lig. inguinale), 2 — femoral artery (a. femoralis), 3 — femoral vein (v. femoralis), 4 — iliopsoas muscle (m. iliopsoas), 5 — femoral nerve (n. femoralis), 6 — sartorius muscle (m. sartorius), 7 — great saphenous vein (v. saphena magna), 8 — rectus femoris (m. rectus femoris).

Латеральный кожный нерв бедра выходит на бедро через самый латеральный отдел мышечной лакуны и располагается субфасциально вдоль латерального края портняжной мышцы (портняжная мышца начинается от передней верхней подвздошной ости и находится поверхностно в собственном фасциальном футляре, образованном собственной (широкой) фасцией бедра). Ниже паховой связки на 2–3 см латеральный кожный нерв бедра у латерального края портняжной мышцы прободает собственную (широкую) фасцию и выходит в слой подкожной жировой клетчатки — идёт вниз по переднелатеральной поверхности бедра, осуществляя чувствительную иннервацию (рис. 2).

Бедренный нерв выходит на бедро через мышечную лакуну по передней поверхности подвздошно-поясничной мышцы и сразу распадается на свои конечные ветви: мышечные порции к передней группе мышц бедра (четырёхглавая и портняжная мышцы), передние кожные ветви к передней поверхности бедра (чувствительная иннервация) и подкожный нерв (направляется к бедренным сосудам и далее в приводящий канал) (рис. 3). Чтобы дойти до своих зон иннервации, ветви бедренного нерва прободают фасцию подвздошно-поясничной мышцы (глубокий листок собственной фасции бедра, переходящий в подвздошно-гребенчатую фасцию) — мышечные ветви достигают четырёхглавой и портняжной мышц прямым путём; передние кожные ветви прободают поверхностный

листок собственной (широкой) фасции бедра и выходят в слой подкожной жировой клетчатки; подкожный нерв выходит на переднюю поверхность бедренной артерии и вены и опускается с ними по передней борозде бедра в приводящий канал.

Бедренная артерия и вены выходят на бедро через сосудистую лакуну как продолжение наружных подвздошных сосудов, причём бедренная вена располагается медиальнее артерии. Бедренные сосуды располагаются сначала в подвздошно-гребенчатой борозде, затем идут вниз в передней борозде бедра в направлении приводящего канала, где к ним подходит подкожный нерв по передней поверхности. На расстоянии 3–4 см дистальнее паховой связки от бедренной артерии отходит глубокая артерия бедра, которая отдаёт свои ветви: медиальная артерия, огибающая бедренную кость; латеральная артерия, огибающая бедренную кость, прободающие артерии (рис. 4).

Только латеральная артерия, огибающая бедренную кость, уходит латерально, проходя под прямой мышцей бедра, далее её восходящая ветвь проходит под прямой и портняжной мышцами и распространяется по переднелатеральной поверхности кверху в ягодичную область, где анастомозирует с верхней ягодичной артерией (рис. 5). Следует отметить, что латеральная артерия, огибающая бедренную кость, проходит позади ветвей бедренного нерва практически в поперечном направлении.

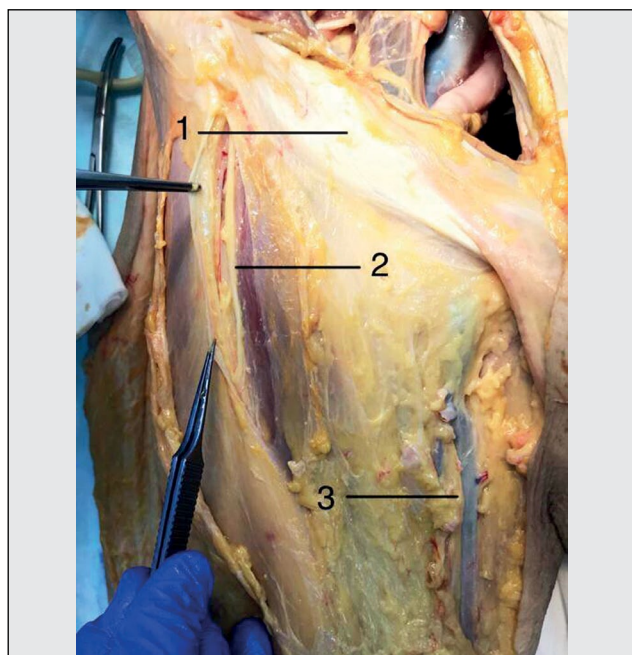


Рис. 2. Анатомия передней области бедра: 1 — паховая связка (lig. inguinale), 2 — латеральный кожный нерв бедра (lateral femoral cutaneous nerve), 3 — большая подкожная вена (v. saphena magna).

Fig. 2. Anatomy of the anterior thigh: 1 — inguinal ligament (lig. inguinale), 2 — lateral cutaneous nerve of the thigh (lateral femoral cutaneous nerve), 3 — great saphenous vein (v. saphena magna).

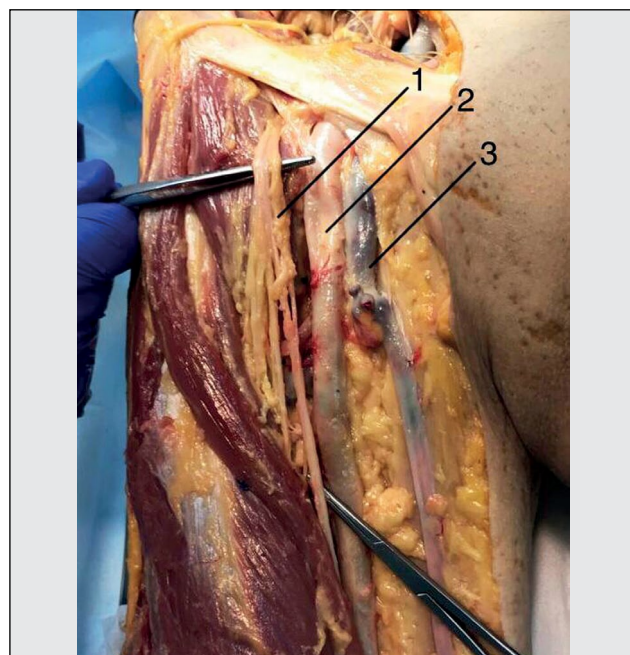


Рис. 3. Сосудисто-нервный пучок передней области бедра: 1 — разветвление бедренного нерва, 2 — бедренная артерия (a. femoralis), 3 — бедренная вена (v. femoralis).

Fig. 3. The neurovascular bundle of the anterior region of the thigh: 1 — branching of the femoral nerve, 2 — femoral artery (a. femoralis), 3 — femoral vein (v. femoralis).

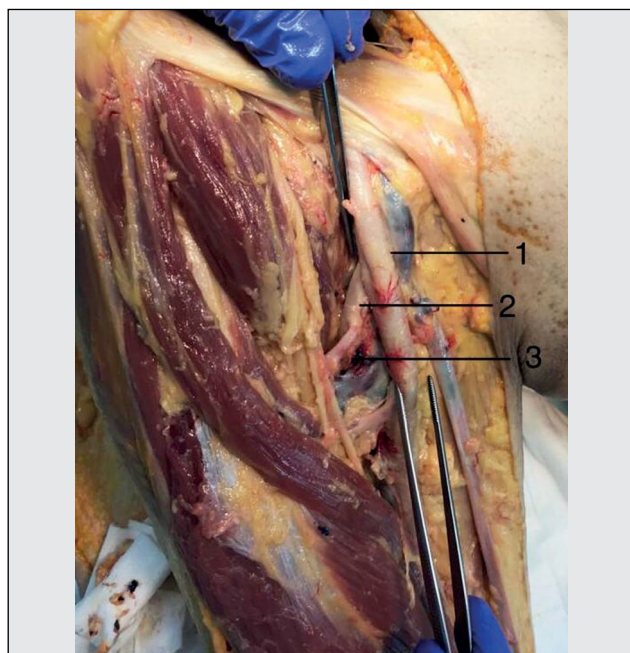


Рис. 4. Анатомия бедренной артерии: 1 — бедренная артерия (a. femoralis), 2 — глубокая артерия бедра (a. femoralis profunda), 3 — латеральная артерия, огибающая бедренную кость (a. circumflexa femoris lateralis).

Fig. 4. Anatomy of the femoral artery: 1 — femoral artery (a. femoralis), 2 — deep femoral artery (a. femoralis profunda), 3 — lateral artery that circumflexes the femur (a. circumflexa femoris lateralis).

Таким образом, бедренный треугольник (ограничен портняжной мышцей снаружи, паховой связкой сверху и длинной приводящей мышцей медиально) является сосредоточением значительного количества сосудисто-нервных структур, через которые не стоит планировать оперативный доступ к тазобедренному суставу. Наиболее удобно осуществлять оперативный доступ снаружки от портняжной мышцы и прямой мышцы бедра, которые как бы отграничивают зону оперативного вмешательства от ветвей бедренного нерва и ветвей глубокой артерии бедра.

Техника выполнения прямого переднего доступа с кожным разрезом «бикини»

Поперечный разрез кожи производится по передней поверхности бедра дистальнее передней верхней подвздошной ости на 3 см и латеральнее также на 3 см (что соответствует центру оси вращения головки бедренной кости), всего длина разреза составляет 9 см, из них 1/3 разреза находится медиальнее портняжной мышцы бедра и 2/3 — латеральнее этой мышцы. Собственная фасция бедра рассекается продольно по латеральному краю портняжной мышцы. Далее тупо раздвигается межмышечный промежуток между напрягателем широкой фасции и средней ягодичной мышцей латерально и портняжной мышцей и прямой мышцей бедра медиально — таким образом осуществляется выход на переднюю поверхность

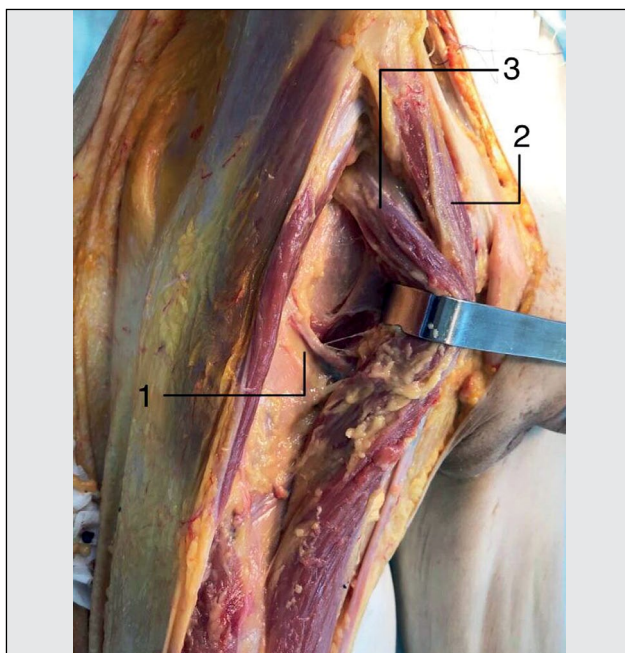


Рис. 5. Анатомия передней области бедра, глубокие слои: 1 — латеральная артерия, огибающая бедренную кость (a. circumflexa femoris lateralis), 2 — портняжная мышца (m. sartorius), 3 — прямая мышца бедра (m. rectus femoris).

Fig. 5. Anatomy of the anterior region of the thigh, deep layers: 1 — lateral artery that circumflexes the femur (a. circumflexa femoris lateralis), 2 — tailor muscle (m. sartorius), 3 — rectus femoris (m. rectus femoris).

тазобедренного сустава. В вышеописанном межмышечном промежутке встречается только латеральная артерия бедра, огибающая бедренную кость, которую следует коагулировать. Поскольку при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава головка и шейка бедренной кости удаляются, коагуляция восходящей ветви латеральной артерии, огибающей бедренную кость, не имеет никаких последствий. Далее относительно капсулы тазобедренного сустава устанавливаются защитники и осуществляется оперативное вмешательство на самом суставе: рассечение капсулы, остеотомия шейки бедренной кости, удаление головки бедренной кости, обработка вертлужной впадины и проксимального конца бедренной кости, установка эндопротеза, ушивание раны. По мнению авторов, наиболее сложной частью операции является элевация бедренной кости.

Стратегию подъёма можно разделить на две отдельные части: манёвр элевации бедра и релиз капсулы. Вопрос в том, какой будет наиболее оптимальная последовательность для безопасного обнажения бедренной кости. Мягкие ткани являются важными ограничениями для мобилизации бедренной кости. В случае если проксимальный отдел бедренной кости не может быть аккуратно извлечён из таза, существует повышенный риск переломов, поскольку либо применяются силовые манипуляции, либо вертел может остаться за краем вертлужной впадины. В результате могут возникнуть проксимальные

или спиральные переломы. Кроме того, доступ к бедренной кости может быть неадекватным и приводить к повышенному риску неправильного расположения компонента или перфорации бедренной кости. Поэтому мы считаем более логичным нивелировать ограничения в виде мягких тканей перед подъёмным манёвром. Кроме того, элевация бедренной кости подразумевает не только переднее, но и латеральное смещение кончика большого вертела за пределы заднего края вертлужной впадины. Поэтому мы предлагаем следующую последовательность: сначала хирург проводит ступенчатое освобождение мягких тканей с последующим плавным смещением бедренной кости в латеральном и вперёд направлении. Это сведёт к минимуму силы, действующие на бедренную кость, и позволит перевести бедренную кость в правильное положение без лишнего давления на ткани. Таким образом, минимизируется риск силовых манёвров и последующих переломов.

Капсулэктомия (авторы советуют данный способ на начальном уровне кривой обучаемости в целях улучшения визуализации ацетабулярной впадины) или капсулотомия выполняется для визуализации шейки бедра. Авторы предпочитают выполнять капсулотомию с последующим сохранением и восстановлением капсулы.

Выделение капсулы осуществляется с помощью 3–4 ретракторов с целью максимально визуализировать переднюю капсулу. Во время процедуры ретракторы должны оставаться в стабильном положении, чтобы свести к минимуму повреждение мягких тканей. Высвобождение капсулы начинается с передней капсулотомии и формирования L-образного лоскута: капсула рассекается от головки бедренной кости до большого вертела, далее от большого вертела разрез продолжается по передней поверхности шейки до малого вертела. При этом необходимо следить за тем, чтобы капсула под подвздошно-поясничной мышцей оставалась неповреждённой. Слой капсулы является своего рода защитой от инструментов во время препарирования кости. После этого выполняется остеотомия шейки бедренной кости и извлечение головки вкручиваемым штопором, далее осуществляют нижнюю и верхнюю капсулотомии. Для нижней капсулотомии (или освобождения лобково-бедренной связки) ипсилатеральную ногу кладут поверх контрлатеральной ноги, чтобы обеспечить небольшую внешнюю ротацию. В результате в поле зрения хирурга попадают малый вертел и лобково-бедренная связка. Для верхней капсулотомии ногу оставляют в нейтральном положении, а костный крючок надевают на *Calcar*, чтобы вытянуть бедренную кость в боковом и переднем направлении. Это позволяет хирургу чётко чувствовать, что освобождение завершено. Когда бедренная кость правильно освобождена, кончик большого вертела может быть поднят за край вертлужной впадины без гиперэкстензии. Отличительной интраоперационной находкой является капсульный «перевернутый знак». Задне-верхняя капсула переворачивается

через кончик большого вертела, когда бедренную кость тянут в латеральном и переднем направлении. Это явное указание на достаточный капсульный релиз.

Таким образом, данное исследование подтвердило, что ППД действительно является малотравматичным, его использование максимально сохраняет мягкие ткани. Однако применение ППД требует дополнительной подготовки хирургов-эндопротезистов. С целью снижения рисков возникновения интра- и послеоперационных осложнений, а также для закрепления хирургических навыков в начале кривой обучения при осуществлении ППД авторы советуют выполнить первые 10–20 эндопротезирований на биоманекенах.

Топография ягодичной области

Топография ягодичной области достаточно сложна, мышцы располагаются в 3 слоя: первый слой — большая ягодичная мышца (рис. 6), второй слой — сверху вниз идут средняя ягодичная мышца, грушевидная мышца, верхняя близнецовая мышца, внутренняя запирательная мышца, нижняя близнецовая мышца и квадратная мышца бедра (рис. 7), третий слой — малая ягодичная мышца и наружная запирательная мышца (рис. 8). Через над- и подгрушевидные отверстия ягодичная область связана с подбрюшинным этажом таза. Через надгрушевидное отверстие в ягодичную область выходит верхний ягодичный сосудисто-нервный пучок, который далее распространяется в межмышечном промежутке между средней ягодичной мышцей и малой ягодичной мышцей сзади наперёд, проходя перпендикулярно ходу волокон этих мышц примерно на середине между местом их начала от тазовой кости и местом их прикрепления к бедренной кости (верхний ягодичный нерв иннервирует среднюю и малую ягодичные мышцы, напрягатель широкой фасции бедра).

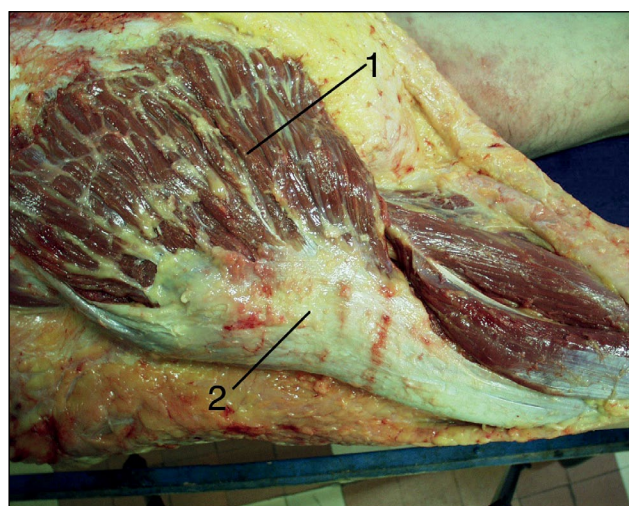


Рис. 6. Анатомия ягодичной области: 1 — большая ягодичная мышца (*m. gluteus maximus*), 2 — подвздошно-большеберцовый тракт (*tractus ilio-tibialis*).

Fig. 6. Anatomy of the gluteal region: 1 — *gluteus maximus* (*m. gluteus maximus*), 2 — *ilio-tibial tract* (*tractus ilio-tibialis*).

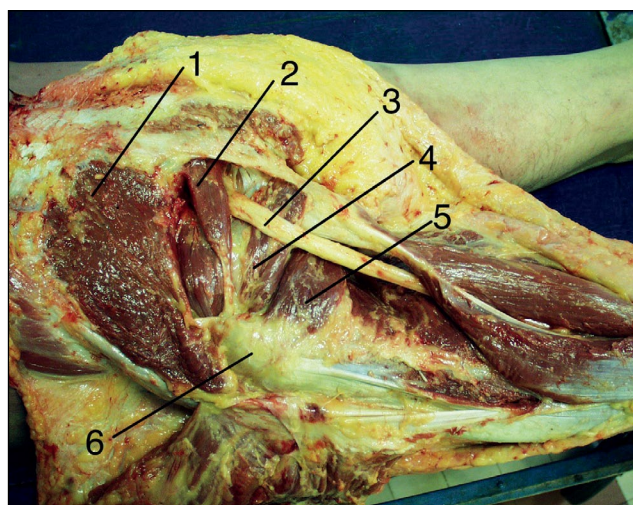


Рис. 7. Анатомия ягодичной области: 1 — средняя ягодичная мышца (*m. gluteus medius*), 2 — грушевидная мышца (*m. piriformis*), 3 — седалищный нерв (*n. ischiadicus*), 4 — мышечный пласт, состоящий из верхней близнецовой, внутренней запирающей и нижней близнецовой мышц (*mm. gemmelli sup. et inf., m. obturatorius internus*), 5 — квадратная мышца (*m. quadratus*), 6 — большой вертел (*trochanter major*).

Fig. 7. Anatomy of the gluteal region: 1 — *gluteus medius* (*m. gluteus medius*), 2 — *piriformis* (*m. piriformis*), 3 — sciatic nerve (*n. ischiadicus*), 4 — muscle layer, consisting of the upper twin, internal obturator and lower twin muscles (*mm. gemmelli sup. et inf., m. obturatorius internus*), 5 — square muscle (*m. quadratus*), 6 — large trochanter (*trochanter major*).

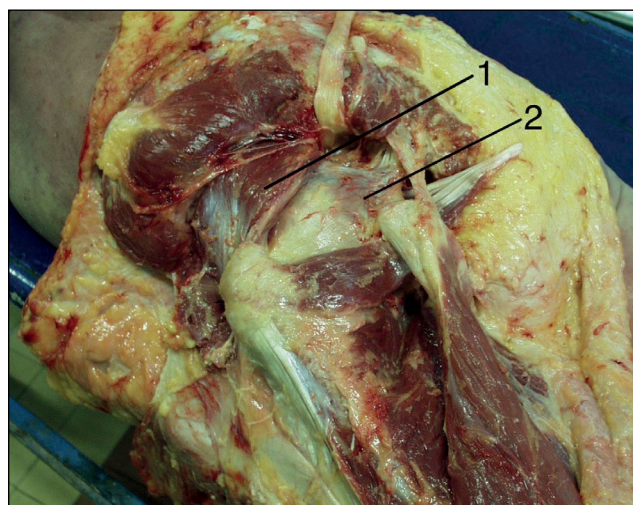


Рис. 8. Анатомия ягодичной области: 1 — малая ягодичная мышца (*m. gluteus minimus*), 2 — капсула тазобедренного сустава.

Fig. 8. Anatomy of the gluteal region: 1 — small gluteal muscle (*m. gluteus minimus*), 2 — capsule of the hip joint.

Через подгрушевидное отверстие в ягодичную область выходят седалищный нерв, задний кожный нерв бедра, нижний ягодичный сосудисто-нервный пучок, половой сосудисто-нервный пучок. Подгрушевидное отверстие проецируется на 4 см медиальнее и на 3 см выше задней поверхности тазобедренного сустава, и практически все

вышеперечисленные сосудисто-нервные образования далее проходят позади тазобедренного сустава, отделяясь от него лишь слоем внутренней запирающей мышцы с близнецовыми мышцами и квадратной мышцей бедра.

При заднем доступе (по сути, задне-боковом) производится рассечение большой ягодичной мышцы по ходу её волокон, отсечение комплекса наружных ротаторов бедра единым лоскутом с капсулой тазобедренного сустава (верхняя близнецовая мышца, внутренняя запирающая мышца, нижняя близнецовая мышца, квадратная мышца бедра). Это позволяет избежать повреждения седалищного нерва (нерв отделён от капсулы сустава вторым слоем мышц ягодичной области), однако при этом увеличиваются сроки заживления раны и отодвигаются сроки начала реабилитации.

Боковой доступ по Хардингу подразумевает рассечение средней и малой ягодичных мышц по ходу их волокон по верхнелатеральной поверхности тазобедренного сустава с отсечением передней порции этих мышц от большого вертела бедренной кости, что, на наш взгляд, также будет увеличивать сроки активизации и реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава.

При тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава дном операционной раны является вертлужная впадина. Вертлужная впадина отклонена книзу и кпереди, что также следует учитывать при выборе оперативного доступа к тазобедренному суставу. Пространственная ориентация вертлужной впадины характеризуется углом вертикального наклона впадины (угол её отклонения книзу относительно фронтальной плоскости) и углом фронтальной инклинации или антеверсии (угол её отклонения кпереди относительно сагиттальной плоскости). У взрослого человека истинный угол вертикального наклона вертлужной впадины составляет 50–52°, угол фронтальной инклинации — 18–25°. Если мы проведём перпендикуляр от плоскости входа в вертлужную впадину на мультипланарных и трёхмерных реконструкциях изображений на рабочей станции МСКТ, ось этого перпендикуляра будет проецироваться на верхние отделы шейки бедра кпереди от большого вертела. Таким образом, при прямом переднем доступе к тазобедренному суставу, когда подход осуществляется по межмышечному промежутку между напрягателем широкой фасции бедра и средней ягодичной мышцей латерально и портняжной мышцей и прямой мышцей бедра медиально в вертикальном направлении, мы получаем наилучший обзор вертлужной впадины. Это облегчает как обработку самой вертлужной впадины, так и правильную установку чашки эндопротеза во впадине. Кроме того, из переднего доступа удобнее проводить и остеотомию шейки бедра в необходимой плоскости, поскольку ось операционного действия при таком доступе будет оптимальной, а угол наклона оси операционного действия приближается к 90°.

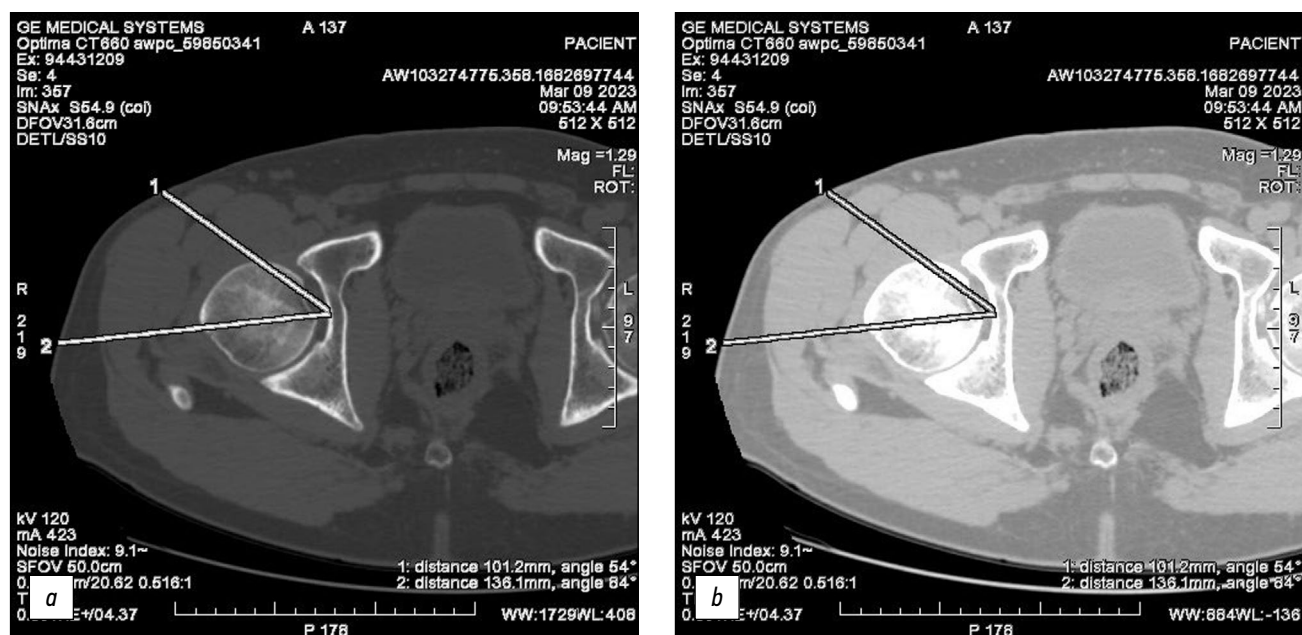


Рис. 9. Снимки мультиспиральной компьютерной томографии, аксиальные срезы: *a* — костный режим, *b* — мягкотканый режим, 1 — измерение глубины раны при переднем доступе, 2 — измерение глубины раны при доступе по Хардингу.

Fig. 9. Images of multislice computed tomography, axial sections: *a* — bone mode, *b* — soft tissue mode, 1 — measurement of the wound depth in the anterior approach, 2 — measurement of the wound depth in the Harding approach.

При выполнении заднего оперативного доступа к тазобедренному суставу угол наклона оси операционного действия не будет превышать 60° , поскольку при таком доступе хирург выходит на задние отделы тазобедренного сустава, а сама вертлужная впадина развёрнута кпереди на $18\text{--}25^\circ$.

При переднем доступе к тазобедренному суставу глубина раны на 20–25% меньше, чем при доступе по Хардингу — 101 и 136 мм соответственно (рис. 9).

ОБСУЖДЕНИЕ

ЭТС является единственным способом лечения при таких заболеваниях, как поздние стадии коксартроза, асептический некроз головки бедренной кости, диспластический коксартроз и др. По мере распространения эндопротезирования снижается средний возраст оперируемых пациентов, что неминуемо приводит к росту требований и ожиданий со стороны больных; так, более важными становятся увеличение срока службы эндопротеза и результатов функционального состояния тазобедренного сустава, восстановление походки и в целом максимально быстрое возвращение к активному образу жизни. Безусловно, классические доступы, используемые при ЭТС, показывают отличные результаты в течение большого количества времени. Кроме того, традиционные подходы в эндопротезировании имеют больший объём показаний, и поэтому трудно представить, что наравне с ними может применяться какой-либо другой доступ. Ввиду отсутствия крупных исследований считается, что риски и осложнения после применения малоинвазивных доступов изучены не до конца [18].

Возможно, небольшое нарушение походки и осанки не всегда имеет значение для лиц пожилого возраста, но указанные показатели могут стать клинически важными для молодых и активных пациентов, ведущих подвижный образ жизни на протяжении многих лет. Несмотря на успех эндопротезирования с точки зрения облегчения боли и улучшения физической функции, у некоторых пациентов нормальная походка не достигается и через 1 год и более после операции.

В последние десятилетия в странах Европы и США особой популярностью стал пользоваться ППД [19, 20]. Так, согласно ежегодному голландскому отчёту, распространение ППД в Нидерландах в 2010 году составляло 5% от общего числа применяемых доступов, а уже в 2020 году значение данного показателя выросло до 49% [21]. Сторонники этого метода проводят исследования, в которых подтверждаются тезисы о том, что в первые 3–6 месяцев применение ППД характеризуется ускоренной послеоперационной реабилитацией, сопровождается меньшей выраженностью болевого синдрома, приводит к улучшению показателей шкал NHS, WOMAC, теста «Встань и иди» [22–24]. Данные факты напрямую связаны с тем, что ППД является наименее травматичным методом.

Однако литературные данные свидетельствуют о крутой кривой обучения и связанном с ней высоким риском осложнений на начальном этапе кривой. Согласно ряду исследований, первые 20 случаев ЭТС с применением ППД должны быть выполнены под руководством опытного хирурга [25]. При опыте от 50 до 100 случаев хирург считается учащимся. А при выполнении более 100 случаев ЭТС с применением ППД

риск возникновения осложнений сопоставим с любым хирургическим доступом. Согласно исследованию китайских коллег Z. Xu с соавт., опыт хирурга, составляющий свыше 2000 случаев, значительно расширит возможности применения ППД и позволит использовать его при оперативном лечении дисплазии 3–4-й степени по классификации Crowe, при ревизионных случаях и в целом увеличит список показаний [26, 27]. Также указанные авторы в другом исследовании успешно проводили подверттельную остеотомию с применением ППД и получили отличные результаты [28].

С учётом того, что среди хирургов-эндопротезистов стран СНГ применение ППД практически не распространено, в том числе ввиду крутой кривой обучения, авторы данной статьи после практической оценки преимуществ использования ППД находят целесообразным популяризацию указанного доступа и проведение данного исследования, целью которого являются анатомо-топографическое обоснование малотравматичности указанного метода, поиск приемлемого способа оттачивания хирургических навыков и, таким образом, снижение риска осложнений.

В научном сообществе до сих пор нет единого мнения касательно научной обоснованности преимуществ использования ППД. Существуют противоречивые сведения о том, действительно ли ППД является щадящим в отношении мягких тканей и ассоциирован с низким риском послеоперационного вывиха [29–32]. Согласно последним исследованиям, пациенты, которым ЭТС выполнялось с применением ППД, меньше нуждаются в опиоидной анальгезии по сравнению с лицами, которым ЭТС выполнялось с использованием других доступов. Функциональное состояние тазобедренного сустава после ЭТС с применением ППД лучше в раннем послеоперационном периоде (0–6 мес), однако через 6–12 месяцев результаты становятся сопоставимыми с таковыми при использовании других доступов [33]. Авторы данного исследования считают, что молодому пациенту важно вернуться к активному образу жизни как можно быстрее, поэтому достижение достаточного опыта применения ППД впоследствии позволит расширить хирургические возможности врача и подобрать оптимальный доступ индивидуально каждому пациенту соответственно показаниям. Тем не менее сторонники утверждают, что ППД связан с улучшением ранних функциональных результатов, но это никогда не было научно обосновано. В результате в настоящее время ведётся много споров о том, является ли передний доступ безопасным, воспроизводимым и повышает ли он эффективность хирургического лечения. Так, в исследовании с использованием МРТ-визуализации тканей после проведённых эндопротезирований пришли к выводу, что ППД связан с меньшей травматизацией мягких тканей по сравнению с прямым боковым и задним доступами [34].

Таким образом, несмотря на имеющуюся на данный момент информацию о ППД, большинство вопросов остаются неосвещёнными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнив данное исследование, авторы пришли к следующим выводам:

- прямой передний доступ является наименее травматичным, поскольку подход к тазобедренному суставу осуществляется строго по анатомическому межмышечному промежутку, что позволяет избежать повреждения мягких тканей, сосудов и нервов;
- по своим характеристикам (ось операционного действия, угол наклона оси операционного действия, угол операционного действия) передний доступ является наиболее оптимальным для выполнения хирургических манипуляций при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава;
- сохранение целостности всех мышц при выполнении переднего доступа к тазобедренному суставу позволяет начать раннюю активизацию и реабилитацию пациентов после его тотального эндопротезирования;
- применение прямого переднего доступа ассоциировано с улучшением функциональных результатов тазобедренного сустава в раннем послеоперационном периоде.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

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

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию их медицинских данных и фотографий (дата подписания: 01.05.2023).

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects 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.

Consent for publication. On May 1, 2023, the patients gave their written consents for publication of their medical data and images.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sloan M., Premkumar A., Sheth N.P. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030 // *J Bone Joint Surg Am.* 2018. Vol. 100, № 17. P. 1455–1460. doi: 10.2106/jbjs.17.01617
2. Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2018 году: ежегодный статистический сборник. Москва: ЦИТО, 2019. Режим доступа: <http://kbf.cito-priorov.ru/#s/9NnN-glg>
3. Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2019 году: ежегодный статистический сборник. Москва: ЦИТО, 2020. Режим доступа: <https://www.cito-priorov.ru/science/ezhogodnyy-statisticheskiy-sbornik-travmatizm-ortopedicheskaya-zabolevaemost-organizatsiya-travmatol/2019/>
4. Allen K.D., Thoma L.M., Golightly Y.M. Epidemiology of osteoarthritis // *Osteoarthritis Cartilage.* 2022. Vol. 30, № 2. P. 184–195. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020
5. Agarwala S.R., Vijayvargiya M., Pandey P. Avascular necrosis as a part of 'long COVID-19' // *BMJ Case Rep.* 2021. Vol. 14, № 7. P. e242101. doi: 10.1136/bcr-2021-242101
6. Zhang S., Wang C., Shi L., et al. 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. P. 983–995. doi: 10.2147/dddt.s298691
7. Docter S., Philpott H.T., Godkin L., et al. Comparison of intra and post-operative complication rates among surgical approaches in Total Hip Arthroplasty: A systematic review and meta-analysis // *J Orthop.* 2020. № 20. P. 310–325. doi: 10.1016/j.jor.2020.05.008
8. Realyvasquez J., Singh V., Shah A.K., et al. The direct anterior approach to the hip: a useful tool in experienced hands or just another approach? // *Arthroplasty.* 2022. Vol. 4, № 1. P. 1. doi: 10.1186/s2Fs42836-021-00104-5
9. Gulbrandsen T.R., Muffly S.A., Shamrock A., et al. Total hip arthroplasty: direct anterior approach versus posterior approach in the first year of practice // *Iowa Orthop J.* 2022. Vol. 42, № 1. P. 127–136.
10. Van der Sijp M.P.L., van Delft D., Krijnen P., et al. Surgical approaches and hemiarthroplasty outcomes for femoral neck fractures: A meta-analysis // *J Arthroplasty.* 2018. Vol. 33, № 5. P. 1617–1627. doi: 10.1016/j.arth.2017.12.029
11. Wang Z., Hou J.-Z., Wu C.-H., et al. A systematic review and meta-analysis of direct anterior approach versus posterior approach in total hip arthroplasty // *J Orthop Surg Res.* 2018. Vol. 13, № 1. P. 229. doi: 10.1186/s13018-018-0929-4
12. Zhou Z., Li Y., Peng Y., et al. Clinical efficacy of direct anterior approach vs. other surgical approaches for total hip arthroplasty: A systematic review and meta-analysis based on RCTs // *Front Surg.* 2022. № 9. P. 1022937. doi: 10.3389/fsurg.2022.1022937
13. Kucukdurmaz F., Sukeik M., Parvizi J. A meta-analysis comparing the direct anterior with other approaches in primary total hip arthroplasty // *Surgeon.* 2019. Vol. 17, № 5. P. 291–299. doi: 10.1016/j.surge.2018.09.001
14. Stone A.H., Sibia U.S., Atkinson R., et al. Evaluation of the learning curve when transitioning from posterolateral to Direct Anterior Hip Arthroplasty: a consecutive series of 1000 cases // *J Arthroplasty.* 2018. Vol. 33, № 8. P. 2530–2534. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.086
15. Ponzio D.Y., Poultides L.A., Salvatore A., et al. In-hospital morbidity and postoperative revisions after direct anterior vs posterior Total hip Arthroplasty // *J Arthroplast.* 2018. № 33. P. 1421–1425.e1. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.053
16. Garbarino L., Gold P., Sodhi N., et al. Does structured postgraduate training affect the learning curve in direct anterior total hip arthroplasty? A single surgeon's first 200 cases // *Arthroplast Today.* 2021. № 7. P. 98–104. doi: 10.1016/j.artd.2020.11.019
17. De Steiger R.N., Lorimer M., Solomon M. What is the learning curve for the anterior approach for total hip arthroplasty? // *Clin Orthop Relat Res.* 2015. Vol. 473, № 12. P. 3860–6. doi: 10.1007/s11999-015-4565-6
18. Petis S., Howard J.L., Lanting B.L., et al. Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes // *Can J Surg.* 2015. Vol. 58, № 2. P. 128–39. doi: 10.1503/cjs.007214
19. Galakatos G.R. Direct anterior total hip arthroplasty // *Mo Med.* 2018. Vol. 115, № 6. P. 537–541.
20. Post Z.D., Orozco F., Diaz-Ledezma C., et al. Direct anterior approach for total hip arthroplasty: indications, technique, and results // *J Am Acad Orthop Surg.* 2014. Vol. 22, № 9. P. 595–603. doi: 10.5435/jaaos-22-09-595
21. LROI report // Annual report Dutch Arthroplasty Register. 2021.
22. Khan I.A., Magnuson J.A., Arshi A., et al. Direct anterior approach in hip hemiarthroplasty for femoral neck fractures: do short-term outcomes differ with approach?: a systematic review and meta-analysis // *JBJS Rev.* 2022. Vol. 10, № 9. doi: 10.2106/jbjs.rvw.21.00202
23. Gazendam A., Bozzo A., Ekhtiari S., et al. Short-term outcomes vary by surgical approach in total hip arthroplasty: a network meta-analysis // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022. Vol. 142, № 10. P. 2893–2902. doi: 10.1007/s00402-021-04131-4
24. Martusiewicz A., Delagrammaticas D., Harold R.E., et al. Anterior versus posterior approach total hip arthroplasty: patient-reported and functional outcomes in the early postoperative period // *Hip Int.* 2020. № 30. P. 695–702. doi: 10.1177/1120700019881413
25. Gofton W.T., Ibrahim M.M., Kreviazuk C.J., et al. Ten-Year experience with the anterior approach to total hip arthroplasty at a Tertiary Care Center // *J Arthroplasty.* 2020. Vol. 35, № 5. P. 1281–1289.e1. doi: 10.1016/j.arth.2019.12.025
26. Xu Z., Zhang J., Li J., et al. Direct anterior approach in total hip arthroplasty: more indications and advantages than we found // *Arthroplasty.* 2022. Vol. 4, № 1. P. 29. doi: 10.1186/s42836-022-00130-x
27. Liu Z., Bell C.D., Ong A.C., et al. Direct anterior approach total hip arthroplasty for Crowe III and IV dysplasia // *Arthroplast Today.* 2020. Vol. 6, № 2. P. 251–256. doi: 10.1016/j.artd.2020.02.008
28. Liu Z.Y., Li Z.Q., Wu S.T., et al. Subtrochanteric osteotomy in direct anterior approach total hip arthroplasty // *Orthop Surg.* 2020. Vol. 12, № 6. P. 2041–2047. doi: 10.1111/os.12744
29. Huerfano E., Bautista M., Huerfano M., et al. Use of surgical approach is not associated with instability after primary total hip arthroplasty: a meta-analysis comparing direct anterior and posterolateral approaches // *J Am Acad Orthop Surg.* 2021. Vol. 29, № 22. P. e1126–e1140. doi: 10.5435/jaaos-d-20-00861
30. Zijlstra W.P., De Hartog B., Van Steenberghe L.N., et al. Effect of femoral head size and surgical approach on risk of revision for

dislocation after total hip arthroplasty // *Acta Orthop*. 2017. Vol. 88, № 4. P. 395–401. doi: 10.1080/17453674.2017.1317515

31. Rykov K., Meys T.W.G.M., Knoben B.A.S., et al. MRI assessment of muscle damage after the posterolateral versus direct anterior approach for THA (Polada Trial). A randomized controlled trial // *J Arthroplasty*. 2021. Vol. 36, № 9. P. 3248–3258.e1. doi: 10.1016/j.arth.2021.05.009

32. Patel N., Golwala P. Approaches for total hip arthroplasty: a systematic review // *Cureus*. 2023. Vol. 15, № 2. P. e34829. doi: 10.7759/cureus.34829

33. Zhao H.Y., Kang P.D., Xia Y.Y., et al. Comparison of early functional recovery after total hip arthroplasty using a direct anterior or posterolateral approach: a randomized controlled trial // *J Arthroplasty*. 2017. Vol. 32, № 11. P. 3421–3428. doi: 10.1016/j.arth.2017.05.056

34. Agten C.A., Sutter R., Dora C., et al. MR imaging of soft tissue alterations after total hip arthroplasty: comparison of classic surgical approaches // *Eur Radiol*. 2017. Vol. 27, № 3. P. 1312–1321. doi: 10.1007/s00330-016-4455-7

REFERENCES

1. Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(17):1455–1460. doi: 10.2106/jbjs.17.01617

2. Injuries, orthopedic morbidity, the state of trauma and orthopedic care for the population of Russia in 2018: an annual statistical collection. Moscow: CITO; 2019. Available from: <http://kbf.cito-priorov.ru/#s/9NnN-glg> (In Russ).

3. Injuries, orthopedic morbidity, the state of trauma and orthopedic care for the population of Russia in 2019: an annual statistical collection. Moscow: CITO; 2020. Available from: <https://www.cito-priorov.ru/science/ezhegodnyy-statisticheskiy-sbornik-travmatizm-ortopedicheskaya-zabolevaemost-organizatsiya-travmatol/2019/> (In Russ).

4. Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2022;30(2):184–195. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020

5. Agarwala SR, 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

6. Zhang S, Wang C, Shi L, et al. 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/ddt.s298691

7. Docter S, Philpott HT, Godkin L, et al. Comparison of intra and post-operative complication rates among surgical approaches in Total Hip Arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop*. 2020;(20):310–325. doi: 10.1016/j.jor.2020.05.008

8. Realyvasquez J, Singh V, Shah AK, et al. The direct anterior approach to the hip: a useful tool in experienced hands or just another approach? *Arthroplasty*. 2022;4(1):1. doi: 10.1186%2Fs42836-021-00104-5

9. Gulbrandsen TR, Muffly SA, Shamrock A, et al. Total hip arthroplasty: direct anterior approach versus posterior approach in the first year of practice. *Iowa Orthop J*. 2022;42(1):127–136.

10. Van der Sijp MPL, van Delft D, Krijnen P, et al. Surgical approaches and hemiarthroplasty outcomes for femoral neck fractures: A meta-analysis. *J Arthroplasty*. 2018;33(5):1617–1627. doi: 10.1016/j.arth.2017.12.029

11. Wang Z, Hou J-Z, Wu C-H, et al. A systematic review and meta-analysis of direct anterior approach versus posterior approach in total hip arthroplasty. *J Orthop Surg Res*. 2018;13(1):229. doi: 10.1186/s13018-018-0929-4

12. Zhou Z, Li Y, Peng Y, et al. Clinical efficacy of direct anterior approach vs. other surgical approaches for total hip arthroplasty:

A systematic review and meta-analysis based on RCTs. *Front Surg*. 2022;(9):1022937. doi: 10.3389/fsurg.2022.1022937

13. Kucukdurmaz F, Sukeik M, Parvizi J. A meta-analysis comparing the direct anterior with other approaches in primary total hip arthroplasty. *Surgeon*. 2019;17(5):291–299. doi: 10.1016/j.surge.2018.09.001

14. Stone AH, Sibia US, Atkinson R, et al. Evaluation of the learning curve when transitioning from posterolateral to Direct Anterior Hip Arthroplasty: a consecutive series of 1000 cases. *J Arthroplasty*. 2018;33(8):2530–2534. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.086

15. Ponzio DY, Poultides LA, Salvatore A, et al. In-hospital morbidity and postoperative revisions after direct anterior vs posterior Total hip Arthroplasty. *J Arthroplast*. 2018;(33):1421–1425.e1. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.053

16. Garbarino L, Gold P, Sodhi N, et al. Does structured postgraduate training affect the learning curve in direct anterior total hip arthroplasty? A single surgeon's first 200 cases. *Arthroplast Today*. 2021;(7):98–104. doi: 10.1016/j.artd.2020.11.019

17. De Steiger RN, Lorimer M, Solomon M. What is the learning curve for the anterior approach for total hip arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(12):3860–6. doi: 10.1007/s11999-015-4565-6

18. Petis S, Howard JL, Lanting BL, et al. Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes. *Can J Surg*. 2015;58(2):128–39. doi: 10.1503/cjs.007214

19. Galakatos GR. Direct anterior total hip arthroplasty. *Mo Med*. 2018;115(6):537–541.

20. Post ZD, Orozco F, Diaz-Ledezma C, et al. Direct anterior approach for total hip arthroplasty: indications, technique, and results. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(9):595–603. doi: 10.5435/jaaos-22-09-595

21. LROI report. *Annual report Dutch Arthroplasty Register*; 2021.

22. Khan IA, Magnuson JA, Arshi A, et al. Direct anterior approach in hip hemiarthroplasty for femoral neck fractures: do short-term outcomes differ with approach?: a systematic review and meta-analysis. *JBJS Rev*. 2022;10(9). doi: 10.2106/jbjs.rvw.21.00202

23. Gazendam A, Bozzo A, Ekhtiari S, et al. Short-term outcomes vary by surgical approach in total hip arthroplasty: a network meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(10):2893–2902. doi: 10.1007/s00402-021-04131-4

24. Martusiewicz A, Delagrammaticas D, Harold RE, et al. Anterior versus posterior approach total hip arthroplasty: patient-reported and functional outcomes in the early postoperative period. *Hip Int*. 2020;(30):695–702. doi: 10.1177/1120700019881413

25. Gofton WT, Ibrahim MM, Kreviazuk CJ, et al. Ten-Year experience with the anterior approach to total hip arthroplasty at

- a Tertiary Care Center. *J Arthroplasty*. 2020;35(5):1281–1289.e1. doi: 10.1016/j.arth.2019.12.025
26. Xu Z, Zhang J, Li J, et al. Direct anterior approach in total hip arthroplasty: more indications and advantages than we found. *Arthroplasty*. 2022;4(1):29. doi: 10.1186/s42836-022-00130-x
27. Liu Z, Bell CD, Ong AC, et al. Direct anterior approach total hip arthroplasty for Crowe III and IV dysplasia. *Arthroplast Today*. 2020;6(2):251–256. doi: 10.1016/j.artd.2020.02.008
28. Liu ZY, Li ZQ, Wu ST, et al. Subtrochanteric osteotomy in direct anterior approach total hip arthroplasty. *Orthop Surg*. 2020;12(6):2041–2047. doi: 10.1111/os.12744
29. Huerfano E, Bautista M, Huerfano M, et al. Use of surgical approach is not associated with instability after primary total hip arthroplasty: a meta-analysis comparing direct anterior and posterolateral approaches. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021;29(22):e1126–e1140. doi: 10.5435/jaaos-d-20-00861
30. Zijlstra WP, De Hartog B, Van Steenberghe LN, et al. Effect of femoral head size and surgical approach on risk of revision for

- dislocation after total hip arthroplasty. *Acta Orthop*. 2017;88(4):395–401. doi: 10.1080/17453674.2017.1317515
31. Rykov K, Meys TWGM, Knobben BAS, et al. MRI assessment of muscle damage after the posterolateral versus direct anterior approach for THA (Polada Trial). A randomized controlled trial. *J Arthroplasty*. 2021;36(9):3248–3258.e1. doi: 10.1016/j.arth.2021.05.009
32. Patel N, Golwala P. Approaches for total hip arthroplasty: a systematic review. *Cureus*. 2023;15(2):e34829. doi: 10.7759/cureus.34829
33. Zhao HY, Kang PD, Xia YY, et al. Comparison of early functional recovery after total hip arthroplasty using a direct anterior or posterolateral approach: a randomized controlled trial. *J Arthroplasty*. 2017;32(11):3421–3428. doi: 10.1016/j.arth.2017.05.056
34. Agten CA, Sutter R, Dora C, et al. MR imaging of soft tissue alterations after total hip arthroplasty: comparison of classic surgical approaches. *Eur Radiol*. 2017;27(3):1312–1321. doi: 10.1007/s00330-016-4455-7

ОБ АВТОРАХ

Ерёмин Иван Константинович,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-0992-0706;
eLibrary SPIN: 9019-4184;
e-mail: eremindocor@yandex.ru

Огарёв Егор Витальевич, к.м.н.,

врач-рентгенолог, старший научный сотрудник;
ORCID: 0000-0003-0621-1047;
e-mail: evogarev@yandex.ru

* Данильянц Армен Альбертович, студент;

адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, дом 1;
ORCID: 0000-0001-6692-0975;
e-mail: armendts@mail.ru

Жандаров Кирилл Александрович, к.м.н., доцент;

ORCID: 0000-0002-2908-6990;
eLibrary SPIN: 5846-8200;
e-mail: zhandarov_k_a@staff.sechenov.ru

Загородний Николай Васильевич, д.м.н., профессор,

член-корреспондент РАН, врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-6736-9772;
eLibrary SPIN: 6889-8166;
e-mail: zagorodniy51@mail.ru

AUTHORS' INFO

Ivan K. Eremin,

orthopedic traumatologist;
ORCID: 0000-0002-0992-0706;
eLibrary SPIN: 9019-4184;
e-mail: eremindocor@yandex.ru

Egor V. Ogarev, MD, Cand. Sci. (Med.),

radiologist, senior researcher;
ORCID: 0000-0003-0621-1047;
e-mail: evogarev@yandex.ru

* Armen A. Daniliyants, student;

address: 1 Ostrovityanova str., Moscow, 117997, Russia;
ORCID: 0000-0001-6692-0975;
e-mail: armendts@mail.ru

Kirill A. Zhandarov, MD, Cand. Sci. (Med.), assistant professor;

ORCID: 0000-0002-2908-6990;
eLibrary SPIN: 5846-8200;
e-mail: zhandarov_k_a@staff.sechenov.ru

Nikolay V. Zagorodniy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,

Corresponding member of RAS, traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-6736-9772;
eLibrary SPIN: 6889-8166;
e-mail: zagorodniy51@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430259>

Анализ среднесрочных результатов коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы

А.В. Скребцов², В.К. Никитина², В.Г. Процко^{1,2}, С.К. Тамоев²,
В.В. Скребцов², Д.С. Якушев³

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация;

² Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Российская Федерация;

³ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вальгусная деформация первого пальца стопы является одной из наиболее часто встречаемых деформаций стопы. На сегодняшний день для коррекции данной деформации предложено множество методик, но одной из наиболее часто используемых является остеотомия Scarf первой плюсневой кости, которая дополняется остеотомией Akin проксимальной фаланги первого пальца. В данной публикации приводится анализ среднесрочных результатов коррекции деформации первого пальца стопы.

Цель. Анализ среднесрочных результатов коррекции вальгусного отклонения первого пальца стопы при использовании остеотомии Scarf и комбинации остеотомий Scarf и Akin и сравнение их с результатами, описанными в литературе.

Методы. Данное исследование является наблюдательным одномоментным. В исследование были включены 129 пациентов (147 стоп), которым была выполнена коррекция деформаций переднего отдела стопы в период с января по декабрь 2017 года. Исследовались клинические, рентгенологические показатели с помощью шкал AOFAS, FFI, визуально-аналоговой шкалы ВАШ и вопросов, касающихся субъективной оценки пациентами проведённого лечения.

Результаты. Результаты исследования отображали увеличение показателей шкалы AOFAS с 59,0 (16–88, SD=18,6) до оперативного вмешательства до 85,0 (53–100, SD=13,3) ($p < 0,001$) через 5 лет после проведённой коррекции. Показатели ВАШ снизились с 5,7 (0–10, SD=2,2) до 2,4 (0–5, SD=1,4) ($p < 0,001$). Показатели шкалы FFI также изменились с 40,9 (10–78, SD=18,1) до 11,3 (0–19, SD=5,0) ($p < 0,001$) после хирургического лечения. Согласно проведённому анкетированию, 96,7% пациентов согласились бы на повторное проведение операции, 96,9% прооперированных советовали бы данное хирургическое вмешательство родственникам, а 94,6% были довольны эстетическим результатом операции. 95,4% пациентов были удовлетворены проведённым лечением с точки зрения исчезновения болевого синдрома и дискомфорта. 98,4% проконсультированных пациентов были довольны функциональными результатами проведённого хирургического вмешательства. Рентгенологические показатели углов HVA, IMA и положение сесамовидных костей по шкале Hardy and Clapham также свидетельствуют о хороших среднесрочных результатах с минимальным числом рецидивов. Ограничение подвижности в первом плюснефаланговом суставе отмечалось в 68 случаях (46,3%). В 4 случаях (2,7%) имело место осложнение в виде поверхностного воспаления мягких тканей. В 1 случае отмечалось ятрогенное варусное отклонение первого пальца стопы. В 34 случаях (23,1%) у пациентов было выполнено удаление металлофиксаторов. В 17 случаях (11,6%) удаление было произведено в течение 1 года.

Заключение. Остеотомия Scarf, как отдельно, так и в сочетании с остеотомией Akin, является эффективным способом коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы.

Ключевые слова: hallux valgus; остеотомия Scarf; остеотомия Akin; вальгусная деформация первого пальца.

Как цитировать:

Скребцов А.В., Никитина В.К., Процко В.Г., Тамоев С.К., Скребцов В.В., Якушев Д.С. Анализ среднесрочных результатов коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 315–324. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430259>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430259>

Analysis of medium-term outcomes after surgical correction hallux valgus deformity

Alexander V. Skrebtsov², Victoria K. Nikitina², Victor G. Protsko^{1,2}, Sargon K. Tamoev², Vladimir V. Skrebtsov², Denis S. Yakushev³

¹ Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation;

² Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation;

³ Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: One of the most prevalent foot abnormalities is valgus deformity of the first toe. Many procedures have been proposed to correct this deformity, but one of the most Scarf osteotomy of the first metatarsal bone, which is complemented by the Akin osteotomy of the proximal phalanx of the first finger, is one of the most widely used. This publication analyzes the mid-term effect of repairing the deformity of the first toe using the methods described above.

AIMS: To evaluate the mid-term outcomes of hallux valgus correction using Scarf osteotomy and the combination of Scarf and Akin osteotomies to the literature.

MATERIALS AND METHODS: This is a cross-sectional, observational study. From January to December 2017, 129 patients (147 ft.) received forefoot deformity. Clinical and radiographic parameters were studied using the AOFAS, FFI, and VAS scales and questions related to the subjective assessment of patients by the treatment.

RESULTS: The study's findings revealed an increase in AOFAS scores from 59.0 (16–88, SD=18.6) before surgery to 85.0 (53–100, SD=13.3; $p < 0.001$) 5 yr later. The VAS scores fell from 5.7 (0–10, SD=2.2) to 2.4 (0–5, SD=1.4; $p < 0.001$). After surgery, the FFI scale score decreased from 40.9 (10–78, SD=18.1) to 11.3 (0–19, SD=5.0; $p < 0.001$). According to the survey, 96.7% of patients would agree to a second operation, 96.9% of those who had surgery would recommend it to their relatives, and 94.6% were satisfied with the aesthetic result of the operation. Most patients (95.4%) were satisfied with the treatment in terms of the disappearance of pain and discomfort. The functional results of the surgical surgery were satisfactory to 98.4% of the patients who were consulted. Radiographic HVA, IMA angle, and Hardy and Clapham sesamoid position scores all indicated favorable mid-term outcomes with no deformity recurrence. In 46.3% of patients (68 patients), there was limited mobility in the first metatarsophalangeal joint. A complication in superficial soft tissue irritation occurred in four patients (2.7%). Iatrogenic varus deviation of one toe was observed in one patient. Metal fixators were removed from patients in 34 patients (23.1%). The removal was completed within a year in 17 cases (11.6%).

CONCLUSIONS: Scarf osteotomy, alone or in combination with Akin osteotomy, is a successful treatment for hallux valgus.

Keywords: hallux valgus; Scarf osteotomy; Akin osteotomy; valgus deformity of the great toe.

To cite this article:

Skrebtsov AV, Nikitina VK, Protsko VG, Tamoev SK, Skrebtsov VV, Yakushev DS. Analysis of medium-term outcomes after surgical correction hallux valgus deformity. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):315–324. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto430259>

ОБОСНОВАНИЕ

Hallux valgus является одной из наиболее частых деформаций переднего отдела стопы и представляет собой латеральную девиацию основной фаланги первого пальца с медиальным отклонением первой плюсневой кости [1] (рис. 1). Согласно данным литературы, вальгусное отклонение первого пальца стопы встречается у 3–4% от всей популяции [2, 3]. Результаты других авторов свидетельствуют о том, что данная деформация отмечается у 23–44% всех половозрелых женщин [4]. Основными жалобами пациентов являются косметический дефект, болевой синдром и ухудшение качества жизни в целом [5]. В настоящее время остеотомия Scarf является наиболее часто применяемой хирургической техникой для коррекции вальгусного отклонения первого пальца стопы. Данная методика используется как изолированно, так и при применении остеотомии Akin. Однако на сегодняшний день только остеотомия Akin используется редко [6]. В большинстве случаев как краткосрочные, так и более длительные результаты показали сравнимую эффективность применения комбинации данных методик [7, 8]. При этом чётких рекомендаций к применению остеотомии Akin нет [9, 10]. Исходя из этого, в данном исследовании нами было принято решение не разделять пациентов с проведёнными остеотомиями Scarf и Scarf в комбинации с Akin на разные группы.

Цель исследования — анализ среднесрочных результатов коррекции вальгусного отклонения первого пальца стопы при использовании остеотомии Scarf и комбинации остеотомий Scarf и Akin и сравнение их с результатами, описанными в литературе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено обсервационное одномоментное исследование.



Рис. 1. Вальгусная деформация первого пальца обеих стоп.

Fig. 1. Valgus deformity of the first ray of both feet.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- возраст от 18 лет;
- вальгусная деформация первого пальца стопы (угол HVA >16 и <45 градусов, M1–M2 >10 градусов);
- подпись пациентом информированного согласия на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- тяжёлые деформации переднего отдела стопы, требующие дополнительных хирургических вмешательств;
- артродезы смежных суставов;
- наличие ожирения;
- наличие ранее перенесённых вмешательств на переднем отделе стопы;
- возраст младше 18 лет, так как ювенильная деформация hallux valgus выделяется в отдельную патологию;
- отсутствие полного комплекта рентгенологического обследования;
- сопутствующие хронические заболевания (сахарный диабет, заболевания ревматологического профиля);
- отказ пациента от участия в исследовании.

Условия проведения

Исследование проведено в период с декабря 2022 по апрель 2023 года, когда были осуществлены консультативные осмотры 129 пациентов, которым выполнили 147 оперативных вмешательств, направленных на коррекцию вальгусной деформации первого пальца. Хирургическое лечение было проведено в период с января по декабрь 2017 г. в Городской клинической больнице им. С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы.

Описание медицинского вмешательства

Все операции выполняли под комбинированной спинально-эпидуральной анестезией. После наложения жгута Мартенса применяли медиально-боковой доступ в положении пациента лёжа на спине. Выполняли капсулотомию первого плюснефалангового сустава. При помощи осцилляторной пилы выполняли фигурную Z-образную остеотомию первой плюсневой кости. После коррекции положения производилась фиксация 2 спонгиозными винтами Герберта. При интраоперационной недостаточной коррекции положения первого пальца или неправильной ротации первого пальца выполняли остеотомию Akin. Профилактику инфекционных осложнений осуществляли с помощью интраоперационного введения антибактериальных препаратов (цефалоспорины I поколения).

Послеоперационное ведение пациентов осуществлялось по единому протоколу. На вторые сутки после оперативного вмешательства пациента активизировали в специализированной обуви с разгрузкой переднего отдела

стопы (обувь Барука). Перевязка послеоперационных ран выполнялась через 1 день с применением растворов антисептиков. В послеоперационном периоде пациент передвигался в обуви Барука на протяжении 6 недель.

Основной исход исследования

В исследовании проведён анализ среднесрочных результатов. За границы наблюдения нами были приняты следующие сроки: краткосрочные наблюдения — от 30 до 60 месяцев, среднесрочные — 60–150 месяцев, долгосрочные — более 150 месяцев [11].

Дополнительные исходы исследования

Анализ в подгруппах

Дополнительный анализ в подгруппах не проводился.

Методы регистрации исходов

Контрольные осмотры проводились сотрудниками, не принимавшими участие в лечении пациентов. Оценивались такие рентгенологические параметры, как плюснефаланговый угол HVA (англ. Hallux valgus angle), межплюсневый угол IMA (англ. Intermetatarsal angle), положения сесамовидных костей по шкале Hardy and Clapham, а также результаты анкетирования по визуально-аналоговой шкале ВАШ, шкалам AOFAS (англ. American Orthopaedic Foot & Ankle Society) для переднего отдела стопы и FFI (англ. Foot Function Index). Производился опрос пациентов для оценки их удовлетворённости проведённым лечением — с точки зрения исчезновения боли и дискомфорта, эстетики и внешнего вида стопы в послеоперационном периоде, функциональных результатов лечения. Также пациентам были заданы следующие вопросы: «Посоветовали ли бы вы данное лечение вашим родственникам?» и «Согласились ли бы вы на проведение данного вмешательства снова?»

За норму объёма движений в первом плюснефаланговом суставе принимался объём движения 120 градусов (диапазон — 45 градусов сгибания и 75 градусов разгибания) [12]. За умеренное ограничение движения — диапазон движений в пределах 30–74 градусов. За грубое нарушение движения — объём движения менее 30 градусов.

Этическая экспертиза

Этическую экспертизу не проводили. Все пациенты, участвовавшие в исследовании, подписали письменное информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство и публикацию результатов исследования.

Статистический анализ

Полученные в процессе выполнения работы клинические результаты анализировали посредством программной системы Jamovi 2.2.5. Проводилась проверка нормальности распределения при помощи критерия

Шапиро–Уилка. Оценка внутригрупповой динамики количественных признаков проводилась при помощи критерия Вилкоксона и парного критерия Стьюдента. Критерий Вилкоксона использовался при анализе показателей HVA, IMA, ВАШ, шкалы AOFAS. Парный критерий Стьюдента применялся для анализа результатов шкалы FFI (критерий Шапиро–Уилка, $p=0,199$). Использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Различия принимали за статистически значимые при $p < 0,05$. Размер выборки пациентов предварительно не рассчитывался.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование включены 129 пациентов, из них 120 (93%) женщин и 9 (7%) мужчин. Возраст пациентов в группе наблюдения варьировал от 29 до 73 лет. Средний возраст составил 49,2 года. Все 18 двусторонних оперативных вмешательств по коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы были проведены у женщин.

Основные результаты исследования

Согласно проведённому анкетированию, 96,7% пациентов согласились бы на повторное проведение операции, 96,9% прооперированных посоветовали бы данное хирургическое вмешательство родственникам, а 94,6% были довольны эстетическим результатом операции. Большая часть пациентов, а именно 95,4%, были удовлетворены проведённым лечением с точки зрения исчезновения болевого синдрома и дискомфорта. 98,4% проконсультированных пациентов были довольны функциональными результатами проведённого хирургического вмешательства.

Показатели шкалы AOFAS возросли с 59,0 (16–88, SD=18,6) до оперативного вмешательства до 85,0 (53–100, SD=13,3) ($p < 0,001$) спустя 5 лет после проведённого лечения, направленного на коррекцию вальгусного отклонения первого пальца стопы.

Показатели ВАШ снизились с 5,7 (0–10, SD=2,2) до 2,4 (0–5, SD=1,4) ($p < 0,001$).

Результаты тестирования по индексу FFI также показали снижение с 40,9 (10–78, SD=18,1) до 11,3 (0–19, SD=5,0) ($p < 0,001$) после хирургического вмешательства.

Рентгенологические результаты исследования продемонстрировали значимую коррекцию показателей межплюсневового угла, плюснефалангового угла и положения сесамовидных костей по шкале Hardy and Clapham.

Среднее значение HVA до оперативного вмешательства составляло 29 градусов (17–44, SD=7,4), сразу после оперативного вмешательства анализ послеоперационных рентгенограмм позволил определить среднее значение HVA равным 9 градусам (2–14, SD=2,4) ($p < 0,001$), на момент консультативного приёма через 5 лет среднее значение HVA было равно 10 градусам (0–20, SD=3,8) ($p=0,588$). Межплюсневый угол IMA в группе пациентов до хирургической коррекции был равен 14 градусам (10–17, SD=2,4),

Таблица 1. Положение сесамовидных костей по шкале Hardy and Clapham

Table 1. Position of sesamoid bones according to the Hardy and Clapham scale

Положение сесамовидных костей	До оперативного вмешательства, стоп (%)	Сразу после оперативного вмешательства, стоп (%)	На момент консультативного приёма, стоп (%)
I	0 (0,0)	70 (47,6)	42 (28,6)
II	0 (0,0)	63 (42,9)	84 (57,1)
III	15 (10,2)	14 (9,5)	21 (14,3)
IV	92 (62,6)	0 (0,0)	0 (0,0)
V	34 (23,1)	0 (0,0)	0 (0,0)
VI	6 (4,1)	0 (0,0)	0 (0,0)
VII	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)

сразу после оперативного вмешательства — 7 градусам (4–10, SD=1,7) ($p < 0,001$), на момент консультативного приёма — 7 градусам (1–22, SD=3,53) ($p=0,085$).

Анализ положения сесамовидных костей по шкале Hardy and Clapham до и после оперативного вмешательства показал значимые изменения в выборке ($p < 0,001$). При анализе положения сесамовидных костей на рентгенограммах, выполненных сразу после хирургической коррекции и накануне контрольного осмотра через 5 лет после проведённого лечения, обнаружены слабые различия положения сесамовидных костей, что отображает устойчивость его коррекции (табл. 1).

Дополнительные результаты исследования

Нежелательные явления

Нами не было отмечено случаев остеонекроза головок первых плюсневых костей.

На контрольном осмотре в 68 случаях (46,3%) отмечалось ограничение подвижности первого плюснефалангового сустава. В 51 случае (34,7%) наблюдалось умеренное ограничение движений, на 9 стопах (6%) отмечалось грубое ограничение движений (объём движений < 30 градусов).

Проанализировав истории болезни пациентов, мы обнаружили, что в 4 случаях (2,7%) имело место осложнение в виде поверхностного воспаления мягких тканей. Пациентам были назначены антибактериальные препараты — цефалоспорины 2-го поколения, ежедневные перевязки с антисептиками. После проведённого консервативного лечения явления воспаления были купированы.

Ятрогенное варусное отклонение первого пальца стопы наблюдалось в 1 случае. Однако данная деформация не сопровождалась болевым синдромом, жалобами на затруднения в подборе обуви и нарушение качества жизни в целом.

Случаев перимплантных переломов выявлено не было. Также не потребовалось проведения ревизионных оперативных вмешательств.

В 17 случаях (11,6%) в течение первого года потребовалось удаление винтов ввиду их миграции. На момент осмотра в 34 случаях (23,1%) было выполнено удаление металлофиксаторов. После проведённого контрольного

осмотра 5 пациентам — 5 стоп (3,4%) — было запланировано хирургическое вмешательство для удаления металлофиксаторов (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Среднесрочные рентгенологические и клинические результаты проведённого лечения пациентов, которым была выполнена остеотомия Scarf, как изолированно, так и в совокупности с остеотомией Akin, показали высокую эффективность коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы. Данные результаты сопровождались минимальным количеством осложнений и рецидивов.

Обсуждение основного результата исследования

Анализ рентгенологических и клинических результатов проведённого лечения свидетельствует об эффективности



Рис. 2. Рентгенограмма стоп через 5 лет после оперативного вмешательства. Удалённые металлофиксаторы первой плюсневой кости обеих стоп.

Fig. 2. Radiographs of feet 5 years after the surgical treatment. Screws removed from the 1st metatarsal bones of both feet.

метода остеотомии Scarf — как изолированно, так и в сочетании с остеотомией Akin. Одной из задач этого исследования было рассмотреть наличие рецидива у пациентов после хирургического вмешательства. Рецидив вальгусной деформации первого пальца стопы является серьёзным осложнением проведённого хирургического вмешательства [13]. Частота рецидивов, согласно данным литературы, при использовании традиционной методики остеотомии Scarf составляет от 11 до 33% [14, 15]. Рецидив вальгусной деформации чаще всего наблюдается в сроки от 1,5 до 2,8 года.

В литературе не существует единого мнения о том, что считать рецидивом вальгусной деформации первого пальца. Имеются данные как о 15, так и о 20 градусах деформации в первом плюснефаланговом суставе [16, 17]. При этом также не имеется однозначного мнения, представляет ли безболевая форма рецидива вальгусной деформации патологию и является ли это абсолютным показанием к повторному оперативному вмешательству. Fuhrmann с соавт. для безболевого формы рецидива вальгусной деформации первого пальца стопы был предложен термин «revalgisation» («ревальгизация») [18]. В нашем исследовании за понятие «рецидив» был принят рентгенологический показатель НВА более 20 градусов. При анализе рентгенологических снимков, сделанных непосредственно перед консультативным приёмом, в 7 случаях (4,8%) определялись показатели НВА, соответствующие понятию «рецидив». При этом болевой синдром наблюдался у 6 пациентов (4%). Данные показатели соответствуют результатам, описанным в литературе [9, 19]. В единственном случае рецидив клинически не проявлялся и не вызывал у пациентов дискомфорта или болевых ощущений. Также имеются данные о том, что конгруэнтность суставных поверхностей, а не показатель вальгусной деформации первого пальца стопы является определяющим фактором в возникновении рецидива [14]. Ещё одной особенностью рентгенологической оценки вальгусной деформации первого пальца стопы является значимое межэкспертное расхождение результатов при рентгенологическом анализе [20]. Несмотря на имеющиеся публикации о высоких как предоперационных, так и постоперационных рисках, результаты нашего анализа свидетельствуют о высоком уровне коррекции при использовании методики остеотомии Scarf, как отдельно, так и в совокупности с остеотомией Akin [4].

Ещё одним осложнением после вальгусной деформации первого пальца стопы является ограничение подвижности в первом плюснефаланговом суставе [21]. В нашем исследовании снижение объёма движений наблюдалось при обследовании 68 стоп (46,2%). Также установлена высокая корреляция между возрастом и ограничением подвижности в первом плюснефаланговом суставе ($p < 0,001$; $\rho = 0,726$). Однако в большинстве случаев пациенты не предъявляли жалоб на снижение объёма движений и были удовлетворены проведённым хирургическим

вмешательством. Это подтверждается 98,4% пациентов, которых устраивает функциональный результат проведённых оперативных вмешательств на момент контрольного осмотра. С увеличением количества выполняемых хирургических вмешательств на переднем отделе стопы вопрос тугоподвижности в первом плюснефаланговом суставе становится актуальным, и данному вопросу в последнее время в литературе уделяется большое внимание [22]. Примером альтернативы классической хирургической методики может послужить малоинвазивная хирургия. Считается, что малоинвазивная хирургия снижает частоту осложнений за счёт бережного отношения к мягким тканям и уменьшения образования рубцов в области оперативного вмешательства в послеоперационном периоде [23]. Однако данная методика имеет как положительные, так и отрицательные результаты и принимается не всеми хирургами [24, 25]. Также для предотвращения тугоподвижности в первом плюснефаланговом суставе немаловажной является послеоперационная реабилитация. Реабилитация после оперативных вмешательств на переднем отделе стопы включает широкий перечень мер, применение которых обеспечивает восстановление объёма движений, функции сустава и профилактику тугоподвижности [26]. Отдельно обсуждается использование обуви для разгрузки переднего отдела стопы. Это позволяет активизировать пациента в максимально ранние сроки и снижает риск переломов и смещения фрагментов [27]. Только 4 пациента, включённые в наше исследование, прошли реабилитационный курс в специализированном центре. При этом их функциональные результаты являются удовлетворительными. Однако данной группы недостаточно, чтобы можно было сделать статистически значимые выводы. В остальных случаях послеоперационный период проводился согласно нашим рекомендациям и под наблюдением врача-травматолога в травмпункте по месту жительства, где не всегда имеется возможность получать физиотерапевтическое лечение. Данное направление нуждается в широком внедрении в практику специалистов, занимающихся хирургией стопы, как один из главных помощников для достижения хороших послеоперационных результатов.

В послеоперационном периоде, согласно рентгенологической классификации остеоартроза мелких суставов стопы, в нашем исследовании отмечается прогрессирование рентгенологических признаков остеоартроза [28]. В предоперационном периоде в 4 случаях (2,7%), включённых в исследование, отмечался остеоартроз, соответствующий 1-й стадии активности процесса. В 61 случае (41,5%) наблюдались явления остеоартроза 2-й стадии. В 70 случаях (47,6%) отмечались рентгенологические признаки остеоартроза 3-й стадии. В 12 (8,2%) случаях наблюдались изменения в 1-м плюснефаланговом суставе, соответствующие 4-й стадии остеоартроза. В послеоперационном периоде отмечались следующие показатели: 1-я стадия — 2 случая (1,4%), 2-я стадия — 53 случая

(36%), 3-я стадия — 81 случай (55,1%), 4-я стадия — 11 случаев (7,5%). При этом болезненность отмечалась в 22 случаях (14,9%) после оперативного вмешательства. У остальных пациентов с рентгенологическими признаками остеоартроза после оперативного вмешательства клинической симптоматики не наблюдалось. Прогрессирование остеоартроза первого плюснефалангового сустава отмечается не только после остеотомии Scarf. Имеются также публикации об остеоартрозе суставов стопы после других хирургических вмешательств для коррекции деформаций стопы [29].

Согласно проведённому анализу, в 23,1% случаев было выполнено удаление металлофиксаторов. В 17 (11,6%) случаях в течение первого года потребовалось удаление винтов ввиду их миграции. На момент осмотра в 34 случаях (23,1%) было выполнено удаление имплантатов. После проведённого контрольного осмотра 5 пациентам (3,4%) было запланировано хирургическое вмешательство для удаления имплантатов. Удаление имплантатов несёт в себе возможные периоперационные риски и дополнительные расходы. В литературе описана безвинтовая фиксация фигурной остеотомии плюсневой кости, которая, согласно исследованиям, показала хорошие результаты [30, 31]. Несмотря на хорошие результаты, данная методика пока не является широко распространённой. Основной причиной поиска альтернатив фиксации винтами, помимо возможных осложнений, также являются экономические аспекты [32].

В нашей выборке пациентов частота удаления металлофиксаторов выше, чем в литературе [33]. Во многих публикациях, освещающих результаты проведённого лечения, как среднесрочные, так и отдалённые, миграция металлоконструкций не упоминается как осложнение после хирургического вмешательства [13, 33]. В литературе описаны схожие результаты удаления винтов, однако они встречаются в долгосрочных наблюдениях [8]. Ввиду нарушения качества жизни пациентов результаты данного исследования рекомендуют плановое удаление металлофиксаторов у пациентов после хирургических вмешательств на стопе и голеностопном суставе [34]. Однако данная гипотеза требует дальнейшего изучения.

Ограничения исследования

Переднезадняя рентгенография не отображает истинную ротацию проксимальной фаланги первой плюсневой кости, что не позволяет достоверно определить показания для остеотомии Akin. Ввиду того, что единственным возможным способом измерить истинную ротацию основной фаланги первого пальца является компьютерная томография стоп с нагрузкой, одним из условий

предоперационного планирования может являться предоперационное проведение данного исследования. Компьютерная томография стоп с нагрузкой в будущем позволит сформулировать показания для остеотомии Akin на основании не только вальгусного отклонения первого пальца, но и ротационного компонента деформации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённого анализа можно утверждать, что остеотомия Scarf, как изолированно, так и в совокупности с остеотомией Akin, является эффективным методом коррекции вальгусной деформации первого пальца стопы. Данная методика позволяет добиться физиологического положения анатомической оси первого пальца стопы с удовлетворительными результатами в среднесрочном периоде.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.В. Скребцов, В.К. Никитина, В.В. Скребцов, Д.С. Якушев — написание текста и редактирование статьи; В.Г. Процко, С.К. Тамоев — хирургическое лечение пациентов, написание текста и редактирование статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

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

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Skrebtsov, V.K. Nikitina, V.V. Skrebtsov, D.S. Yakushev — writing the text and editing the article; V.G. Protsko, S.K. Tamoev — surgical treatment of patients, writing the text and editing the article.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nix S., Smith M., Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: A systematic review and meta-analysis // Journal

of Foot and Ankle Research. 2010. Vol. 3, № 1. P. 21. doi: 10.1186/1757-1146-3-21

2. Dufour A.B., Casey V.A., Golightly Y.M., Hannan M.T. Characteristics associated with hallux valgus in a population-based foot study of older adults // *Arthritis care & research*. 2014. Vol. 66, № 12. P. 1880–1886. doi: 10.1002/ACR.22391
3. Smyth N.A., Ayier A.A. Introduction: Why Are There so Many Different Surgeries for Hallux Valgus? // *Foot and ankle clinics*. 2018. Vol. 23, № 2. P. 171–182. doi: 10.1016/J.FCL.2018.01.001
4. Coughlin M.J., Jones C.P. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment // *Foot & ankle international*. 2007. Vol. 28, № 7. P. 759–777. doi: 10.3113/FAI.2007.0759
5. Easley M.E., Trnka H.J. Current concepts review: hallux valgus part 1: pathomechanics, clinical assessment, and nonoperative management // *Foot & ankle international*. 2007. Vol. 28, № 5. P. 654–659. doi: 10.3113/FAI.2007.0654
6. Kaufmann G., Hofmann M., Ulmer H., Putzer D., Hofer P., Dammerer D. Outcomes after scarf osteotomy with and without Akin osteotomy a retrospective comparative study // *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2019. Vol. 14, № 1. P. 193. doi: 10.1186/S13018-019-1241-7
7. Kerr H.L., Jackson R., Kothari P. Scarf-Akin osteotomy correction for hallux valgus: short-term results from a district general hospital // *The Journal of foot and ankle surgery*. 2010. Vol. 49, № 1. P. 16–19. doi: 10.1053/J.JFAS.2009.07.024
8. Kilmartin T.E., O'Kane C. Combined rotation scarf and Akin osteotomies for hallux valgus: a patient focussed 9 year follow up of 50 patients // *Journal of foot and ankle research*. 2010. № 3. P. 2. doi: 10.1186/1757-1146-3-2
9. Okuda R., Kinoshita M., Yasuda T., Jotoku T., Shima H., Takamura M. Hallux valgus angle as a predictor of recurrence following proximal metatarsal osteotomy // *Journal of orthopaedic science*. 2011. Vol. 16, № 6. P. 760–764. doi: 10.1007/S00776-011-0136-1
10. Park J.Y., Jung H.G., Kim T.H., Kang M.S. Intraoperative incidence of hallux valgus interphalangeus following basilar first metatarsal osteotomy and distal soft tissue realignment // *Foot & ankle international*. 2011. Vol. 32, № 11. P. 1058–1062. doi: 10.3113/FAI.2011.1058
11. Ahmad S.S., Hoos L., Perka C., Stöckle U., Braun K.F., Konrads C. Follow-up definitions in clinical orthopaedic research: a systematic review // *Bone Jt Open*. 2021. Vol. 2, № 5. P. 344–350. doi: 10.1302/2633-1462.25.BJO-2021-0007.R1
12. Buckup K., Buckup J. Clinical Tests for the Musculoskeletal System. 3rd edition. Thieme, 2016.
13. Faroug R., Bagshaw O., Conway L., Ballester J.S. Increased recurrence in Scarf osteotomy for mild & moderate hallux valgus with Meary's line disruption // *Foot and ankle surgery*. 2019. Vol. 25, № 5. P. 608–611. doi: 10.1016/J.FAS.2018.06.002
14. Castioni D., Fanelli D., Gasparini G., Iannò B., Galasso O. Scarf osteotomy for the treatment of moderate to severe hallux valgus: Analysis of predictors for midterm outcomes and recurrence // *Foot and ankle surgery*. 2020. Vol. 26, № 4. P. 439–444. doi: 10.1016/J.FAS.2019.05.013
15. Deveci A., Firat A., Yilmaz S., et al. Short-term clinical and radiologic results of the scarf osteotomy: what factors contribute to recurrence? // *The Journal of foot and ankle surgery*. 2013. Vol. 52, № 6. P. 771–775. doi: 10.1053/J.JFAS.2013.04.003
16. Jeuken R.M., Schotanus M.G.M., Kort N.P., Deenik A., Jong B., Hendrickx R.P.M. Long-term Follow-up of a Randomized Controlled Trial Comparing Scarf to Chevron Osteotomy in Hallux Valgus Correction // *Foot & ankle international*. 2016. Vol. 37, № 7. P. 687–695. doi: 10.1177/1071100716639574
17. Bock P., Kluger R., Kristen K.H., Mittlböck M., Schuh R., Trnka H.J. The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results // *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2015. Vol. 97, № 15. P. 1238–1245. doi: 10.2106/JBJS.N.00971
18. Fuhrmann R.A., Zollinger-Kies H., Kundert H.P. Mid-term results of Scarf osteotomy in hallux valgus // *International orthopaedics*. 2010. Vol. 34, № 7. P. 981–989. doi: 10.1007/S00264-010-0958-Z
19. Adam S.P., Choung S.C., Gu Y., O'Malley M.J. Outcomes after scarf osteotomy for treatment of adult hallux valgus deformity // *Clinical orthopaedics and related research*. 2011. Vol. 469, № 3. P. 854–859. doi: 10.1007/S11999-010-1510-6
20. Farber D.C., DeOrio J.K., Steel M.W. Goniometric versus computerized angle measurement in assessing hallux valgus // *Foot & ankle international*. 2005. Vol. 26, № 3. P. 234–238. doi: 10.1177/107110070502600309
21. Frigg A., Zaugg S., Maquieira G., Pellegrino A. Stiffness and Range of Motion After Minimally Invasive Chevron-Akin and Open Scarf-Akin Procedures // *Foot & ankle international*. 2019. Vol. 40, № 5. P. 515–525. doi: 10.1177/1071100718818577
22. Arbab D., Wingenfeld C., Frank D., Bouillon B., König D.P. Distal soft-tissue procedure in hallux valgus deformity // *Operative Orthopädie und Traumatologie*. 2016. Vol. 28, № 2. P. 128–137. doi: 10.1007/S00064-015-0406-8
23. Altenberger S., Krieglstein S., Gottschalk O., et al. The minimally invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA) // *Operative Orthopädie und Traumatologie*. 2018. Vol. 30, № 3. P. 148–160. doi: 10.1007/S00064-018-0541-0
24. Neufeld S.K., Dean D., Hussaini S. Outcomes and Surgical Strategies of Minimally Invasive Chevron/Akin Procedures // *Foot & ankle international*. 2021. Vol. 42, № 6. P. 676–688. doi: 10.1177/1071100720982967
25. Hawson S.T. Physical therapy post-hallux abducto valgus correction // *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 2014. Vol. 31, № 2. P. 309–322. doi: 10.1016/J.CPM.2014.01.002
26. Ling S.K.K., Wu Y.M., Li C., Lui T.H., Yung P.S.H. Randomised control trial on the optimal duration of non-weight-bearing walking after hallux valgus surgery // *Journal of orthopaedic translation*. 2020. № 23. P. 61–66. doi: 10.1016/J.JOT.2020.04.009
27. Menz H.B., Munteanu S.E., Landorf K.B., Zammit G.V., Cicuttini F.M. Radiographic evaluation of foot osteoarthritis: sensitivity of radiographic variables and relationship to symptoms // *Osteoarthritis and cartilage*. 2009. Vol. 17, № 3. P. 298–303. doi: 10.1016/J.JOCA.2008.07.011
28. Faour-Martín O., Martín-Ferrero M.Á., Valverde García J.A., Vega-Castrillo A., de La Red-Gallego M.Á. Long-term results of the retrocapital metatarsal percutaneous osteotomy for hallux valgus // *International Orthopaedics*. 2013. Vol. 37, № 9. P. 1799–1803. doi: 10.1007/s00264-013-1934-1
29. Liszka H., Gądek A. Results of Scarf Osteotomy Without Implant Fixation in the Treatment of Hallux Valgus // *Foot Ankle Int*. 2018. Vol. 39, № 11. P. 1320–1327. doi: 10.1177/1071100718786498
30. Albert A., Zribi M., Christophe A., Leemrijse T. Fifth metatarsal scarf osteotomy without implant fixation // *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021. Vol. 107, № 6. P. 102960. doi: 10.1016/j.otsr.2021.102960

31. Molloy A., Heyes G. Cost-Effectiveness of Surgical Techniques in Hallux Valgus // *Foot Ankle Clin.* 2020. Vol. 25, № 1. P. 19–29. doi: 10.1016/j.fcl.2019.10.005
32. Jäger M., Schmidt M., Wild A., et al. Z-osteotomy in hallux valgus: clinical and radiological outcome after Scarf osteotomy // *Orthop Rev (Pavia)*. 2009. Vol. 1, № 1. P. e4. doi: 10.4081/or.2009.e4

33. Lipscombe S., Molloy A., Sirikonda S., Hennessy M.S. Scarf osteotomy for the correction of hallux valgus: midterm clinical outcome // *J Foot Ankle Surg.* 2008. Vol. 47, № 4. P. 273–277. doi: 10.1053/j.jfas.2008.02.021
34. Williams A.A., Witten D.M., Duester R., Chou L.B. The benefits of implant removal from the foot and ankle // *J Bone Joint Surg Am.* 2012. Vol. 94, № 14. P. 1316–1320. doi: 10.2106/JBJS.J.01756

REFERENCES

1. Nix S, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research.* 2010;3(1):21. doi: 10.1186/1757-1146-3-21
2. Dufour AB, Casey VA, Golightly YM, Hannan MT. Characteristics associated with hallux valgus in a population-based foot study of older adults. *Arthritis care & research.* 2014;66(12):1880–1886. doi: 10.1002/ACR.22391
3. Smyth NA, Aiyer AA. Introduction: Why Are There so Many Different Surgeries for Hallux Valgus? *Foot and ankle clinics.* 2018;23(2):171–182. doi: 10.1016/J.FCL.2018.01.001
4. Coughlin MJ, Jones CP. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot & ankle international.* 2007;28(7):759–777. doi: 10.3113/FAI.2007.0759
5. Easley ME, Trnka HJ. Current concepts review: hallux valgus part 1: pathomechanics, clinical assessment, and nonoperative management. *Foot & ankle international.* 2007;28(5):654–659. doi: 10.3113/FAI.2007.0654
6. Kaufmann G, Hofmann M, Ulmer H, Putzer D, Hofer P, Dammerer D. Outcomes after scarf osteotomy with and without Akin osteotomy a retrospective comparative study. *Journal of orthopaedic surgery and research.* 2019;14(1):193. doi: 10.1186/S13018-019-1241-7
7. Kerr HL, Jackson R, Kothari P. Scarf-Akin osteotomy correction for hallux valgus: short-term results from a district general hospital. *The Journal of foot and ankle surgery.* 2010;49(1):16–19. doi: 10.1053/J.JFAS.2009.07.024
8. Kilmartin TE, O'Kane C. Combined rotation scarf and Akin osteotomies for hallux valgus: a patient focussed 9 year follow up of 50 patients. *Journal of foot and ankle research.* 2010;(3):2. doi: 10.1186/1757-1146-3-2
9. Okuda R, Kinoshita M, Yasuda T, Jotoku T, Shima H, Takamura M. Hallux valgus angle as a predictor of recurrence following proximal metatarsal osteotomy. *Journal of orthopaedic science.* 2011;16(6):760–764. doi: 10.1007/S00776-011-0136-1
10. Park JY, Jung HG, Kim TH, Kang MS. Intraoperative incidence of hallux valgus interphalangeus following basilar first metatarsal osteotomy and distal soft tissue realignment. *Foot & ankle international.* 2011;32(11):1058–1062. doi: 10.3113/FAI.2011.1058
11. Ahmad SS, Hoos L, Perka C, Stöckle U, Braun KF, Konrads C. Follow-up definitions in clinical orthopaedic research: a systematic review. *Bone Jt Open.* 2021;2(5):344–350. doi: 10.1302/2633-1462.25.BJO-2021-0007.R1
12. Buckup K, Buckup J. *Clinical Tests for the Musculoskeletal System.* 3rd edition. Thieme; 2016.
13. Faroug R, Bagshaw O, Conway L, Ballester JS. Increased recurrence in Scarf osteotomy for mild & moderate hallux valgus with Meary's line disruption. *Foot and ankle surgery.* 2019;25(5):608–611. doi: 10.1016/J.FAS.2018.06.002
14. Castioni D, Fanelli D, Gasparini G, Iannò B, Galasso O. Scarf osteotomy for the treatment of moderate to severe hallux valgus: Analysis of predictors for midterm outcomes and recurrence. *Foot and ankle surgery.* 2020;26(4):439–444. doi: 10.1016/J.FAS.2019.05.013
15. Deveci A, Firat A, Yilmaz S, et al. Short-term clinical and radiologic results of the scarf osteotomy: what factors contribute to recurrence? *The Journal of foot and ankle surgery.* 2013;52(6):771–775. doi: 10.1053/J.JFAS.2013.04.003
16. Jeuken RM, Schotanus MGM, Kort NP, Deenik A, Jong B, Hendrickx RPM. Long-term Follow-up of a Randomized Controlled Trial Comparing Scarf to Chevron Osteotomy in Hallux Valgus Correction. *Foot & ankle international.* 2016;37(7):687–695. doi: 10.1177/1071100716639574
17. Bock P, Kluger R, Kristen KH, Mittlbock M, Schuh R, Trnka HJ. The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2015;97(15):1238–1245. doi: 10.2106/JBJS.N.00971
18. Fuhrmann RA, Zollinger-Kies H, Kundert HP. Mid-term results of Scarf osteotomy in hallux valgus. *International orthopaedics.* 2010;34(7):981–989. doi: 10.1007/S00264-010-0958-Z
19. Adam SP, Choung SC, Gu Y, O'Malley MJ. Outcomes after scarf osteotomy for treatment of adult hallux valgus deformity. *Clinical orthopaedics and related research.* 2011;469(3):854–859. doi: 10.1007/S11999-010-1510-6
20. Farber DC, DeOrio JK, Steel MW. Goniometric versus computerized angle measurement in assessing hallux valgus. *Foot & ankle international.* 2005;26(3):234–238. doi: 10.1177/107110070502600309
21. Frigg A, Zaugg S, Maquieira G, Pellegrino A. Stiffness and Range of Motion After Minimally Invasive Chevron-Akin and Open Scarf-Akin Procedures. *Foot & ankle international.* 2019;40(5):515–525. doi: 10.1177/1071100718818577
22. Arbab D, Wingenfeld C, Frank D, Bouillon B, König DP. Distal soft-tissue procedure in hallux valgus deformity. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2016;28(2):128–137. doi: 10.1007/S00064-015-0406-8
23. Altenberger S, Kriegelstein S, Gottschalk O, et al. The minimally invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA). *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2018;30(3):148–160. doi: 10.1007/S00064-018-0541-0
24. Neufeld SK, Dean D, Hussaini S. Outcomes and Surgical Strategies of Minimally Invasive Chevron/Akin Procedures. *Foot & ankle international.* 2021;42(6):676–688. doi: 10.1177/1071100720982967
25. Hawson ST. Physical therapy post-hallux abducto valgus correction. *Clinics in podiatric medicine and surgery.* 2014;31(2):309–322. doi: 10.1016/J.CPM.2014.01.002
26. Ling SKK, Wu YM, Li C, Lui TH, Yung PSH. Randomised control trial on the optimal duration of non-weight-bearing walking after hallux valgus surgery. *Journal of orthopaedic translation.* 2020;(23):61–66. doi: 10.1016/J.JOT.2020.04.009
27. Menz HB, Munteanu SE, Landorf KB, Zammit GV, Cicuttini FM. Radiographic evaluation of foot osteoarthritis: sensitivity of

radiographic variables and relationship to symptoms. *Osteoarthritis and cartilage*. 2009;17(3):298–303. doi: 10.1016/J.JOCA.2008.07.011

28. Faour-Martín O, Martín-Ferrero MÁ, Valverde García JA, Vega-Castrillo A, de La Red-Gallego MÁ. Long-term results of the retrocapital metatarsal percutaneous osteotomy for hallux valgus. *International Orthopaedics*. 2013;37(9):1799–1803. doi: 10.1007/s00264-013-1934-1

29. Liszka H, Gądek A. Results of Scarf Osteotomy Without Implant Fixation in the Treatment of Hallux Valgus. *Foot Ankle Int*. 2018;39(11):1320–1327. doi: 10.1177/1071100718786498

30. Albert A, Zribi M, Christophe A, Leemrijse T. Fifth metatarsal scarf osteotomy without implant fixation. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021;107(6):102960. doi: 10.1016/j.otsr.2021.102960

31. Molloy A, Heyes G. Cost-Effectiveness of Surgical Techniques in Hallux Valgus. *Foot Ankle Clin*. 2020;25(1):19–29. doi: 10.1016/j.fcl.2019.10.005

32. Jäger M, Schmidt M, Wild A, et al. Z-osteotomy in hallux valgus: clinical and radiological outcome after Scarf osteotomy. *Orthop Rev (Pavia)*. 2009;1(1):e4. doi: 10.4081/or.2009.e4

33. Lipscombe S, Molloy A, Sirikonda S, Hennessy MS. Scarf osteotomy for the correction of hallux valgus: midterm clinical outcome. *J Foot Ankle Surg*. 2008;47(4):273–277. doi: 10.1053/j.jfas.2008.02.021

34. Williams AA, Witten DM, Duester R, Chou LB. The benefits of implant removal from the foot and ankle. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(14):1316–1320. doi: 10.2106/JBJS.J.01756

ОБ АВТОРАХ

* Скребцов Александр Владимирович,

врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 115446, Москва, Коломенский проезд, 4;
ORCID: 0000-0002-1418-3368;
eLibrary SPIN: 3682-4569;
e-mail: Skrebtsoalex@mail.ru

Никитина Виктория Константиновна,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-0064-3175;
eLibrary SPIN: 9868-0332;
e-mail: vcnikitina@gmail.com

Процко Виктор Геннадьевич, д.м.н., профессор кафедры,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-5077-2186;
eLibrary SPIN: 4628-7919;
e-mail: 89035586679@mail.ru

Тамоев Саргон Константинович, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0001-8748-0059;
eLibrary SPIN: 2986-1390;
e-mail: Sargonik@mail.ru

Скребцов Владимир Владимирович, к.м.н.;

ORCID: 0000-0003-0833-6628;
eLibrary SPIN: 6002-7102;
e-mail: Skrebtsov@mail.ru

Якушев Денис Сергеевич,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-6268-9734;
eLibrary SPIN: 3242-0683;
e-mail: Orthoped.1@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Alexander V. Skrebtsov,

traumatologist-orthopedist;
address: 4 Kolomenskiy passage, 115446, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-1418-3368;
eLibrary SPIN: 3682-4569;
e-mail: Skrebtsoalex@mail.ru

Victoria K. Nikitina,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-0064-3175;
eLibrary SPIN: 9868-0332;
e-mail: vcnikitina@gmail.com

Viktor G. Protsko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor

of the Department, traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-5077-2186;
eLibrary SPIN: 4628-7919;
e-mail: 89035586679@mail.ru

Sargon K. Tamoev, MD, Cand. Sci. (Med.);

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0001-8748-0059;
eLibrary SPIN: 2986-1390;
e-mail: Sargonik@mail.ru

Vladimir V. Skrebtsov, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0003-0833-6628;
eLibrary SPIN: 6002-7102;
e-mail: Skrebtsov@mail.ru

Denis S. Yakushev,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-6268-9734;
eLibrary SPIN: 3242-0683;
e-mail: Orthoped.1@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568156>

Скрининговое обследование шейного отдела позвоночника у пациентов с синдромом Дауна

А.А. Кулешов¹, А.В. Губин², В.А. Шаров¹, М.С. Ветрилэ¹, И.Н. Лисянский¹, С.Н. Макаров¹¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;² Санкт-Петербургский государственный университет, клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Среди всего многообразия ортопедических патологий, характерных для пациентов с синдромом Дауна, патология шейного отдела позвоночника, на наш взгляд, является наиболее значимой. Различные варианты атланта-аксиальных дислокаций могут приводить к выраженному неврологическому дефициту и, в свою очередь, значительно снизить качество жизни этой группы пациентов.

Цель. Анализ результатов скринингового обследования пациентов с синдромом Дауна на предмет наличия патологии шейного отдела позвоночника.

Материалы и методы. Проанализированы функциональные рентгенограммы шейного отдела позвоночника в боковой проекции у 60 пациентов с синдромом Дауна в рамках скринингового обследования на базе НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с мая 2021 по январь 2023 года.

Результаты. Из 60 пациентов, прошедших обследование, у 9 была обнаружена патология краниовертебральной области. Зубовидная кость позвонка C2 присутствовала у 3 пациентов. Различные варианты ротационных атланта-аксиальных смещений определялись у 5 пациентов, и у 1 пациентки была выявлена гипоплазия мыщелков затылочной кости в сочетании с базилярной инвагинацией зуба позвонка C2.

Заключение. Нестабильность верхнего шейного отдела позвоночника — потенциально самое опасное проявление ортопедической патологии при синдроме Дауна. Следовательно, проведение скринингового обследования с выполнением функциональных рентгенограмм шейного отдела позвоночника в боковой проекции является рекомендованным для данной группы пациентов.

Ключевые слова: синдром Дауна; шейный отдел позвоночника; атланта-аксиальная дислокация; зубовидная кость; краниовертебральная область.

Как цитировать:

Кулешов А.А., Губин А.В., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н. Скрининговое обследование шейного отдела позвоночника у пациентов с синдромом Дауна // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 325–334. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568156>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568156>

Screening examination of the cervical spine in patients with Down syndrome

Alexander A. Kuleshov¹, Alexander V. Gubin², Vladislav A. Sharov¹, Marchel S. Vetrile¹, Igor N. Lisyansky¹, Sergey N. Makarov¹

¹ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation;

² St. Petersburg State University's N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies, Saint-Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Among all the variety of orthopedic pathologies typical for patients with Down syndrome, pathology of the cervical spine, in our opinion, is the most important. Various types of atlantoaxial dislocations can cause significant neurological deficits and decrease patients' quality of life.

OBJECTIVE: To analyze the results of screening examination of patients with Down syndrome for the presence of cervical spine pathology.

MATERIALS AND METHODS: As part of the screening examination, functional radiographs of the cervical spine in the lateral projection of 60 patients with Down syndrome were evaluated. Priorov NMIC will operate from May 2021 to January 2023.

RESULTS: Nine of the 60 patients tested exhibited craniovertebral pathology. Three patients have Os odontoideum of the C2 vertebra. In five patients, different types of rotational atlantoaxial displacements were found, and one patient had hypoplasia of the occipital condyles associated with basilar invagination of the C2 vertebral dentition.

CONCLUSION: The instability of the upper cervical spine is potentially the most dangerous manifestation of orthopedic pathology in Down syndrome. A screening examination with functional cervical spine lateral projection radiographs is recommended for this group of patients.

Keywords: Down syndrome; cervical spine; atlantoaxial dislocation; os odontoideum; craniovertebral region.

To cite this article:

Kuleshov AA, Gubin AV, Sharov VA, Vetrile MS, Lisyansky IN, Makarov SN. Screening examination of the cervical spine in patients with Down syndrome. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):325–334. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto568156>

INTRODUCTION

Children with Down syndrome are a special group of patients for physicians of any profile. They are usually characterized by the presence of several associated clinical conditions that can have a wide range of manifestations. From the point of view of an orthopedic trauma surgeon, these patients also deserve close attention because a significant proportion has orthopedic pathologies [1].

Most orthopedic disorders are associated with muscle hypotonia, joint hypermobility, weakness of the ligamentous apparatus, and decreased bone mineral density [2, 3]. Manifestations of orthopedic pathologies such as scoliosis, hip instability, displacement of the femoral head epiphysis, patellar instability, and foot deformity are the most common in patients with Down syndrome [4].

Along with these diseases, one-third of patients with chromosome 21 trisomy have some pathologies of the craniovertebral junction [4]. In 1961, Spitzer et al. described atlanto-occipital dislocation and hypoplasia of the atlas in Down syndrome [5]. Later, many researchers proved that atlanto-occipital and atlantoaxial hypermobility and vertebral developmental anomalies of the cervical spine are predisposing factors of atlanto-occipital and atlantoaxial instability, respectively [6, 7].

The instability of the craniovertebral junction in patients with Down syndrome may be caused by weakness of the transverse ligament of the atlantus, decreased muscle tone, excessive joint mobility, hypoplasia of the dentate process, and the presence of a dentate bone [4].

In our opinion, dentition is the most critical in the manifestations of craniovertebral pathologies, as it is often accompanied by cervical myelopathy. The corresponding clinical manifestations presenting as severe neurologic deficits can be life-threatening. With this background, we conduct a screening study of the craniovertebral region in patients with Down syndrome at the Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics. This paper describes the algorithm of the screening examination of the cervical spine in children with Down syndrome and its results. A clinical case of the surgical treatment of a patient with severe atlantoaxial dislocation and pronounced neurologic deficit is also described.

This study aimed to analyze the results of the screening examinations of patients with Down syndrome to detect cervical spine pathologies.

MATERIALS AND METHODS

Study design

A clinical single-center observational open cohort study was performed.

Terms and conditions of the event

The cervical spine screening examination in children with Down syndrome was conducted from May 2021 to

January 2023 at the Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics.

Eligibility criteria

During this period, 60 patients with Down syndrome aged 4–17 years were examined. The average patient age was 10.06 years. There were 28 boys and 32 girls.

Inclusion criteria:

- Genetically confirmed Down syndrome regardless of form
- Age 4–17 years
- Ability to independently maintain an upright body position
- Functional radiographs of the spine in lateral projection

Exclusion criteria:

- Patients with genetic syndromes other than Down syndrome or nonsyndromic cases
- Age <4 and >17 years

Methods for assessing targets

All patients with Down syndrome were examined according to a strict algorithm using clinical and radiation examination methods. In the first stage, patients underwent clinical examination, with a description of complaints, if any. Active and passive movements in the cervical spine and extremities were assessed, head position was evaluated, and neurologic status was assessed.

In the absence of signs of neurologic deficit, functional radiographs of the cervical spine were obtained in lateral projection in maximum flexion, extension, and neutral positions. This method of radial diagnosis allows us to fully assess the presence of instability in the craniovertebral junction and indirectly judge the magnitude of spinal canal stenosis and developmental anomalies of the cervical spine [8, 9] (Fig. 1).

Patients with an initial neurologic deficit or suspected craniovertebral pathologies requiring further surgical intervention underwent computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) of the cervical spine. These modalities were conducted to examine craniovertebral relationships and bone pathologies in more detail and assess the degree of spinal canal stenosis and presence of myelopathy.

All patients were given recommendations on orthopedic regimens following clinical and radiologic examinations. Patients with craniovertebral pathologies requiring surgical treatment were offered variants of surgical decompression-stabilizing operations.

Statistical analysis

The sample size was not precalculated. Descriptive statistics of qualitative are presented as absolute (n) and relative (%) frequencies.

Ethical review

All procedures performed in the study involving human subjects conformed to the standards of the local ethics

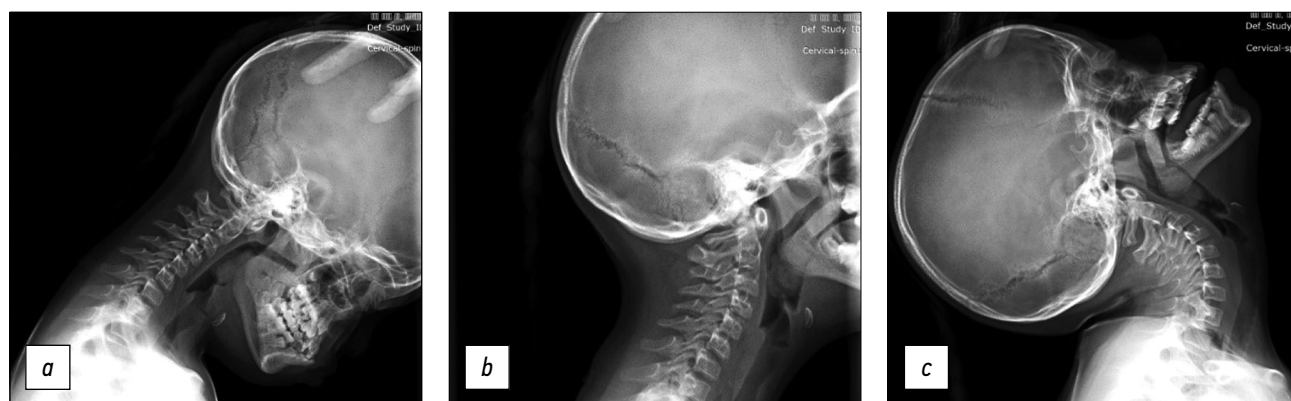


Fig. 1. Functional radiography of the cervical spine in lateral projection: *a* — in flexion position, *b* — in neutral position, *c* — in extension position.

committee and the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards. All patients (or their representatives) provided informed consent.

RESULTS

Most of the patients ($n = 47$) were admitted without musculoskeletal complaints to exclude craniocervical pathologies and receive recommendations on the possibility of practicing active sports.

Of the 60 children with Down syndrome, 9 (15%) had craniocervical pathologies, of which 2 had no complaints on presentation for the screening examination. Moreover, five patients were found to have different types of atlantoaxial rotational dislocations. Two patients had atlantoaxial rotational dislocations without torticollis, with a full range of motion in the cervical spine and no risk for spinal cord compression, corresponding to type I according to the Fielding–Hawkins classification. These patients were recommended further dynamic follow-up with the correction of the orthopedic regimen by limiting axial loads on the cervical spine. In the remaining three patients, atlantoaxial dislocations corresponded to types II and III with torticollis, significant restriction of the cervical spine rotation, and spinal canal stenosis at the C1–C2 level. These patients underwent surgery with correction of the C1 vertebral subluxation in a halo apparatus and further stabilization of C1–C2 with a screw system according to the Harms technique. No complications were noted. In the postoperative period, the head position was neutral in all patients.

Three patients with dentition of the second cervical vertebra were identified. All patients with dentition had a pronounced neurologic deficit (1 and 2 patients with Frankel A and C, respectively). These patients underwent decompressive-stabilizing surgeries with intraoperative restoration of craniocervical relations using halo-traction and dorsal stabilization using a metal structure. Occipitospondylosis C0–C2 was performed in two patients using a customized occipital plate and guides for screw insertion into the C2 vertebra. In one patient, C1–C2

fixation with screws according to the Harms technique was performed using a 3D model of the craniocervical region with visualization of the vessels and spinal cord and guides for inserting the screws into the C1 and C2. No complications were noted. In the postoperative period, all patients showed positive dynamics, i.e., a decrease in the degree of neurologic deficit (Frankel A to B, Frankel C to D and E).

In one patient, radiography, CT, and MRI of the cervical spine revealed hypoplasia of the occipital condyles combined with basilar invagination of the tooth of the second cervical vertebra. The patient had an initial neurologic deficit (Frankel C). Surgical treatment was proposed but was rejected by the patient's parents.

Clinical example

A 14-year-old female teen was admitted for a cervical spine screening examination in individuals with Down syndrome. She complained of progressive weakness in the upper and lower extremities and forced head position with rotation to the right for the past 3 months. Results of the CT and MRI of the cervical spine led to the following diagnosis: Down syndrome, rotational atlantoaxial blockage, left-sided chronic transligamentous subluxation of the C1 vertebra with spinal canal stenosis (Fielding–Hawkins type II), cervical myelopathy, and deep tetraparesis (Frankel C) (Fig. 2).

CT revealed gross violations of craniocervical relationships: the Cruveilhier joint gap (atlantodental interval [ADI]) was 1.06 cm, and the space available for the spinal cord at the C1 level (SAC C1) was 5.17 mm. These changes indicate gross stenosis of the spinal canal. A bone block developed in the left lateral atlantoaxial joint (Fig. 3)

Given the gross atlantoaxial dislocation with spinal canal stenosis, spinal cord compression, and bone block formation in the left lateral atlantoaxial joint, correction of C1 subluxation under intraoperative halo-traction with the release of the left lateral atlantoaxial joint was decided. To improve the quality of preoperative planning and reduce the risks of a vertebral injury during the release of the lateral atlantoaxial joint, the patient underwent CT and myelo- and angiography of the cervical spine (Fig. 4). A customized 3D

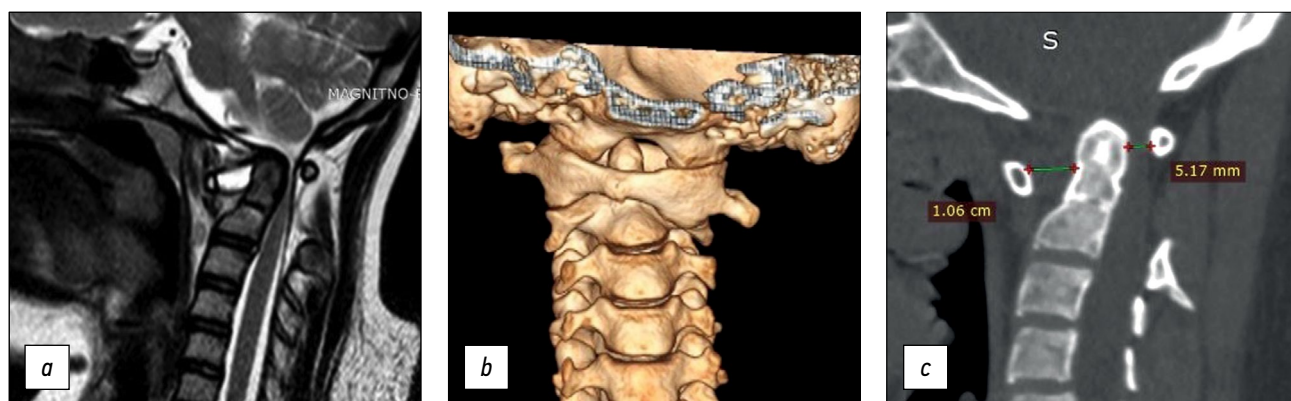


Fig. 2. Instrumental methods of examination: *a* — MRI picture of transligamentous subluxation with spinal canal stenosis and myelopathy at the level of C1–C2, *b* — 3D CT reconstruction, *c* — CT scan of the cervical spine, sagittal slice with visualization of disturbed craniovertebral relations. MRI — magnetic resonance imaging, CT — computed tomography.

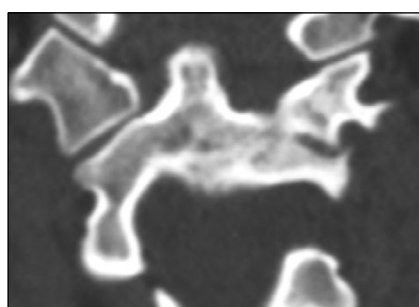


Fig. 3. Bone fusion in the region of the left lateral atlantoaxial joint.

model of the craniovertebral region was made, showing the vertebral arteries and spinal cord based on CT myelography and CT angiography (Fig. 5).

The surgical treatment included the release of the left lateral atlantoaxial joint from the dorsal access, correction of C1 vertebral subluxation with intraoperative halo-traction, indirect decompression of the spinal cord at the C1–C2 level, and dorsal fixation of C1–C2 with a metal structure using the Harms method.

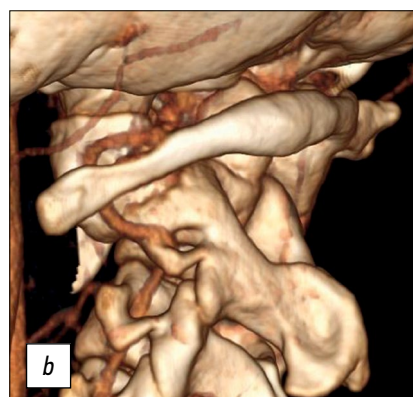


Fig. 4. CT myelography and angiography: *a* — sagittal slice of CT myelography, *b* — 3D reconstruction of CT angiography. CT — computed tomography.

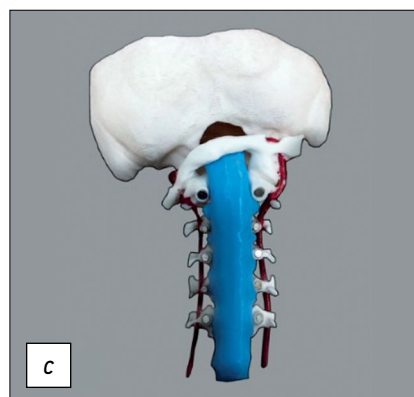
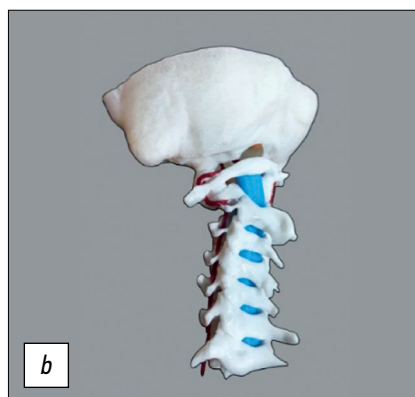


Fig. 5. 3D model of the patient's cervical spine with visualization of the a. vertebral and spinal cord: *a* — anterior view, *b* — lateral view, *c* — posterior view with the cervical vertebral arches removed.

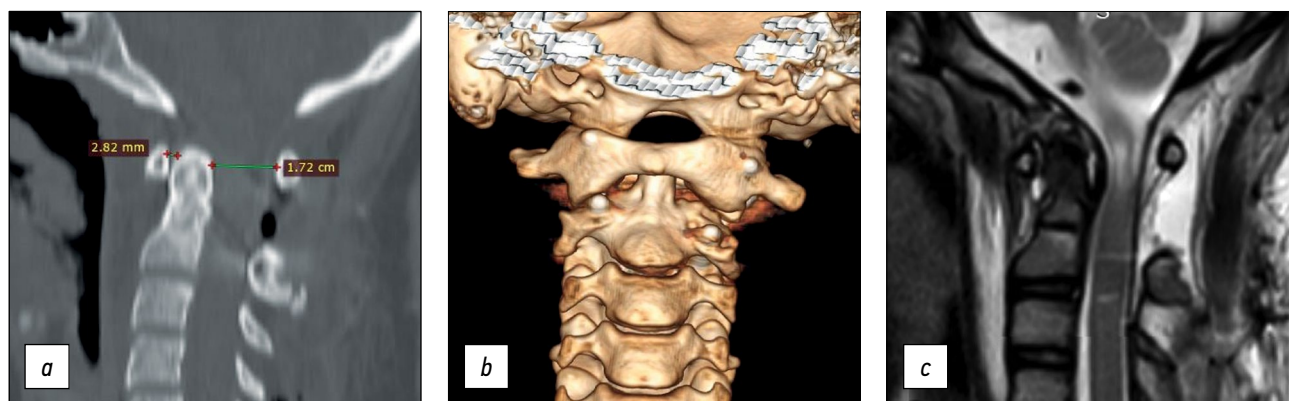


Fig. 6. Postoperative radiology examination: *a* — CT sagittal slice, *b* — 3D reconstruction of cervical CT, *c* — MRI sagittal slice with elimination of spinal canal stenosis and residual myelopathy. CT — computed tomography, MRI — magnetic resonance imaging.

The subluxation of the C1 vertebra was fully repaired with restoration of all craniovertebral ratios: the ADI and SAC were 2.82 mm and 1.72 cm, respectively. The spinal canal stenosis at the C1–C2 level was eliminated, and the fixation elements were appropriately implanted (Fig. 6).

In the early postoperative period, the patient demonstrated increased muscle strength in the upper extremities, indicating positive dynamics in the neurological status. The wound healed with primary tension. No complications were observed. On day 7, the patient was discharged for outpatient follow-up in satisfactory condition.

During the 6-month follow-up, the patient had fewer signs of cervical myelopathy and tetraparesis, indicating clear positive dynamics in her neurological status. The patient began to walk independently. The strength of the upper limb muscles was fully restored. Mild spastic lower paraparesis 4 b. (Frankel C before surgery and Frankel E 6 months after surgery) remained.

DISCUSSION

Some patients with Down syndrome may have craniovertebral pathologies that may be asymptomatic for a long time or even for life [8]. Thus, we partly recommend screening for all patients with Down syndrome, as unstable malformations of the craniocervical junction are often incidental radiologic findings or manifest neurologic symptoms. Thus, even asymptomatic potentially unstable malformations, such as aplasia of the dentition and dentoalveolar malformation, may require prophylactic instrumental stabilization [10].

Pain syndrome and neck deformity, according to the current literature, occur in 40% of confirmed cases of upper cervical spine pathologies. Patients most commonly present with neck and occiput pain, which may significantly worsen with axial load [11, 12]. A forced head position with a right or left tilt is also a common sign. This symptom usually indicates the presence of some forms of rotational atlantoaxial dislocation [13].

Neurologic deficits are quite common in patients with craniovertebral pathologies, and its presence generally depends on a specific nosology. Neurologic deficit occurs in 80% of patients with dentoalveolar bone. However, rotational atlantoaxial dislocations, particularly when combined with anteroposterior dislocations, are also associated with spinal canal stenosis and, consequently, myelopathy. Myelopathy development at the level of the cervical spine initially manifests as weakness in the upper extremities, and with prolonged spinal cord compression gait disturbances and weakness in the lower extremities occur. In the most unfavorable situations, deep tetraparesis or tetraplegia with complete loss of active movements develops [8, 14].

Based on the above, orthopedic trauma physicians should pay close attention to the complaints of parents of children with Down syndrome, such as changes in the behavior of the child. Unreasonable general weakness, gait disturbances, frequent stumbles, and falls can be formidable precursors to cervical myelopathy.

Parents and orthopedic trauma physicians should also observe for visible abnormalities such as forced head posture, restricted movements of the cervical spine, and pain in this area.

Thus, in our opinion, screening examination of patients with Down syndrome for cervical spine pathologies may be important in the practice of a trauma orthopedic surgeon, as it reliably verifies the absence or presence of cervical spine pathologies in these patients.

Functional cervical spine radiography in the lateral projection may be sufficient to visualize pronounced atlantoaxial displacements. Moreover, if the child has a clear neurologic deficit on clinical examination, functional radiography of the cervical spine may be risky as it may exacerbate the neurologic deficit. Thus, this method should be abandoned in favor of CT and MRI of the cervical spine.

CONCLUSION

Approximately 20% of the total number of patients with Down syndrome present some forms of musculoskeletal

abnormalities [1]. Undoubtedly, the instability of the upper cervical spine is potentially the most life-threatening orthopedic manifestation of Down syndrome, which can cause various life-threatening neurologic symptoms. Approximately 1.3%–3% of patients with Down syndrome have a dentate bone, which may cause upper cervical spine instability [4, 15, 16].

In addition, children with Down syndrome often have various dislocations caused by alterations in the ligamentous apparatus stabilizing the atlantoaxial complex [17]. Therefore, these patients should undergo a comprehensive screening examination, including functional radiography of the cervical spine. If any pathology of the craniocervical junction is detected, CT and MRI should be performed to assess possible spinal cord compression and determine further treatment [13, 17].

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: В.А. Шаров — написание текста статьи, сбор и анализ литературных источников; А.А. Кулешов, А.В. Губин — редактирование

и написание текста статьи; М.С. Ветрилэ, И.Н. Лисянский, С.Н. Макаров — редактирование текста статьи.

Источник финансирования. Не указан.

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

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

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. V.A. Sharov — writing the text of the article, collection and analysis of literary sources; A.A. Kuleshov, A.V. Gubin — editing and writing the text of the article; M.S. Vetrile, I.N. Lisyansky, S.N. Makarov — editing the text of the article.

Funding source. Not specified.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Caird M.S., Wills B.P., Dormans J.P. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon // *J Am Acad Orthop Surg*. 2006. Vol. 14, № 11. P. 610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
2. Carfi A., Liperoti R., Fusco D., Giovannini S., Brandi V., Vetrano D.L., Meloni E., Mascia D., Villani E.R., Manes Gravina E., Bernabei R., Onder G. Bone mineral density in adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2017. Vol. 28, № 10. P. 2929–2934. doi: 10.1007/s00198-017-4133-x
3. McKelvey K.D., Fowler T.W., Akel N.S., Kelsay J.A., Gaddy D., Wenger G.R., Suva L.J. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2013. Vol. 24, № 4. P. 1333–8. doi: 10.1007/s00198-012-2109-4
4. Sergeenko O.M., Dyachkov K.A., Ryabykh S.O., Burtsev A.V., Gubin A.V. Atlantoaxial dislocation due to os odontoideum in patients with Down's syndrome: literature review and case reports // *Childs Nerv Syst*. 2020. Vol. 36, № 1. P. 19–26. doi: 10.1007/s00381-019-04401-y
5. Spitzer R., Rabinowitch J.Y., Wybar K.C. A Study of the Abnormalities of the Skull, Teeth and Lenses in Mongolism // *Can Med Assoc J*. 1961. Vol. 84, № 11. P. 567–72.
6. Луцик А.А., Раткин И.К., Никитин М.Н. Краниовертебральные повреждения и заболевания: монография. Новосибирск: Издатель, 1998. 551 с.
7. Caird M.S., Wills B.P., Dormans J.P. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon // *J Am Acad Orthop Surg*. 2006. Vol. 14, № 11. P. 610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
8. Arvin B., Fournier-Gosselin M.P., Fehlings M.G. Os odontoideum: etiology and surgical management // *Neurosurgery*. 2010. Vol. 66, № 3 (Suppl). P. 22–31. doi: 10.1227/01.NEU.0000366113.15248.07
9. Khusainov N.O., Vissarionov S.V., Kokushin D.N. Craniocervical instability in children with Down's syndrome // *Pediatric Traumatology Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2016. Vol. 4, № 3. P. 71. doi: 10.17816/PTORS4371-77
10. Кулешов А.А., Шкарубо А.Н., Громов И.С., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Чернов И.В., Митрофанова Е.В., Пономаренко Г.П. Хирургическое лечение неопухолевых заболеваний краниовертебральной области // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2018. Т. 25, № 1. С. 36–41. doi: 10.17816/vto201825136-41
11. Klimo P.Jr, Coon V., Brockmeyer D. Incidental os odontoideum: current management strategies // *Neurosurg Focus*. 2011. Vol. 31, № 6. P. E10. doi: 10.3171/2011.9
12. Rowland L.P., Shapiro J.H., Jacobson H.G. Neurological syndromes associated with congenital absence of the odontoid process // *AMA Arch Neurol Psychiatry*. 1958. Vol. 80, № 3. P. 286–91. doi: 10.1001/archneurpsyc.1958.02340090022002
13. Губин А.В., Ульрих Э.В. Синдромальный подход к ведению детей с пороками развития шейного отдела позвоночника // *Хирургия позвоночника*. 2010. № 3. С. 14–19. doi: 10.14531/ss2010.3.14-19
14. McGoldrick J.M., Marx J.A. Traumatic central cord syndrome in a patient with Os odontoideum // *Ann Emerg Med*. 1989. Vol. 18, № 12. P. 1358–61. doi: 10.1016/s0196-0644(89)80276-8

15. French H.G., Burke S.W., Roberts J.M., Johnston C.E. II, Whitecloud T., Edmunds J.O. Upper cervical ossicles in Down syndrome // *J Pediatr Orthop.* 1987. Vol. 7, № 1. P. 69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014

16. Cros T., Linares R., Castro A., Mansilla F. Estudio radiológico de las alteraciones cervicales en el síndrome de Down. Nuevos hallazgos mediante tomografía computarizada y

reconstrucciones tridimensionales // *Rev Neurol.* 2000. Vol. 30, № 12. P. 1101–7.

17. Hengartner A.C., Whelan R., Maj R., Wolter-Warmerdam K., Hickey F., Hankinson T.C. Evaluation of 2011 AAP cervical spine screening guidelines for children with Down Syndrome // *Childs Nerv Syst.* 2020. Vol. 36, № 11. P. 2609–2614. doi: 10.1007/s00381-020-04855-5

REFERENCES

1. Caird MS, Wills BP, Dormans JP. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006;14(11):610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003

2. Carfi A, Liperoti R, Fusco D, Giovannini S, Brandi V, Vetrano DL, Meloni E, Mascia D, Villani ER, Manes Gravina E, Bernabei R, Onder G. Bone mineral density in adults with Down syndrome. *Osteoporos Int.* 2017;28(10):2929–2934. doi: 10.1007/s00198-017-4133-x

3. McKelvey KD, Fowler TW, Akel NS, Kelsay JA, Gaddy D, Wenger GR, Suva LJ. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome. *Osteoporos Int.* 2013;24(4):1333–8. doi: 10.1007/s00198-012-2109-4

4. Sergeenko OM, Dyachkov KA, Ryabykh SO, Burtsev AV, Gubin AV. Atlantoaxial dislocation due to os odontoideum in patients with Down's syndrome: literature review and case reports. *Childs Nerv Syst.* 2020;36(1):19–26. doi: 10.1007/s00381-019-04401-y

5. Spitzer R, Rabinowitch JY, Wybar KC. A Study of the Abnormalities of the Skull, Teeth and Lenses in Mongolism. *Can Med Assoc J.* 1961;84(11):567–72.

6. Lutsik AA, Ratkin IK, Nikitin MN. *Kraniovertebral'nye povrezhdeniya i zabolevaniya: monografiya.* Novosibirsk: Izdatel'; 1998. 551 p. (In Russ).

7. Caird MS, Wills BP, Dormans JP. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006;14(11):610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003

8. Arvin B, Fournier-Gosselin MP, Fehlings MG. Os odontoideum: etiology and surgical management. *Neurosurgery.* 2010;66(3 Suppl):22–31. doi: 10.1227/01.NEU.0000366113.15248.07

9. Khusainov N, Vissarionov SV, Kokushin D. Craniocervical instability in children with Down's syndrome. *Pediatric Traumatology Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2016;4(3):71. doi: 10.17816/PTORS4371-77

10. Kuleshov AA, Shkarubo AN, Gromov IS, Vetrile MS, Lisyanskiy IN, Makarov SN, Chernov IV, Mitrofanova EV, Ponomarenko GP. Surgical treatment for nontumorous diseases of craniovertebral region. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2018;25(1):36–41. (In Russ). doi: 10.17816/vto201825136-41

11. Klimo PJr, Coon V, Brockmeyer D. Incidental os odontoideum: current management strategies. *Neurosurg Focus.* 2011;31(6):E10. doi: 10.3171/2011.9

12. Rowland LP, Shapiro JH, Jacobson HG. Neurological syndromes associated with congenital absence of the odontoid process. *AMA Arch Neurol Psychiatry.* 1958;80(3):286–91. doi: 10.1001/archneurpsyc.1958.02340090022002

13. Gubin AV, Ul'rih EV. Sindromal'nyj podhod k vedeniyu detej s porokami razvitiya shejnogo otdela pozvonochnika. *Hirurgiya pozvonochnika.* 2010;(3):14–19. (In Russ). doi: 10.14531/ss2010.3.14-19

14. McGoldrick JM, Marx JA. Traumatic central cord syndrome in a patient with Os odontoideum. *Ann Emerg Med.* 1989;18(12):1358–61. doi: 10.1016/s0196-0644(89)80276-8

15. French HG, Burke SW, Roberts JM, Johnston CE II, Whitecloud T, Edmunds JO. Upper cervical ossicles in Down syndrome. *J Pediatr Orthop.* 1987;7(1):69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014

16. Cros T, Linares R, Castro A, Mansilla F. Estudio radiológico de las alteraciones cervicales en el síndrome de Down. Nuevos hallazgos mediante tomografía computarizada y reconstrucciones tridimensionales. *Rev Neurol.* 2000;30(12):1101–7. (In Spanish).

17. Hengartner AC, Whelan R, Maj R, Wolter-Warmerdam K, Hickey F, Hankinson TC. Evaluation of 2011 AAP cervical spine screening guidelines for children with Down Syndrome. *Childs Nerv Syst.* 2020;36(11):2609–2614. doi: 10.1007/s00381-020-04855-5

ОБ АВТОРАХ

* Шаров Владислав Андреевич,

врач травматолог-ортопед;

адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;

ORCID: 0000-0002-0801-0639;

eLibrary SPIN: 8062-9216;

e-mail: sharov.vlad397@gmail.com

Кулешов Александр Алексеевич, д.м.н.;

ORCID: 0000-0002-9526-8274;

eLibrary SPIN: 7052-0220;

e-mail: cito-spine@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Vladislav A. Sharov,

traumatologist-orthopedist;

address: 10 Priorova str., 127299, Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-0801-0639;

eLibrary SPIN: 8062-9216;

e-mail: sharov.vlad397@gmail.com

Alexander A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-9526-8274;

eLibrary SPIN: 7052-0220;

e-mail: cito-spine@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Губин Александр Вадимович, д.м.н.;
ORCID: 0000-0003-3234-8936;
eLibrary SPIN: 2014-6518;
e-mail: shugu19@gubin.spb.ru

Ветрилэ Марчел Степанович, к.м.н.;
ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Лисянский Игорь Николаевич, к.м.н.;
ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Макаров Сергей Николаевич, к.м.н.;
ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Alexander V. Gubin, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0003-3234-8936;
eLibrary SPIN: 2014-6518;
e-mail: shugu19@gubin.spb.ru

Marchel S. Vetrile, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Igor N. Lisyansky, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Sergey N. Makarov, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321307>

Медицинский симулятор для подготовки рентген-лаборантов: экспериментальная работа

И.В. Маркин¹, К.С. Александров¹, Н.В. Варламова¹, П.К. Потапов¹, Е.А. Журбин¹,
А.Н. Матыцин¹, А.В. Ширшин², Е.С. Щелканова¹

¹ Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Российская Федерация;

² Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Травмы голеностопа различной природы — ушибы, растяжения, разрывы, вывихи и подвывихи, переломы — составляют 20–30% от всех возможных травм опорно-двигательного аппарата. Наиболее часто встречающимися травмами голеностопа являются разрыв и растяжение связок. Сложность лечения переломов данной локализации обусловлена необходимостью точной репозиции суставной поверхности и стабильной фиксации отломков. Актуальной задачей является практическая подготовка рентген-лаборантов. Внедрение в учебный процесс подготовки медицинских кадров на всех этапах обучающих симуляционных курсов способствует снижению ошибок, уменьшению осложнений и повышению качества оказания медицинской помощи населению.

Цель. Разработка и изготовление симулятора, имитирующего костную структуру и мягкие ткани человека и дающего возможность всесторонне подготовить и обучить рентген-лаборантов для выполнения рентгенологических исследований голеностопного сустава и стопы.

Материалы и методы. В процессе создания тренажёра выполнены следующие этапы: получение образцов костей голеностопа, изготовление формы для отливки и сборки тренажёра. Для создания образцов костей использовались результаты компьютерной и магнитно-резонансной томографии, на основе которых получена цифровая 3D-модель костей стопы и голеностопного сустава. Методом аддитивных технологий изготовлены анатомически точные копии костей стопы и голеностопного сустава человека. На следующем этапе разработана трёхмерная цифровая модель и изготовлена форма для отливки готового изделия. Внутри формы размещались образцы костей, собранные в единую структуру. Далее проводилось поэтапное заполнение формы мягким гелеподобным материалом. В данном случае выбран самовулканизирующийся состав на основе силиконового каучука, который после затвердевания имитирует мягкие ткани человека.

Результаты. В ходе работы изготовлен опытный образец медицинского симулятора, имитирующий костную структуру и мягкие ткани человека и позволяющий рентген-лаборантам получать практические навыки при выполнении рентгеновских снимков голеностопного сустава и стопы.

Заключение. Изготовленный симулятор может широко применяться в процессе подготовки и обучения рентген-лаборантов благодаря своей высокой анатомической точности, простоте использования и хорошему потенциалу для массового производства.

Ключевые слова: медицинский симулятор; аддитивные технологии; голеностопный сустав; стопа; рентгенология; тренажёр.

Как цитировать:

Маркин И.В., Александров К.С., Варламова Н.В., Потапов П.К., Журбин Е.А., Матыцин А.Н., Ширшин А.В., Щелканова Е.С. Медицинский симулятор для подготовки рентген-лаборантов: экспериментальная работа // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 335–346.
DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321307>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321307>

Medical simulator for the training of radiologists: experimental work

Ilya V. Markin¹, Konstantin S. Alexandrov¹, Natalya V. Varlamova¹, Petr K. Potapov¹, Evgeniy A. Zhurbin¹, Anton N. Matytsin¹, Alexandr V. Shirshin², Elena S. Shchelkanova¹

¹ Military Innovation Technopolis «ERA», Anapa, Russian Federation;

² Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Ankle injuries of various nature — bruises, sprains, tears, dislocations and subluxations, and fractures — account for 20–30% of all musculoskeletal system injuries. The most common ankle injuries are a tear and sprain. The difficulty in treating fractures in this location is due to the need for accurate repositioning of the articular surface and stable fixation of fragments. The actual task is to train roentgenologists in the field. The inclusion of medical personnel in the educational process at all levels of training simulation courses aids in the reduction of errors, reduction of problems, and the improvement of the quality of medical treatment provided to the public.

OBJECTIVE: This study aims to develop and create a simulator that simulates human bone structure and soft tissues and allows roentgenologists to get through training and instruction radiological examinations of an ankle joint and a foot.

MATERIALS AND METHODS: The following stages of the simulator's development have been completed: acquiring ankle bone samples, creating a mold for casting, and constructing the simulator. The results of computer and magnetic resonance imaging were used to construct bone samples, from which a computerized 3D model of the bones of the foot and ankle joint was obtained. Using additive technologies, anatomically correct reproductions of human foot and ankle bones were made. At the next stage, a three-dimensional digital model was developed, and a mold for casting the finished product was made. Bone samples collected in a single structure were placed inside the mold. Next, a step-by-step filling of the form with a soft gel-like material was performed. In this case, a self-vulcanizing silicone rubber composition is selected, which, after solidification, imitates human soft tissues.

RESULTS: During the course of the study, a prototype medical simulator was created that models human bone structure and soft tissues and allows roentgenologists to practice performing ankle joint and foot roentgenography.

CONCLUSION: Because of its high anatomical accuracy, ease of use, and mass production potential, the developed simulator can be widely employed in the teaching of roentgenologists.

Keywords: medical simulator; additive technologies; ankle joint; foot; roentgenology; simulator.

To cite this article:

Markin IV, Alexandrov KS, Varlamova NV, Potapov PK, Zhurbin EA, Matytsin AN, Shirshin AV, Shchelkanova ES. Medical simulator for the training of radiologists: experimental work. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):335–346. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321307>

ОБОСНОВАНИЕ

Травмы голеностопа различной природы — ушибы, растяжения, разрывы, вывихи и подвывихи, переломы — составляют 20–30% от всех возможных травм опорно-двигательного аппарата [1–4]. Наиболее часто встречающимися травмами голеностопа являются разрывы и растяжение связок, в некоторых случаях сопровождающиеся переломом костей [5] и отёком мягких тканей.

Кости и связки голени образуют кольцо, соединяющее большеберцовую, малоберцовую, таранную и пяточную кости. Переломы, нарушающие целостность кольца в одном месте, как правило, приводят к возникновению повреждений в другом месте. Сложность лечения переломов данной локализации обусловлена необходимостью точной репозиции суставной поверхности и стабильной фиксации отломков.

Не менее актуальной задачей является практическая подготовка рентген-лаборантов. Внедрение в учебный процесс подготовки медицинских кадров на всех этапах обучающих симуляционных курсов способствует снижению числа ошибок, уменьшению количества осложнений и повышению качества оказания медицинской помощи населению [6]. Включение в образовательные программы тренингов с применением симуляторов и электронных обучающих программ целесообразно при подготовке медицинского персонала [7–9].

За время профессиональной переподготовки по специальности «рентгенология» зачастую не все специалисты среднего звена овладевают достаточными практическими навыками для выполнения в дальнейшей клинической практике качественных рентгенологических исследований, в том числе при повреждениях и заболеваниях голеностопного сустава и стопы. Для обучения или повышения квалификации специалистов требуется более серьёзная практическая подготовка, которая малопродуктивна без качественных учебных тренажёров и моделей [10, 11].

Обучение медицинского персонала с использованием манекенов и тренажёров под наблюдением преподавателя предоставляет возможность делать ошибки в безопасной среде, что улучшает качество освоения практических навыков [12].

В настоящее время существует медицинский фантом X-Ray Phantom Foot Erler Zimmer (Erler Zimmer, Германия), использующийся при обучении рентген-лаборантов и врачей-рентгенологов работе с рентгеновскими аппаратами. Материал фантома, имитирующий мягкие ткани, не обладает гибкостью, что не позволяет изгибать изделие для имитации различных положений нижней конечности [13]. В качестве костной структуры используются натуральные человеческие кости, что может вызвать проблемы морально-этического характера. К тому же изделие характеризуется высокой ценой — порядка 400 тысяч рублей. Внешний вид фантома представлен на рис. 1.



Рис. 1. Медицинский рентгеновский фантом нижней конечности фирмы Erler Zimmer.

Fig. 1. Medical X-ray phantom of the lower limb from Erler Zimmer.

В результате анализа отечественных и зарубежных литературных источников выявлено, что существующие медицинские рентгенологические симуляторы предназначены для калибровки и настройки оборудования, в то время как обучающие симуляторы для рентгенологов присутствуют на рынке в малом количестве и, как правило, характеризуются высокой стоимостью [13, 14]. Очевидна актуальность разработки, создания и внедрения тренажёра для отработки практических навыков рентген-лаборантов при выполнении рентгенологических исследований голеностопного сустава и стопы.

Цель исследования — разработка технологии и создание простой в изготовлении и применении модели медицинского симулятора, имитирующего кости и мягкие ткани нижней трети берцовых костей и стопы человека. Костная система симулятора должна быть выполнена из рентгеноконтрастного материала с целью подготовки и обучения рентген-лаборантов проведению исследований стопы и голеностопного сустава в различных проекциях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнена экспериментальная работа по созданию опытного образца медицинского симулятора для подготовки рентген-лаборантов к проведению рентгеновских исследований дистальных отделов нижних конечностей. Разработка симулятора основывается на результатах опубликованной экспериментальной работы «Медицинский симулятор для подготовки врачей-травматологов: экспериментальная работа» [15] и является её продолжением. Опыт, полученный при создании тренажёра наложения КСТ, развит и расширен при выполнении данной работы.

Условия проведения

Работа проводилась в военном инновационном технополисе «ЭРА» (г. Анапа) в период с октября 2022 по январь 2023 г.

Методы оценки целевых показателей

Процесс изготовления симулятора для подготовки рентген-лаборантов к выполнению рентгеновских исследований голеностопного сустава и стопы разделён на несколько основных этапов:

- 3D-моделирование костей нижней трети голени и стопы, подложки для анатомически верной сборки костей стопы и формы для отливки;
- изготовление анатомически точных копий костей нижней трети голени и стопы;
- изготовление подложки для анатомически верной сборки костей нижней трети голени и стопы;
- сборка всей костной системы с использованием подложки;
- изготовление формы для отливки;
- поэтапная заливка силиконового состава и экспозиция с последующей обработкой готового изделия.

В качестве исходных данных использовалась серия компьютерных томограмм дистального отдела нижних конечностей в формате DICOM, исследование выполнено в Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Снимки обрабатывались в программе 3D Slicer с целью получения 3D-моделей костей и внутренней поверхности формы для отливки. В программе SolidWorks 2018 на основе полученных данных создавалась трёхмерная цифровая модель формы для отливки. Далее файлы загружались в программное обеспечение ideaMaker, где производилась генерация управляющих команд для 3D-принтера на основе созданных 3D-моделей (слайсинг). Для печати моделей костей и формы для отливки использовался принтер Raise 3D Pro2 Plus (Raise3D Pioneering Flexible Manufacturing, Китай), основанный на технологии печати FDM (от англ. fused deposition modeling — моделирование методом послойного наплавления). В качестве материала для печати костей применялся полилактид (полимеризованная молочная кислота; англ. Polylactide Acid, PLA) (BestFilament, Россия). Материал для печати костей выбран исходя из более высокого значения механической прочности, чем у акрилонитрил-бутадиен-стирола (англ. Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS): прочность на изгиб — 55,3 МПа, прочность на разрыв — 57,8 МПа, модуль упругости при растяжении — 3,3 ГПа. Эти показатели позволяют ему с большей достоверностью имитировать натуральные кости человека по сравнению с другими доступными для 3D-печати видами пластиков.

В качестве материала для печати формы для отливки применялась нить из ABS диаметром 1,75 мм (BestFilament, Россия).

Условия печати: форма для отливки — температура экструдера 230 °С, температура стола 100 °С, скорость печати 60 мм/с, толщина слоя 0,2 мм, заполнение 75%; кости — температура экструдера 205 °С, температура стола 60 °С, скорость печати 40 мм/с, толщина слоя 0,2 мм, заполнение 75%. Выбор материала формы для отливки

обусловлен тем, что данный пластик легко поддаётся механической обработке, обладает высокой прочностью на изгиб — 41 МПа, предел его прочности на разрыв — 22 МПа, модуль упругости при растяжении — 1627 МПа.

Для анатомически верной сборки костной системы спроектирована и распечатана специальная подложка, позволяющая соблюсти необходимые углы между отдельными костями и верные размеры суставных щелей. При размещении костей стопы в предназначенных для них нишах складывается анатомически верная модель костной системы стопы.

Постобработка выполнялась механическим методом — отделение деталей от подложек и поддерживающих конструкций, обрезка и шлифование мелких дефектов печати. На следующей стадии распечатанные модели костей обрабатывались хлористым метиленом (ТУ 2631-019-44493179-98 с изм. 1, 2) для достижения гладкости внешних поверхностей и скреплялись между собой при помощи силиконового герметика («Монолит», Россия), а части формы — с помощью болтов (М6) и силиконового герметика.

После сборки формы на внутреннюю поверхность наносился вазелин, внутри размещались образцы костей и производилась поэтапная заливка формы силиконовой смесью, имитирующей мягкие ткани.

Заливка силиконового состава проводилась в лабораторных условиях при комнатной температуре (23–25 °С). Двухкомпонентный силиконовый состав производства SP-Polymer (Россия), отверждаемый катализатором на основе олова, обладает низкой вязкостью, коротким временем полного формования и длительным сроком эксплуатации. Для максимально достоверной имитации мягких тканей человека выбран силиконовый состав с твёрдостью по Шору А 30 единиц. Более мягкие и твёрдые образцы состава признаны неудовлетворительно передающими плотностные показатели мягких тканей. Компонент А перемешивался до однородности, переносился в лабораторный мерный стаканчик и точно дозировался (до 3-го знака после запятой) при помощи лабораторных весов. В массу компонента А (около 150 г) при помощи лабораторного дозатора вносился компонент Б — катализатор отверждения на основе олова — в соотношении 100:2. Смесью перемешивалась до однородности и заливалась в подготовленную форму.

Изделие заливалося поэтапно, после затвердевания силиконовой смеси собирался следующий ярус формы и проводилась заливка очередной порции смеси. Каждый ярус затвердевал в течение 15–20 часов при температуре 23–25 °С. Для предотвращения расслоения изделия на месте стыка ярусов формы заливка каждого яруса смеси осуществлялась до уровня в 2–3 сантиметра до верхнего среза яруса формы. С целью улучшения адгезии между слоями силиконовой смеси перед заливкой очередного слоя поверхность предыдущего затвердевшего слоя протиралась 70% раствором уксусной кислоты.

Такая обработка разрушает образующуюся на поверхности смеси оксидную плёнку и улучшает склеивание между слоями.

С целью точного и анатомически верного размещения костной структуры в толще мягких тканей использованы проволочные стяжки. Такой подход даёт возможность зафиксировать модели костей в нужном положении на время затвердевания силиконового состава. После затвердевания состава костная система оказывалась прочно и надёжно зафиксированной в правильном положении. При окончании работы с текущим ярусом формы оттяжки демонтировались и устанавливались на следующий, продолжая обеспечивать верное размещение костной системы. Общий вид поэтапной заливки силиконового состава представлен на рис. 2.

После затвердевания смеси выполнялись разборка и отделение готового изделия от формы.

Далее с помощью рентгеновского аппарата проводили рентгенографию изготовленного медицинского симулятора в прямой, боковой и косой проекциях при тех же параметрах исследования, с которыми выполняются стандартные рентгеновские снимки стопы и голеностопного сустава у пациентов.

Этическая экспертиза

Серия компьютерных томограмм получена в обезличенном виде, поэтому согласования с этическим комитетом не требовалось.

Статистический анализ

Не проводился.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для достижения поставленной цели процесс создания симулятора разбит на 4 этапа, каждый из которых включает несколько стадий. Принципиальная

технологическая схема изготовления симулятора представлена на рис. 3.

Стадия 1. Изготовление анатомически точных копий костей голеностопа

Для упрощения процесса печати и обеспечения более высокого качества получаемых деталей модель костной системы разделили на 6 сегментов, которые печатались отдельно.

Полученные модели костей сохраняли в формате STL (от англ. Standard Triangulation Language — стандартный язык триангуляции) и загружали в слайсер ideaMaker с целью преобразования модели в набор управляющих инструкций и проверки целостности слоёв моделей при рассмотрении послойного печатания. По окончании проверки файл сохраняли в формате управляющих инструкций для 3D-принтера G-code и загружали в принтер.

Для печати 3D-модели применяли принтер Raise 3D Pro2 Plus и технологию печати FDM.

После снятия детали с печати проведены удаление элементов, поддерживающих конструкцию, устранение мелких артефактов и шероховатостей, шлифовка поверхностей и обработка хлористым метилом. Данные методы используются для удаления с поверхности модели крупных неровностей, образовавшихся в ходе печати, а также для удаления дефектов печати и сглаживания текстуры модели.

Стадия 2. Изготовление подложки для анатомически верной сборки костей стопы

С целью обеспечения анатомически верной сборки костной системы стопы разработана и создана подложка для сборки медицинского симулятора. Изделие спроектировано в программе для трёхмерного моделирования ZBrush. На нижней стороне модели костной системы стопы создана сплошная поверхность, повторяющая

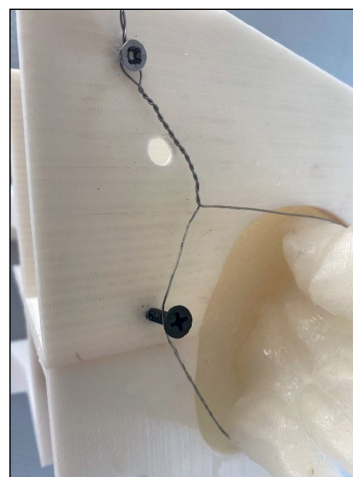


Рис. 2. Поэтапная заливка силиконового состава с установленными проволочными оттяжками.

Fig. 2. Step-by-step pouring of silicone compound with installed wire ties.

1) Создание костной системы



4) Создание формы для отливки



2) Создание подложки для сборки



5) Размещение костной системы в форме, поэтапная заливка состава



3) Сборка костной системы воедино



6) Разбор формы, готовое изделие



Рис. 3. Принципиальная технологическая схема изготовления симулятора.

Fig. 3. Basic technological scheme of simulator manufacturing.

геометрические формы нижней поверхности костей. В программе ZBrush размер полученной сплошной криволинейной поверхности увеличен на 5%. Затем при помощи функции булевой операции выполнен отпечаток нижней поверхности стопы. Полученная модель представляет собой пластину, повторяющую по контуру стопу человека, ограниченную с нижней стороны опорной плоскостью, а с верхней — углублениями для размещения костей стопы. При установке костей стопы в предназначенные для них ниши получилась анатомически верная модель костной системы стопы.

Изделие производится на 3D-принтере из филамента PLA.

Стадия 3. Сборка костной системы с использованием подложки

На данной стадии осуществлялась сборка костной системы в единое целое. Сборка начиналась с фаланг пальцев стопы. Модели костей устанавливались в соответствующих им углублениях на подложке для сборки. После расположения соседних костей их края скреплялись временной перемычкой из пластика при помощи 3D-ручки. Для этих временных связей использовался филамент ABS. После остывания пластика зафиксированное расстояние суставной щели заполнялось силиконовым герметиком. По прошествии времени, необходимого для полного отвердевания герметика, временная

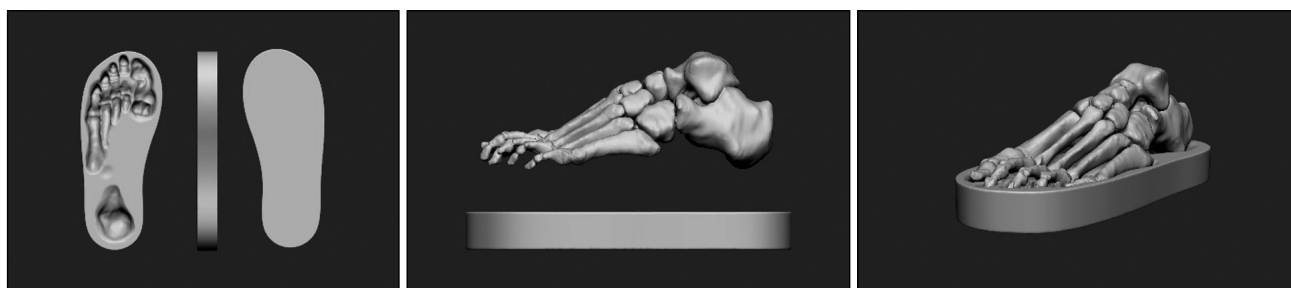


Рис. 4. 3D-модель подложки для анатомически верной сборки костей стопы.

Fig. 4. 3D substrate model for anatomically correct assembly of the foot bones.

перемычка из пластика удалялась. Трёхмерная модель подложки и способ размещения в ней костей представлены на рис. 4.

В результате постепенной сборки костей получена целостная костная система голеностопа. Костная система анатомически верна за счёт использования подложки для сборки костей стопы, фиксации размера суставной щели пластиковыми перемычками и заполнения этой щели силиконовым герметиком. Готовая система скрепляется воедино только при помощи силикона в суставных щелях, что обуславливает достаточную гибкость и подвижность конструкции.

Стадия 4. Изготовление формы для отливки

На данной стадии осуществляли изготовление формы для отливки симулятора. Моделирование и печать формы выполнялись по той же технологии, что и создание моделей костей. Ввиду ограниченности печатного пространства принтера (300×300×600 мм), а также для упрощения разборки и извлечения готового симулятора из формы модель разделили на 8 сегментов. Масса готовой формы составила 800 г без учёта болтов. Трёхмерная модель собранной формы для отливки представлена на рис. 5.

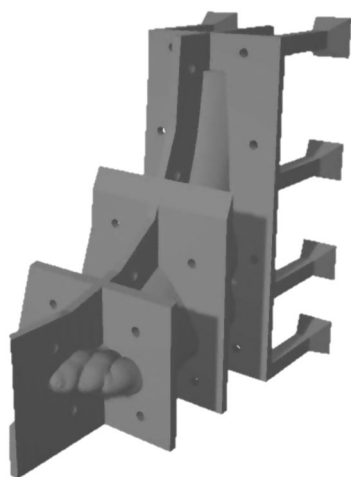


Рис. 5. Отливочная форма на этапе моделирования.

Fig. 5. Casting mould in the modelling phase.

Стадия 5. Поэтапная заливка силиконового состава

На данном этапе производилась заливка мягкой части симулятора — имитации мягких тканей конечности. Первым этапом осуществляли подбор наиболее оптимального состава материала для заливки. На основании предыдущего опыта разработки и создания медицинского симулятора при нестабильных переломах таза выбраны два вида состава. Критерием оптимальности выступала схожесть основных физико-механических характеристик затвердевшего состава с соответствующими усреднёнными характеристиками мягких тканей человека (упругость, прочность, твёрдость и т.д.). В результате сравнения используемых и доступных к приобретению пластичных составов выбран силиконовый каучук (ГОСТ 13835-73) — двухкомпонентный состав производства SP Polymer (Россия) с отвердителем на основе олова. Состав основного компонента: диметилсилоксан — 35%, полидиметилсилоксан — 30%, мелкодисперсный порошок диоксида кремния (аэросил) — 35%.

В линейке товаров данного производителя присутствуют 4 вида силиконовых составов, отличающихся цветом, прозрачностью и твёрдостью по Шору А. Использование окрашенных видов силикона не рассматривалось, так как необходимо достичь некоторой прозрачности изделия для видимости расположения костей стопы.

Неокрашенные составы присутствуют в двух видах — с твёрдостью по Шору А 10 и 30 единиц. Выбран состав с плотностью 30 единиц, так как состав с твёрдостью 10 единиц признан излишне мягким для достоверной имитации тканей организма.

Исполнение в силиконе имеет ряд преимуществ, таких как больший срок службы, отсутствие неприятного запаха, меньшее число оборудования при производстве, но стоимость используемого материала более высокая.

Далее осуществлялась заливка имитации мягких тканей путём посегментного перенесения состава в форму с размещённой внутри костной системой и производилась постобработка полученного изделия.

На внутреннюю поверхность формы наносился вазелин для облегчения последующего отделения симулятора, места стыковки заполнены силиконовым герметиком для предотвращения вытекания смеси.



Рис. 6. Заполнение формы силиконовым составом.

Fig. 6. Filling the mould with silicone compound.

Для осуществления заливки в последний ярус просверлено отверстие в самой высокой точке формы. Через отверстие при помощи шприца форма заполнялась силиконовым составом до конца. Процесс заполнения последнего яруса силиконовой смесью представлен на рис. 6.

После того как заливочный состав принимал однородную структуру, удалялись крепления, осуществлялись разборка формы и отделение её от макета, а также пост-обработка изделия. В результате был получен готовый медицинский симулятор голеностопа для подготовки и обучения рентген-лаборантов со следующими параметрами: силиконовое исполнение — масса изделия 1,2 кг, длина 25,5 см, ширина 10 см, высота 23 см. Общий вид готового симулятора представлен на рис. 7.



Рис. 7. Симулятор голеностопа после снятия отливочной формы.

Fig. 7. An ankle simulator after casting mould removal.

В процессе моделирования и производства медицинского симулятора выявлен ряд замечаний и подготовлены рекомендации для улучшения качества готового изделия и повышения его долговечности.

Ввиду того, что по мере заполнения давление на стенки и дно формы увеличивается, необходимо пересмотреть конструкцию заливочной формы, повысить плотность заполнения и количество слоёв стенки, особенно для первого яруса, на который приходится максимальная нагрузка. Аналогично — укрепить и увеличить толщину дна формы во избежание её деформации. Для улучшения показателя надёжности и безопасности формы следует дополнить количество рёбер жесткости — время изготовления увеличится примерно на 25–30%.

При применении технологии заливки силиконовой смеси в форму критически важным является неполное разовое заполнение ярусов формы. В процессе изготовления выявлено, что оптимальное заполнение яруса — не более 75%, так как смеси необходимо отстояться и затвердеть. В противном случае из-за высокого гидростатического давления смеси в форме увеличивается вероятность протекания состава между стыками ярусов и частей формы.

Перед заливкой очередного яруса поверхность затвердевшего силиконового состава обрабатывалась раствором уксусной кислоты (70%) для улучшения адгезии слоёв друг с другом и разрушения оксидного слоя на его поверхности.

В ходе постепенного наращивания числа залитых ярусов симулятора обнаружено, что фаланги пальцев костной системы упираются в верхнюю часть формы. Для обеспечения правильности размещения костной системы в толще мягких тканей напечатан дополнительный ярус формы толщиной 7 мм, что позволило увеличить общую высоту формы и анатомически верно расположить костную систему относительно поверхности симулятора.

По мере затвердевания состава необходимо осуществлять постепенное ослабление крепёжных элементов для снижения риска разрушения стенок, так как со временем фантом расширяется и возникает высокая нагрузка на форму.

На последней стадии заливки опалубки обнаружено, что после отливки и затвердевания состава в мягких тканях симулятора сохранились мелкие пузырьки воздуха, что некритично снижает плотность и анатомическую схожесть мягких тканей с тканями человека. Для устранения данной проблемы необходимо добавить стадию вибрационной обработки (простукивания формы) для упрощения и ускорения выхода пузырьков газа из плотной среды.

ОБСУЖДЕНИЕ

После завершения всех этапов сборки проводили рентгенографию медицинского симулятора левой стопы и голеностопного сустава (рис. 8) по аналогии с выполнением обзорных рентгеновских снимков стопы и голеностопного



Рис. 8. Рентгенограммы медицинского симулятора левой стопы и голеностопного сустава в прямой и боковой проекциях.

Fig. 8. Medical simulator radiographs of the left foot and ankle joint in straight and lateral projections.

сустава у пациентов. На полученных цифровых рентгеновских снимках определяются костные и мягкотканые структуры стопы и голеностопного сустава, соответствующие нормальной анатомии человека. Контуры костей медицинского симулятора ровные, чёткие. Суставные поверхности конгруэнтны, рентгеновские суставные щели прослеживаются.

Однако рентгенологическая картина медицинского симулятора всё же отличается от стандартных снимков стопы и голеностопного сустава. Кости медицинского симулятора однородны, высокой плотности, типичная костная структура не прослеживается, отсутствует дифференциация на кортикальную и губчатую кости. Мягкие ткани тренажёра также отличаются от визуализации мягких тканей при выполнении стандартной рентгенографии голеностопного сустава и стопы: отсутствует какая-либо дифференциация, ткани представлены однородной структурой с низкой плотностью. В толще мягких тканей визуализируются незначительные по размерам скопления воздуха в виде пузырьков, которые, вероятно, образовались в процессе заливки симулятора силиконом. Результаты рентгенологического исследования симулятора в виде рентгеновских снимков представлены на рис. 8.

Также несмотря на то, что у разработанного симулятора тактильное восприятие имеет относительное сходство с мягкими тканями человека, изделие не позволяет имитировать различные положения при рентгенографии.

Несмотря на имеющиеся недостатки и некоторое несоответствие в рентгенологической картине симулятора и настоящих рентгеновских снимков стопы, данный тренажёр всё же позволит повысить качество обучения рентген-лаборантов в период их профессиональной переподготовки за счёт освоения практических навыков проведения рентгенографии в разных проекциях на различных режимах аппарата и с изменением других параметров рентгенологического исследования.

Для ценового сравнения разработанного симулятора с зарубежными аналогами проведён ориентировочный расчёт стоимости основных компонентов и комплектующих

симулятора. Таким образом, ориентировочная стоимость всех основных компонентов и комплектующих симуляторов может составить 5300 рублей (в нашем случае).

Следует также отметить, что форма для отливки может быть многоразовой и использоваться при повторной заливке силиконом. Соответственно, изготовление последующих симуляторов с учётом имеющейся формы для отливки будет обходиться в 1300 рублей. Для сравнения: цена ранее представленного зарубежного аналога [13] составляет 5117 евро.

Производство разработанного симулятора является технологически простым, поэтому изготовлением данной продукции могут заниматься предприятия, владеющие технологией 3D-печати. В связи с развитием аддитивных технологий в Российской Федерации и их внедрением в повседневную деятельность медицинских организаций предложенную технологию разработки симуляторов целесообразно использовать непосредственно в медицинских учреждениях. Изготовление изделий на базе медицинских учреждений позволит воспроизводить симуляторы с учётом особенностей и задач, которые стоят перед медицинским персоналом.

Несомненным плюсом реализации данной технологии является использование доступных FDM 3D-принтеров начального уровня.

В отечественных реалиях производства и изготовления симуляторов особое место занимает импортозамещение исходных компонентов и расходных материалов. В данной экспериментальной работе разработан симулятор полностью из отечественных материалов.

Таким образом, медицинский симулятор целесообразно использовать для проведения учебно-тренировочных рентгенологических исследований, так как он позволяет рентген-лаборантам отрабатывать навыки выполнения рентгеновских снимков стопы и голеностопного сустава, правильно подбирать параметры исследования, накапливать опыт позиционирования пациента и рентгеновской трубки с целью получения качественных прицельных рентгенограмм отдельных анатомических структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и изготовлен медицинский симулятор для отработки навыков выполнения рентгенологических исследований стопы и голеностопного сустава рентген-лаборантами. Полученное изделие имеет ряд недоработок и конструктивных недостатков, однако отличается низкой себестоимостью и может применяться в процессе подготовки и обучения рентген-лаборантов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку

статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

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

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратенко И.В. Биомеханическое исследование состояния структур ступни при переломе наружной лодыжки // Наука настоящего и будущего. 2018. № 1. С. 418–421.
2. Li Y., Guo R., Wang Y., Ma J., Miao X., Yang J., Zhang Z., Wu X., Ren T., Jiang D. Shoe-Integrated Sensor System for Diagnosis of the Concomitant Syndesmotic Injury in Chronic Lateral Ankle Instability: A Prospective Double-Blind Diagnostic Test // *Nanomaterials* (Basel). 2023. Vol. 13, № 9. P. 1539. doi: 10.3390/nano13091539
3. Koh D., Chandrakumara D., Kon Kam King C. Incidence of Injuries Associated with Anterior Talofibular Ligament Injury Based on the Reporting of Magnetic Resonance Imaging // *Cureus*. 2023. Vol. 15, № 7. P. e41738. doi: 10.7759/cureus.41738
4. Zeng J., Xu C., Xu G., Wang D., et al. The Global Status of Research in Ankle Fracture: A Bibliometric and Visualized Study // *Front Surg*. 2022. Vol. 14, № 9. P. 853101. doi: 10.3389/fsurg.2022.853101
5. Солод Э.И., Загородний Н.В., Лазарев А.Ф., и др. Возможности оперативного лечения переломов лодыжек при проблемах кожных покровов области голеностопного сустава // Уральский медицинский журнал. 2019. № 12. С. 96–101.
6. Самохвалов И.М., Борисов М.Б., Магомедов Н.Б., Ганин Е.В. Опыт 3D-моделирования в травматологии и ортопедии // Клиническая патофизиология. 2020. Т. 26, № 1. С. 52–58.
7. Карлова Н.А., Бойцова М.Г., Зорин Я.П. Организация самостоятельной работы ординаторов по специальности «Рентгенология» с элементами симуляционного обучения // Визуализация в медицине. 2020. Т. 2, № 4. С. 3–6.
8. Венцорова Н.В., Потлов А.Ю., Тымчук Т.М. Тканеимитирующие фантомы в медицине и биологии // V Международная научно-практическая конференция «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн»; 2018; Тамбов. Режим

доступа: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?page=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D37068545

9. Солдатов Ю.П. Симуляторы собственной конструкции в обучении врачей травматологов-ортопедов // Виртуальные технологии в медицине. 2019. № 2. С. 63. doi: 10.46594/2687-0037_2019_2_63
10. Кушнарев С.В., Железняк И.С., Кравчук В.Н., и др. Применение 3D-моделей сердца, созданных на основе DICOM-изображений, в медицинской практике // Лучевая диагностика и терапия. 2020. Т. 11, № 3. С. 7–13. doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-7-13
11. Ramos S.M.O., Thomas S., Berdeguez M.B.T., et al. Anthropomorphic phantoms-potential for more studies and training in radiology // *Int J Radiol Radiat Ther*. 2017. Vol. 2, № 4. P. 101–104. doi: 10.15406/ijrt.2017.02.00033
12. Бондаренко Е.В., Хоронько Л.Я. Симуляционное обучение как ведущее направление развития медицины // Мир науки. Педагогика и психология. 2022. Т. 10, № 3. С. 1–7.
13. X-Ray Phantom Foot, transparent [Internet] [дата обращения 19.02.2023]. Доступ по ссылке: www.erler-zimmer.de/shop/en/9318?c=2241
14. Громов А.И., Низовцова Л.А., Петрайкин А.В., и др. Симуляционные модули в обучении и квалификационной оценке врачей и средних медработников по специальности «Рентгенология» // Виртуальные технологии в медицине. 2015. Т. 2, № 14. С. 43–44.
15. Парамонов Т.А., Маркин И.В., Ан В.Р., и др. Медицинский симулятор для подготовки врачей-травматологов: экспериментальная работа // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 3. С. 279–288. doi: 10.17816/vto110979

REFERENCES

1. Kondratenko IV. Biomechanical study of the foot structure at the fracture of the lateral malleolus. *Nauka nastoyashchego i budushchego*. 2018;(1):418–421. (In Russ).
2. Li Y, Guo R, Wang Y, Ma J, Miao X, Yang J, Zhang Z, Wu X, Ren T, Jiang D. Shoe-Integrated Sensor System for Diagnosis of the

Concomitant Syndesmotic Injury in Chronic Lateral Ankle Instability: A Prospective Double-Blind Diagnostic Test. *Nanomaterials* (Basel). 2023;13(9):1539. doi: 10.3390/nano13091539

3. Koh D, Chandrakumara D, Kon Kam King C. Incidence of Injuries Associated with Anterior Talofibular Ligament Injury

Based on the Reporting of Magnetic Resonance Imaging. *Cureus*. 2023;15(7):e41738. doi: 10.7759/cureus.41738

4. Zeng J, Xu C, Xu G, Wang D, et al. The Global Status of Research in Ankle Fracture: A Bibliometric and Visualized Study. *Front Surg*. 2022;14(9):853101. doi: 10.3389/fsurg.2022.853101

5. Solod EI, Zagorodnij NV, Lazarev AF, i dr. Vozmozhnosti operativnogo lecheniya perelomov lodyzhek pri problemah kozhnykh pokrovov oblasti golenostopnogo sustava. *Ural'skij medicinskij zhurnal*. 2019;(12):96–101. (In Russ).

6. Samohvalov IM, Borisov MB, Magomedov NB, Ganin EV. Opyt 3D-modelirovaniya v travmatologii i ortopedii. *Klinicheskaya patofiziologiya*. 2020;26(1):52–58. (In Russ).

7. Karlova NA, Bojcovna MG, Zorin YaP. Organizatsiya samostoyatel'noj raboty ordinatov po special'nosti «Rentgenologiya» s elementami simulyacionnogo obucheniya. *Vizualizatsiya v medicine*. 2020;2(4):3–6. (In Russ).

8. Vencerova NV, Potlov AYu, Tymchuk TM. Tkaneimitiruyushchie fantomy v medicine i biologii. V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Virtual'noe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlennyy dizajn»; 2018; Tambov. Available from: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D37068545 (In Russ).

9. Soldatov YuP. Simulyatory sobstvennoj konstrukcii v obuchenii vrachej travmatologov-ortopedov. *Virtual'nye tekhnologii v medicine*. 2019;(2):63. (In Russ). doi: 10.46594/2687-0037_2019_2_63

10. Kushnarev SV, Zheleznyak IS, Kravchuk VN, i dr. Primenenie 3D-modelej serdca, sozdannykh na osnove DICOM-izobrazhenij, v medicinskoj praktike. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2020;11(3):7–13. (In Russ). doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-7-13

11. Ramos SMO, Thomas S, Berdeguez MBT, et al. Anthropomorphic phantoms-potential for more studies and training in radiology. *Int J Radiol Radiat Ther*. 2017;2(4):101–104. doi: 10.15406/ijrrt.2017.02.00033

12. Bondarenko EV, Khoronko LYa. Simulation training as a leading direction in the development of medicine. *Mir nauki. Pedagogika i psihologiya*. 2022;10(3):1–7. (In Russ).

13. X-Ray Phantom Foot, transparent [Internet] [cited 2023 February 19]. Available from: www.erler-zimmer.de/shop/en/9318?c=2241

14. Gromov AI, Nizovcova LA, Petryajkin AV, i dr. Simulyacionnye moduli v obuchenii i kvalifikacionnoj ocenke vrachej i srednih medrabotnikov po special'nosti «Rentgenologiya». *Virtual'nye tekhnologii v medicine*. 2015;2(14):43–44. (In Russ).

15. Paramonov TA, Markin IV, An VR, i dr. Medicinskij simulyator dlya podgotovki vrachej-travmatologov: eksperimental'naya rabota. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2022;29(3):279–288. (In Russ). doi: 10.17816/vto110979

ОБ АВТОРАХ

* **Маркин Илья Владимирович**, к.т.н.;

адрес: Россия, Анапа, 353456, Пионерский пр., 41;

ORCID: 0000-0002-9334-910X;

eLibrary SPIN: 6021-7645;

e-mail: ilya.markin.92@bk.ru

Александров Константин Сумбатович, ефрейтор,

старший оператор 3-й научной роты;

e-mail: alexandrov.97@mail.ru

Варламова Наталья Валерьевна, д.т.н.,

старший научный сотрудник;

ORCID: 0000-0002-6100-2427;

eLibrary SPIN: 9139-6019;

e-mail: varlamova@tpu.ru

Потапов Пётр Кириллович, к.м.н.;

eLibrary SPIN: 5979-4490;

e-mail: forwardspb@mail.ru

Журбин Евгений Александрович, к.м.н.;

ORCID: 0000-0002-0867-3838;

eLibrary SPIN: 8426-1354;

e-mail: zhurbin-90@mail.ru

Матыцин Антон Николаевич, ефрейтор,

старший оператор 3-й научной роты;

e-mail: an.matysyn@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Ilya V. Markin**, Cand. Sci. (Tech.);

address: 41 Pionerskiy prospect, Anapa, 353456, Russia;

ORCID: 0000-0002-9334-910X;

eLibrary SPIN: 6021-7645;

e-mail: ilya.markin.92@bk.ru

Konstantin S. Alexandrov, corporal,

senior operator of the 3rd scientific company;

e-mail: alexandrov.97@mail.ru

Natalya V. Varlamova, Dr. Sci. (Tech.),

senior researcher;

ORCID: 0000-0002-6100-2427;

eLibrary SPIN: 9139-6019;

e-mail: varlamova@tpu.ru

Petr K. Potapov, MD, Cand. Sci. (Med.);

eLibrary SPIN: 5979-4490;

e-mail: forwardspb@mail.ru

Evgeniy A. Zhurbin, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-0867-3838;

eLibrary SPIN: 8426-1354;

e-mail: zhurbin-90@mail.ru

Anton N. Matysyn, corporal,

senior operator of the 3rd scientific company;

e-mail: an.matysyn@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Ширшин Александр Вадимович, аспирант,
врач-рентгенолог;
ORCID: 0000-0002-1494-9626;
eLibrary SPIN: 4412-0498;
e-mail: asmdot@gmail.com

Щелканова Елена Сергеевна, к.б.н.;
ORCID: 0000-0003-0672-8820;
eLibrary SPIN: 8396-0602;
e-mail: shchelkanova_el@mail.ru

Alexandr V. Shirshin, post-graduate student,
radiologist;
ORCID: 0000-0002-1494-9626;
eLibrary SPIN: 4412-0498;
e-mail: asmdot@gmail.com

Elena S. Shchelkanova, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0003-0672-8820;
eLibrary SPIN: 8396-0602;
e-mail: shchelkanova_el@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto528219>

Лечение пациентки с хронической каузалгией после хирургического удаления невromы второго межплюсневового промежутка

Д.А. Большакова^{1,2}, А.А. Карданов¹, М.Н. Майсигов¹, А.В. Королёв^{1,2}¹ Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии ECSTO, Москва, Российская Федерация;² Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Неврома Мортона — распространённая патология, затрагивающая передний отдел стопы. Этиопатогенетически данное заболевание можно отнести к фиброзу нерва, а не опухоли. Несмотря на множество вариантов лечения невromы, наиболее распространённым хирургическим методом является тракционная невротомия. До 35% пациентов, получивших невротомию, испытывают рецидивирующие боли, в трети случаев выявляют неврому культи, вызванную разрастанием волокнистой рубцовой ткани вокруг оставшихся элементов нерва. Для лечения рецидивирующих невром и остаточных болей чаще используют консервативную тактику, однако некоторые пациенты нуждаются в хирургическом лечении. Несмотря на большое количество лиц с данной патологией, лечение таких пациентов представляет сложную задачу для врачей травматологов-ортопедов.

Описание клинического случая. Представлен успешный опыт комбинации консервативного и двухэтапного хирургического лечения пациентки с невромой культи второго межпальцевого промежутка и первичной невромой Мортона. Первым этапом выполнены транспозиция нерва второго межпальцевого промежутка и рассечение межплюсневовой связки третьего межпальцевого промежутка. Вторым этапом — иссечение чувствительного подошвенного рубца, резекция подошвенного нерва третьего межпальцевого промежутка, остеотомия Weil второй плюсневой кости.

Заключение. Последовательное применение комбинации консервативных и хирургических техник, адекватная ревизия подошвенного нерва, иссечение чувствительного рубца позволяют добиться удовлетворительного результата лечения, купирования болевого синдрома, возможности носить нормальную обувь.

Ключевые слова: каузалгия; неврома Мортона; хронический болевой синдром; подошвенный пальцевый нерв; неврома культи нерва.

Как цитировать:

Большакова Д.А., Карданов А.А., Майсигов М.Н., Королёв А.В. Лечение пациентки с хронической каузалгией после хирургического удаления невromы второго межплюсневового промежутка // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 347–356.

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto528219>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto528219>

Treatment of a patient with chronic causalgia after surgical removal of the neuroma in the second interdigital space

Daria A. Bolshakova^{1,2}, Andrey A. Kardanov¹, Musa N. Maysigov¹, Andrey V. Korolev^{1,2}

¹ European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics ECSTO, Moscow, Russian Federation;

² Russian University of Peoples' Friendship, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Morton's neuroma is a common pathology of the forefoot. Etiopathologically, this disease can be attributed to nerve fibrosis, not a tumor. We now have various therapeutic options for neuromas, the most frequent of which is traction neurectomy. Recurrent pain affects up to 35% of patients with traction neurectomy, and one-third have recurrent stump neuroma produced by the proliferation of fibrous scar tissue around the remaining nerve elements. Conservative treatment methods are more commonly used to treat recurrent neuromas and residual pain, but surgical therapy is required in some cases. Despite the relatively high prevalence, the treatment of such patients is a challenging task for orthopedic traumatologists.

CLINICAL CASE DESCRIPTION: We show the effective treatment of a patient with stump neuroma and primary Morton's neuroma in two stages. The second interdigital space nerve was transposed, and the deep, transverse metatarsal ligament of the third interdigital space was dissected in the first stage. The second stage consists of removing the sensitive scar, resecting the plantar nerve of the third interdigital space, and performing a Weil osteotomy.

CONCLUSION: Consistent use of conservative surgical procedures, appropriate revision of the subcutaneous nerve, and excision of a sensitive scar allows for a successful therapeutic outcome, pain alleviation, and the ability to wear normal shoes.

Keywords: causalgia; Morton's neuroma; chronic pain syndrome; plantar nerve; neuroma; case report.

To cite this article:

Bolshakova DA, Kardanov AA, Maysigov MN, Korolev AV. Treatment of a patient with chronic causalgia after surgical removal of the neuroma in the second interdigital space. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):347–356. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto528219>

ОБОСНОВАНИЕ

Неврома Мортона — это компрессионная невропатия, вызванная периневральным фиброзом общего подошвенного межпальцевого нерва, который возникает в результате сжатия и постоянного раздражения нерва подошвенной частью поперечной межплюсневой связки, главным образом в третьем межпальцевом промежутке [1].

По данным Zanetti с соавт., распространённость невромы Мортона варьирует от 30 до 33%. Столь высокий показатель в популяции авторы объясняют значительной частотой бессимптомного утолщения нерва [2–4]. Женщины страдают невромой Мортона в 8–18 раз чаще мужчин [5–8].

Клинически неврома Мортона обычно вызывает боль в передней части стопы, которая может иррадиировать в пальцы ног, а иногда и в тыльную сторону стопы или даже в голень. Эта боль обычно усиливается при ношении нефизиологичной обуви и часто облегчается, если снять обувь и помассировать болезненную переднюю часть стопы [8, 9].

Существует ряд консервативных методов лечения пациентов с невромой Мортона: использование ортопедических стелек и правильно подобранной физиологичной обуви, инъекции кортикостероидов, инъекции этанола, ударно-волновая терапия, радиочастотная абляция, криоабляция, инъекции капсаицина, инъекции ботулинического токсина, лазерная терапия [10–14].

Хирургические методы лечения применяются как самостоятельно, так и при неэффективности консервативной терапии. По данным литературы можно выделить разные подходы к хирургической тактике: от резекции или тракционной невротомии поражённого нерва до устранения биомеханической причины — уменьшения избыточной длины плюсневой кости — или сочетание этих методов [9, 15, 16].

Несмотря на большое количество предложенных методов лечения, зачастую они оказываются безуспешными. При проведении статистического анализа, описанного Thomson с соавт., одним из самых успешных методов оказались инъекции кортикостероидов, приводящие к долгосрочному удовлетворительному результату в 50% случаев [14].

Частота неудачных операций у пациентов с невромой Мортона, по некоторым данным, достигает 30%. Основными причинами боли после хирургического лечения являются: неверно определённая первичная локализация невромы и как следствие — ревизия неверного межпальцевого промежутка, неполная резекция, сложный регионарный болевой синдром или рецидив невромы (неврома культы нерва) [10].

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Мы представляем клинический случай каузалгии переднего отдела стопы у пациентки с двумя невромами

и длительным анамнезом безуспешного консервативного и хирургического лечения.

Пациентка С. обратилась к нам в клинику в 2018 году с жалобами на жгучую, стреляющую боль во втором и третьем межпальцевых промежутках правой стопы после хирургического лечения, проведённого в сторонней клинике. Со слов пациентки и по данным медицинской документации, боль во втором межпальцевом промежутке манифестировала в 2018 году на фоне повышенных нагрузок на ноги и ношения узкой обуви. По данным ультразвукового исследования (УЗИ) выявлены неврома Мортона и неврома Хаузера. В августе 2018 года в сторонней клинике пациентке были выполнены тракционная неврэктомия во втором межпальцевом промежутке, рассечение межплюсневой связки в третьем межпальцевом промежутке с выраженным отрицательным эффектом в раннем послеоперационном периоде: стреляющие боли в проекции хирургического вмешательства, онемение второго пальца, чувство перекатывания шарика под кожей в зоне невромы. Оперировавшим хирургом и нами была рекомендована выжидательная тактика.

В 2020 году пациентке было выполнено УЗИ, на котором выявлены рубцовые изменения во втором межпальцевом промежутке, невринома культы нерва, неврома Мортона в третьем межпальцевом промежутке. Пациентка проходила консервативное лечение: блокады с гидрокортизоном с временным положительным эффектом (не более недели). Учитывая хронический болевой синдром, врачом-неврологом была назначена системная терапия габапентином — без положительного эффекта. На исследовании методом магнитно-резонансной томографии (МРТ) в сентябре 2020 года (рис. 1а) выявлены два гипоинтенсивных образования во втором и третьем межпальцевых промежутках. В декабре 2020 года пациентке выполнена радиочастотная термодеструкция постхирургической культы нерва и кожного нерва правой стопы во втором межпальцевом промежутке с временным (не более двух недель) положительным эффектом. Для уточнения диагноза и определения тактики дальнейшего лечения пациентка повторно выполнила УЗИ правой стопы (медицинская документация предоставлена). Были выявлены УЗ-признаки гипозоногенного образования в третьем межплюсневом промежутке, признаки постоперационных изменений во втором межплюсневом промежутке, признаков асимметрии строения подошвенных нервов между правой и левой нижними конечностями не обнаружено.

В марте 2021 года пациентке было выполнено введение в поражённые межплюсневые промежутки препарата ксеомин 50 ед с умеренным положительным эффектом. В декабре 2021 года пациентке осуществлена радиочастотная ризотомия культы нерва и кожного нерва правой стопы во втором и третьем межпальцевых промежутках без положительного эффекта. В качестве консервативной терапии для облегчения боли пациентка принимала

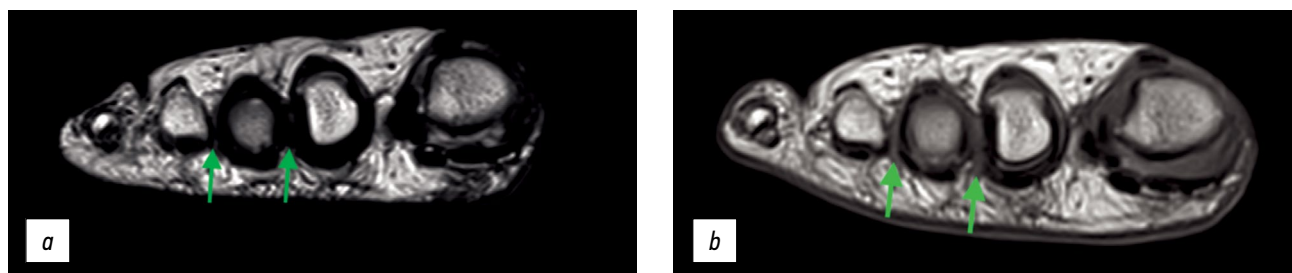


Рис. 1. Этапные магнитно-резонансные томографии МРТ пациентки С.: *a* — сентябрь 2020 г.: два гипоинтенсивных образования во втором и третьем межпальцевых промежутках; *b* — сентябрь 2021 г.: два гипоинтенсивных образования во втором и третьем межпальцевых промежутках. При сравнении с МРТ от 2020 года — увеличение интенсивности сигнала (уменьшение плотности фиброза).

Fig. 1. Staged magnetic resonance imaging MRI of patient S.: *a* — september 2020: two hypointense lesion in the second and third interdigital spaces; *b* — september 2021: two hypointense lesion in the second and third interdigital spaces. When compared with MRI from 2020, an increase in signal intensity (decrease fibrosis density).

лирику (прегабалин) 150 мг с умеренным положительным эффектом. На МРТ-исследовании (рис. 1*b*) отмечена слабopоложительная динамика — уменьшение плотности рубцовой ткани во втором межпальцевом промежутке.

В апреле 2022 года пациентка повторно была проконсультирована врачом травматологом-ортопедом нашей клиники. Запланировано хирургическое лечение, для купирования болевого синдрома выполнено введение препарата кеналог (триамцинолон) 40 мг (1 мл) во второй и третий межпальцевые промежутки с умеренным положительным эффектом. В мае 2022 года пациентке было выполнено хирургическое вмешательство в следующем объёме: ревизия второго и третьего подошвенных нервов правой стопы, релиз, транспозиция второго нерва и иссечение рубцовой ткани. Операция выполнялась из подошвенного доступа в положении больной лёжа на животе.

В ходе ревизии были обнаружены второй подошвенный нерв с признаками отрыва, выраженный рубцово-спаечный процесс. Дистальный конец культы резецирован, сформирован и заложен в толщу поперечной головки M. adductor hallucis, фиксирован рассасывающейся нитью PDS 5/0 (рис. 2). По желанию пациентки неврома в области третьего межпальцевого промежутка не была удалена, однако были произведены релиз нерва, рассечение спаек. В раннем послеоперационном периоде пациентка была удовлетворена проведённым лечением, однако боль в третьем межпальцевом промежутке сохранилась. Для улучшения реабилитации и учитывая необходимость пациентки выйти на работу была выполнена инъекция лидокаина на 14-е сутки с момента операции в третий межпальцевый промежуток с умеренным положительным эффектом. Послеоперационная рана зажила первичным

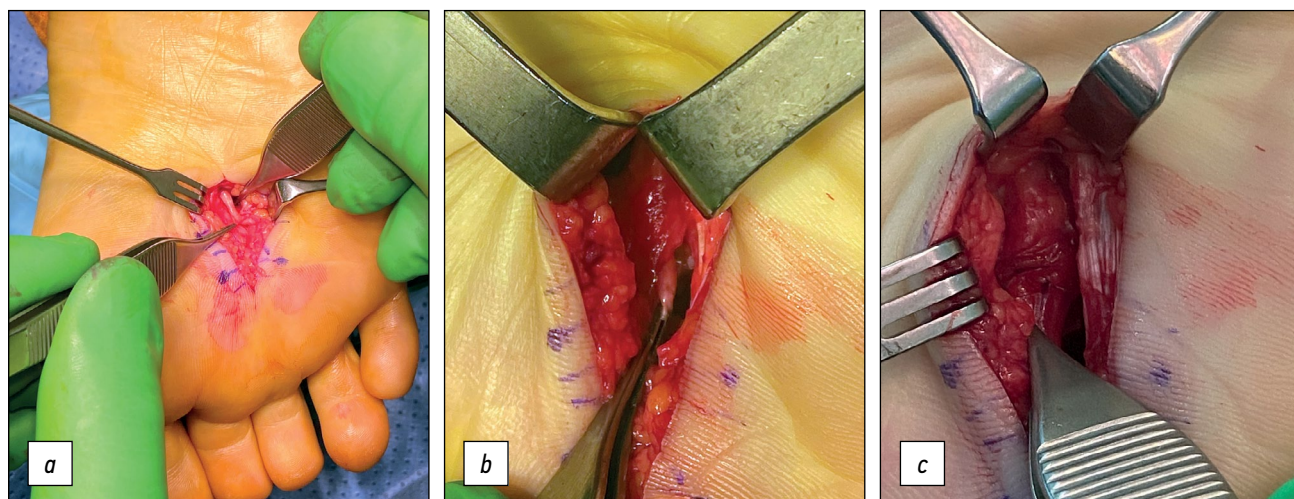


Рис. 2. Первый этап хирургического лечения: *a* — этап ревизии второго подошвенного нерва: отрыв культы, выраженный спаечный процесс; *b* — культа нерва после повторной резекции, остро сформирован конец нерва, в толщу нервного ствола введён 2% раствор лидокаина; *c* — сформированная культа нерва заложена в толщу поперечной головки M. adductor hallucis, зафиксирована рассасывающейся нитью PDS 5/0.

Fig. 2. The first stage of surgical treatment: *a* — revision of the second plantar nerve: separation of the stump, pronounced adhesive process; *b* — nerve stump after resection, the end of the nerve is acutely formed, a 2% lidocaine solution is injected into of the nerve trunk; *c* — the formed nerve stump is integrated in the transverse head of M. adductor hallucis, fixed by the absorbable thread PDS 5/0.

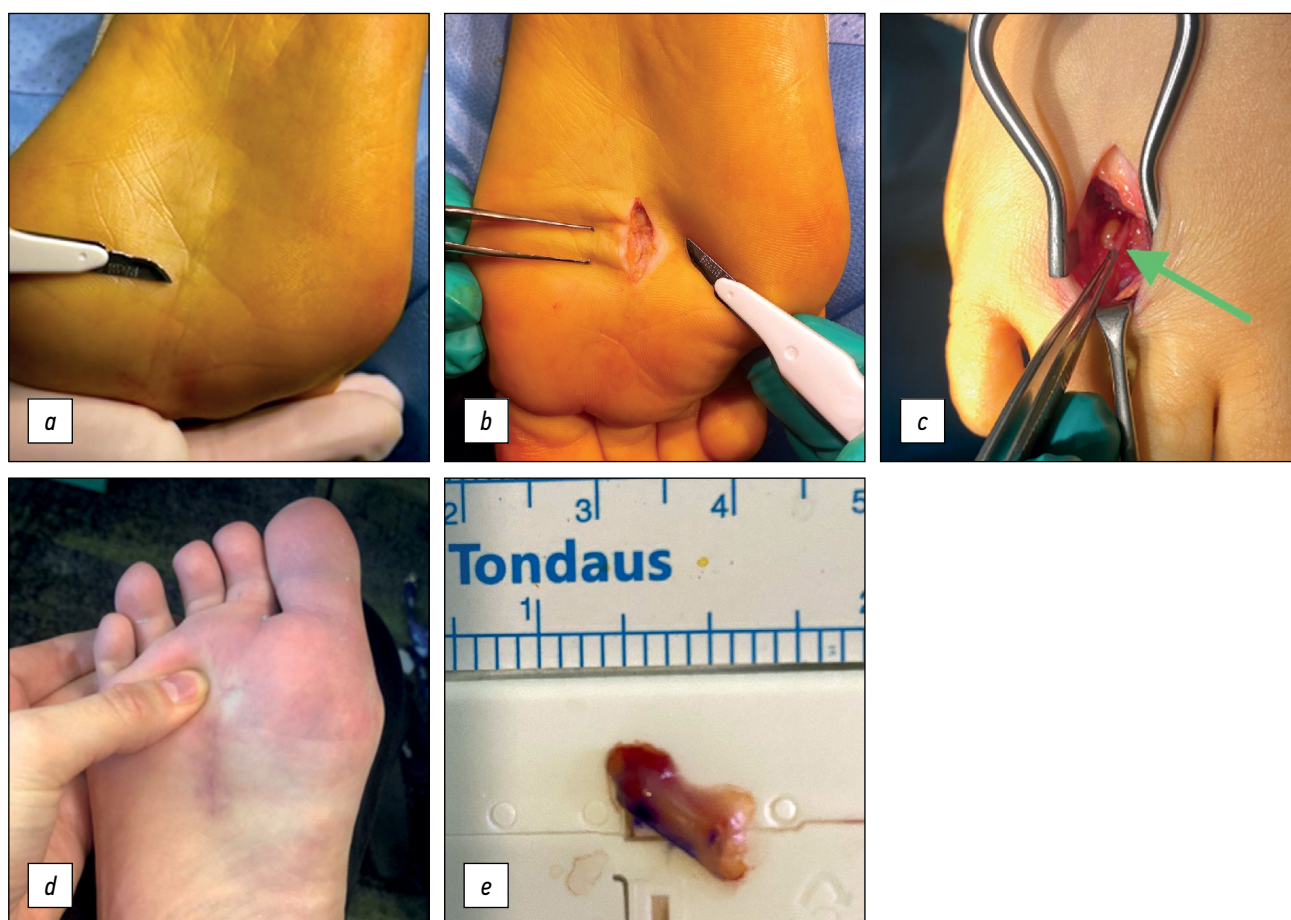


Рис. 3. Второй этап хирургического лечения: *a* — внешний вид послеоперационного рубца, гипертрофированные участки соединительной ткани; *b* — малый подошвенный доступ для ревизии только гипертрофированного рубца; *c* — тыльный доступ, стрелкой показана неврома Мортона; *d* — внешний вид подошвенного рубца через 3 месяца после операции; *e* — полученный нами резецированный участок третьего межпальцевого нерва, направленный на гистологическое исследование.

Fig. 3. The second stage of surgical treatment: *a* — the appearance of the postoperative scar, hypertrophied areas of connective tissue; *b* — small plantar approach for revision the hypertrophied scar; *c* — dorsal approach, the arrow shows Morton's neuroma; *d* — the appearance of the plantar scar 3 months after surgery; *e* — the resected section of the third interdigital nerve obtained by us, directed at histological examination.

натяжением без особенностей. Через два месяца после операции пациентка обратилась в стороннюю ортопедическую клинику за рубежом, где ей было выполнено введение глюкокортикостероидов (медицинская документация не предоставлена) с кратковременным улучшением, а затем резким ухудшением через две недели. Была выполнена МРТ, обнаружены признаки дегенерации подкожно-жировой клетчатки в области подошвы в зоне головок второй и третьей плюсневых костей. При ходьбе пациентка начала отмечать, что «ходит будто на костях». Для оценки изменений в динамике пациентка повторно выполнила МРТ. Проконсультирована в нашей клинике, рекомендовано хирургическое лечение в следующем объёме: иссечение послеоперационного рубца, удаление невromы Мортона, релиз третьего подошвенного нерва, остеотомия Weil третьей плюсневой кости правой стопы. В январе 2023 года было выполнено хирургическое лечение (рис. 3). Ранний послеоперационный период протекал без осложнений, боль полностью регрессировала.

Период реабилитации в послеоперационной обуви Барука составил 6 недель, далее пациентка смогла ходить в собственной обуви. Клинический результат оценён через 3 и 6 месяцев после операции: послеоперационный рубец состоятельный, без признаков гипертрофии. Однако сохранились остаточные боли в области головок плюсневых костей при нагрузке (до 3 баллов по визуально-аналоговой шкале ВАШ). Динамика болевого синдрома по ВАШ представлена на рис. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Неудовлетворительные результаты как консервативного, так и хирургического лечения пациентов с межпальцевой невромой встречаются относительно часто.

Colò с соавт. указывают, что положительные результаты лечения мягкой обувью и стельками могут наблюдаться у пациентов с невромами до 5–6 мм [11]. Широкое распространение именно этого консервативного метода

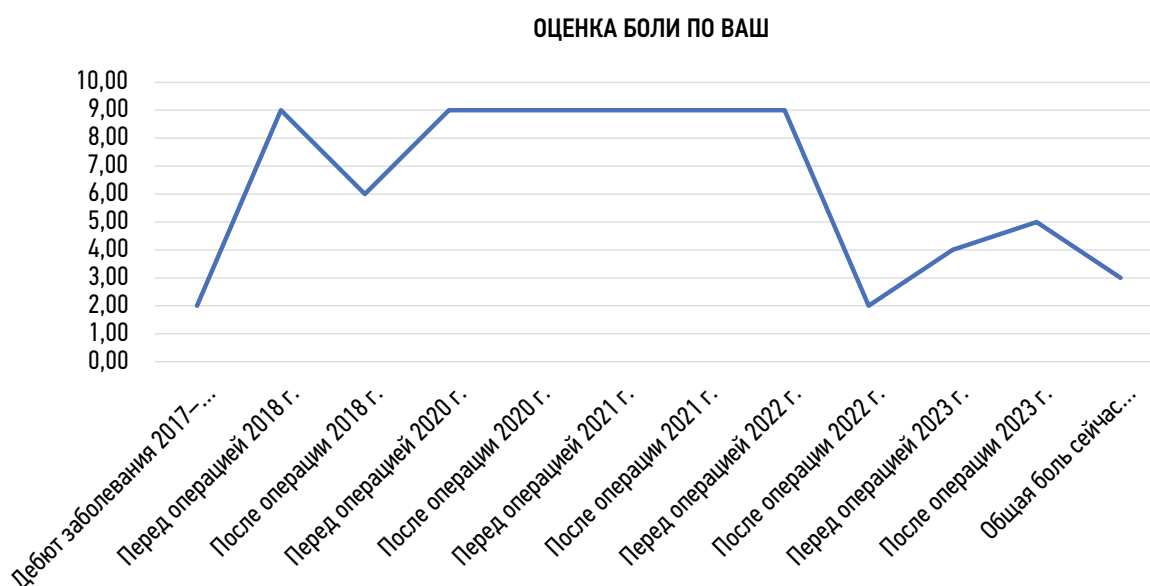


Рис. 4. График динамики боли, субъективно оценённой пациенткой по визуально-аналоговой шкале ВАШ, с момента дебюта заболевания до шести месяцев после финального этапа хирургического лечения.

Fig. 4. The graph of the pain assessed by the patient on a visual analog scale VAS, from the debut moment of the disease to six months after the final stage of surgical treatment.

мы объясняем тем, что он единственный абсолютно безопасен.

Несмотря на то, что в зарубежной литературе все инъекционные методы традиционно относят к группе «non-surgical» (нехирургические), большинство из них достаточно инвазивны и могут приводить к серьёзным побочным эффектам. Атрофия подкожно-жировой клетчатки и подошвенной жировой подушечки, изменение цвета кожи и разрушение суставной капсулы, прилегающей к месту инъекции, что вызывает деформацию пальца стопы, являются некоторыми из зарегистрированных побочных эффектов инъекций кортикостероидов [17, 18]. В рандомизированном исследовании, опубликованном в 2017 году, не было выявлено статистически значимой разницы между инъекциями местного анестетика и его же в сочетании с кортикостероидами [19].

Инъекция спирта была впервые предложена Dockery в 1999 году для достижения химического неврוליза поражённого нерва [20]. В литературе описаны противоречивые результаты применения данного метода: от 72,3 % положительных результатов до 71% отрицательных [21, 22]. Такой разброс данных можно объяснить разными периодами наблюдения.

Исследования с ботулотоксином и капсаицином проводились в течение очень короткого периода наблюдения (3 и 1 месяц соответственно), положительные результаты инъекций с капсаицином составили 46,3%, ботулотоксином — 70,6 % [5, 23].

В исследовании Chuter с соавт. 85% исследуемых оценили свой результат радиочастотной абляции как удовлетворительный через 6 месяцев после лечения, 10% удалили невром у хирургическим путём [24].

Несмотря на облегчение клинических симптомов, неуспешность консервативного лечения, по мнению Мапп с соавт., в долгосрочной перспективе составляет около 70–80% [7].

Опубликованные результаты удовлетворённости хирургическим лечением разнятся и составляют от 50 до 85% [25–27].

Описано множество различных хирургических методик удаления невромы, из них ведущими являются резекция поражённой части нерва, тракционная невротомия, рассечение межплюсневой связки [17, 28].

Частота рецидивов после первичного удаления межпальцевой невромы составляет от 14 до 21%. По данным Adnan с соавт., рецидив симптомов после межпальцевой невротомии обусловлен неправильным диагнозом, другим межпальцевым промежутком, неразделённой поперечной межплюсневой связкой, слишком дистальным пересечением общего подошвенного пальцевого нерва и неполным удалением первичной невромы [29].

Изучая гистологические предпосылки к образованию невромы культи нерва, ряд авторов заключили, что после повреждения нерва или его резекции неорганизованное прорастание аксонов может привести к болезненному образованию невромы культи из-за нарушения целостности и повреждений в периферической нервной ткани [1, 28]. Гистопатологические изменения в нерве могут проявляться фиброзом внутри нерва и вокруг него, сопровождающимся разрушением аксонов и пролиферацией шванновских клеток и фибробластов [17].

При ревизии рецидивирующих невром Frush с соавт. выявили, что 19% являются первичными невромами, 22% — культевыми невромами, 44% — комбинацией

двух видов невром и 15% — патологией, не связанной с невромами [25].

Консервативное лечение рецидивирующих невром возможно и отдельно обсуждается с пациентом. Используют модификации обуви, специальные вкладыши, инъекции лидокаина, в том числе для дополнительной дифференциальной диагностики [27].

Хирургическое лечение включает декомпрессию, тыльную ревизию и резекцию, подошвенную ревизию и резекцию, транспозицию нерва в межмышечное пространство или брюшко мышцы, использование защитной тканевой матрицы нервной ткани на нерв [1, 25, 27].

Применение стандартных нехирургических (габапентин, прегабалин) и хирургических (радиочастотная абляция) методов лечения в рассматриваемом случае не дало стойкого положительного результата. Однако временный положительный эффект наблюдался при использовании регионарных блокад с применением препарата кеналог и растворов лидокаина. Невриномы культы — это частое явление, возникающее после повреждения или рассечения нерва. При неуспешном лечении с помощью консервативных методов стоит обратиться к хирургической ревизии невриномы культы.

По нашему мнению, использование подошвенного доступа при ревизионных операциях является методом выбора, обеспечивающим лучшую визуализацию, возможность адекватной ревизии всех структур, окружающих подошвенный нерв. Однако минусы его применения при первичной операции — более тяжёлая реабилитация, риск раневых осложнений и чувствительности рубца — ограничивают использование данной тактики и требуют дополнительного обсуждения с пациентом [1, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на кажущуюся простоту диагностики и лечения пациентов с межпальцевой невромой, отсутствие единого диагностического алгоритма, слабая подготовка врачей первичного профиля приводят к большому количеству осложнений и неправильному лечению, высокой частоте рецидива невропатических болей. На сегодняшний день отсутствует единый подход к лечению

рецидивирующей каузалгии переднего отдела стопы. Обилие консервативных и хирургических техник приводят к непоследовательному лечению, неудовлетворительному результату. Недостаточное понимание этиопатогенеза невром культы нерва порождает большое количество промежуточных этапов лечения, которые не дают результата, а зачастую лишь усугубляют повреждение нерва, психологическое состояние пациента. Последовательное применение как инъекционных методик, так и хирургии, адекватная ревизия и транспозиция подошвенного нерва, иссечение чувствительного рубца позволяют добиться удовлетворительного результата лечения, купирования болевого синдрома, дают возможность носить нормальную обувь.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

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

Информированное согласие на публикацию. Пациентка дала своё письменное согласие на публикацию её медицинских данных и фотографий.

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

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

Consent for publication. The patient gave consent to the publication of her medical data and images.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomajan C.H. A Method for Entubulating Exposed Nerve Ends Following Neurectomy Using a Porcine Extracellular Matrix Nerve Cap // *Foot & Ankle Specialist*. 2022. Vol. 15, № 6. P. 579–585. doi: 10.1177/19386400221106642
2. Bencardino J., Rosenberg Z.S., Beltran J., Liu X., Marty-Delfaut E. Morton's neuroma: is it always symptomatic? // *American journal of roentgenology*. 2000. Vol. 175, № 3. P. 649–653. doi: 10.2214/ajr.175.3.1750649
3. Zanetti M., Ledermann T., Zollinger H., Hodler J. Efficacy of MR imaging in patients suspected of having Morton's neuroma // *American Journal of Roentgenology*. 1997. Vol. 168, № 2. P. 529–532. doi: 10.2214/ajr.168.2.9016241
4. Zanetti M., Weishaupt D. MR Imaging of the Forefoot: Morton Neuroma and Differential Diagnoses // *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2005. Vol. 9, № 3. P. 175–186. doi: 10.1055/s-2005-921938
5. Climent J.M., Mondéjar-Gómez F., Rodríguez-Ruiz C., Díaz-Llopis I., Gómez-Gallego D., Martín-Medina P. Treatment of Morton Neuroma with Botulinum Toxin A: A Pilot Study // *Clinical Drug Investigation*. 2013. Vol. 33, № 7. P. 497–503. doi: 10.1007/s40261-013-0090-0

6. Goud A., Khurana B., Chiodo C., Weissman B.N. Women's Musculoskeletal Foot Conditions Exacerbated by Shoe Wear: An Imaging Perspective // *Am J Orthop* (Belle Mead NJ). 2011. Vol. 40, № 4. P. 183–91.
7. Mann R.A., Reynolds J.C. Interdigital Neuroma — A Critical Clinical Analysis // *Foot & Ankle*. 1983. Vol. 3, № 4. P. 238–243. doi: 10.1177/107110078300300411
8. Wu K.K. Morton's interdigital neuroma: A clinical review of its etiology, treatment, and results // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 1996. Vol. 35, № 2. P. 112–119. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80027-5
9. Jain S., Mannan K. The Diagnosis and Management of Morton's Neuroma: A Literature Review // *Foot & Ankle Specialist*. 2013. Vol. 6, № 4. P. 307–317. doi: 10.1177/1938640013493464
10. Bhatia M., Thomson L. Morton's neuroma — Current concepts review // *J Clin Orthop Trauma*. 2020. Vol. 11, № 3. P. 406–409. doi: 10.1016/j.jcot.2020.03.024
11. Colò G., Rava A., Samaila E.M., Palazzolo A., Talesa G., Schiraldi M., Magnan B., Ferracini R., Felli L. The effectiveness of shoe modifications and orthotics in the conservative treatment of Civinini-Morton syndrome: state of art // *Acta Bio Medica Atenei Parmensis*. 2020. Vol. 91, № 4-S. P. 60–68. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9713
12. Park C.H., Chang M.C. Forefoot disorders and conservative treatment // *Yeungnam University Journal of Medicine*. 2019. Vol. 36, № 2. P. 92–98. doi: 10.12701/yujm.2019.00185
13. Saygi B., Yildirim Y., Saygi E.K., Kara H., Esemeli T. Morton neuroma: comparative results of two conservative methods // *Foot & Ankle International*. 2005. Vol. 26, № 7. P. 556–559. doi: 10.1177/107110070502600711
14. Thomson L., Aujla R., Divall P., Bhatia M. Non-surgical treatments for Morton's neuroma: A systematic review // *Foot and Ankle Surgery*. 2020. Vol. 26, № 7. P. 736–743. doi: 10.1016/j.fas.2019.09.009
15. Di Caprio F., Meringolo R., Eddine M.S., Ponziani L. Morton's interdigital neuroma of the foot: A literature review // *Foot and Ankle Surgery*. 2018. Vol. 24, № 2. P. 92–98. doi: 10.1016/j.fas.2017.01.007
16. Gougoulas N., Lampridis V., Sakellariou A. Morton's interdigital neuroma: instructional review // *EFORT Open Reviews*. 2019. Vol. 4, № 1. P. 14–24. doi: 10.1302/2058-5241.4.180025
17. Munir U., Tafti D., Morgan S. Morton Neuroma. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.
18. Ruiz S.F., Olleta N.P., Muñoz P.T., Álvarez L.G., Martínez A.M. Short term comparison between blind and ultrasound guided injection in morton neuroma // *European Radiology*. 2019. Vol. 29, № 2. P. 620–627. doi: 10.1007/s00330-018-5670-1
19. Lizano-Díez X., Ginés-Cespedosa A., Alentorn-Geli E., Pérez-Prieto D., González-Lucena G., Gamba C., de Zabala S., Solano-López A., Rigol-Ramón P. Corticosteroid Injection for the Treatment of Morton's Neuroma: A Prospective, Double-Blinded, Randomized, Placebo-Controlled Trial // *Foot & Ankle International*. 2017. Vol. 38, № 9. P. 944–951. doi: 10.1177/1071100717709569
20. Dockery G.L. The treatment of intermetatarsal neuromas with 4% alcohol sclerosing injections // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 1999. Vol. 38, № 6. P. 403–408. doi: 10.1016/s1067-2516(99)80040-4
21. Gurdezi S., White T., Ramesh P. Alcohol Injection for Morton's Neuroma: A Five-Year Follow-Up // *Foot & Ankle International*. 2013. Vol. 34, № 8. P. 1064–1067. doi: 10.1177/1071100713489555
22. Perini L., Perini C., Tagliapietra M., Varotto D., Valcarengi A., Postorino A., Volpe A. Percutaneous alcohol injection under sonographic guidance in Morton's neuroma: follow-up in 220 treated lesions // *La radiologia medica*. 2016. Vol. 121, № 7. P. 597–604. doi: 10.1007/s11547-016-0622-9
23. Campbell C.M., Diamond E., Schmidt W.K., Kelly M., Allen R., Houghton W., Brady K.L., Campbell J.N. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of injected capsaicin for pain in Morton's neuroma // *Pain*. 2016. Vol. 157, № 6. P. 1297–1304. doi: 10.1097/j.pain.0000000000000544
24. Chuter G.S.J., Chua Y.P., Connell D.A., Blackney M.C. Ultrasound-guided radiofrequency ablation in the management of interdigital (Morton's) neuroma // *Skeletal Radiology*. 2013. Vol. 42, № 1. P. 107–111. doi: 10.1007/s00256-012-1527-x
25. Frush K., Niester A. Revision of Recurrent Neuromas // *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. 2020. Vol. 37, № 3. P. 521–532. doi: 10.1016/j.cpm.2020.03.007
26. Lee K.T., Kim J.B., Young K.W., Park Y.U., Kim J.S., Jegal H. Long-Term Results of Neurectomy in the Treatment of Morton's Neuroma: More Than 10 Years' Follow-up // *Foot & Ankle Specialist*. 2011. Vol. 4, № 6. P. 349–353. doi: 10.1177/1938640011428510
27. Richardson D.R., Dean E.M. The Recurrent Morton Neuroma: what now? // *Foot and Ankle Clinics*. 2014. Vol. 19, № 3. P. 437–449. doi: 10.1016/j.fcl.2014.06.006
28. Pereira R., Dauphinee D., Frania S., Garrett A. Clinical evaluation of an innovative nerve termination cap for treatment and prevention of stump neuroma pain: Results from a prospective pilot clinical study // *Foot & Ankle Surgery: Techniques, Reports & Cases*. 2022. Vol. 2, № 2. P. 100179. doi: 10.1016/j.fastrc.2022.100179
29. Adnan F.A., Acuth H. The outcome after using two different approaches for excision of Morton's neuroma // *Chinese Medical Journal*. 2010. Vol. 123, № 16. P. 2195.

REFERENCES

1. Thomajan CH. A Method for Entubulating Exposed Nerve Ends Following Neurectomy Using a Porcine Extracellular Matrix Nerve Cap. *Foot & Ankle Specialist*. 2022;15(6):579–585. doi: 10.1177/19386400221106642
2. Bencardino J, Rosenberg ZS, Beltran J, Liu X, Marty-Delfaut E. Morton's neuroma: is it always symptomatic? *American journal of roentgenology*. 2000;175(3):649–653. doi: 10.2214/ajr.175.3.1750649
3. Zanetti M, Ledermann T, Zollinger H, Hodler J. Efficacy of MR imaging in patients suspected of having Morton's neuroma. *American Journal of Roentgenology*. 1997;168(2):529–532. doi: 10.2214/ajr.168.2.9016241
4. Zanetti M, Weishaupt D. MR Imaging of the Forefoot: Morton Neuroma and Differential Diagnoses. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2005;9(3):175–186. doi: 10.1055/s-2005-921938

5. Climent JM, Mondéjar-Gómez F, Rodríguez-Ruiz C, Díaz-Llopis I, Gómez-Gallego D, Martín-Medina P. Treatment of Morton Neuroma with Botulinum Toxin A: A Pilot Study. *Clinical Drug Investigation*. 2013;33(7):497–503. doi: 10.1007/s40261-013-0090-0
6. Goud A, Khurana B, Chiodo C, Weissman BN. Women's Musculoskeletal Foot Conditions Exacerbated by Shoe Wear: An Imaging Perspective. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2011;40(4):183–91.
7. Mann RA, Reynolds JC. Interdigital Neuroma — A Critical Clinical Analysis. *Foot & Ankle*. 1983;3(4):238–243. doi: 10.1177/107110078300300411
8. Wu KK. Morton's interdigital neuroma: A clinical review of its etiology, treatment, and results. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 1996;35(2):112–119. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80027-5
9. Jain S, Mannan K. The Diagnosis and Management of Morton's Neuroma: A Literature Review. *Foot & Ankle Specialist*. 2013;6(4):307–317. doi: 10.1177/1938640013493464
10. Bhatia M, Thomson L. Morton's neuroma — Current concepts review. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(3):406–409. doi: 10.1016/j.jcot.2020.03.024
11. Colò G, Rava A, Samaila EM, Palazzolo A, Talesa G, Schiraldi M, Magnan B, Ferracini R, Felli L. The effectiveness of shoe modifications and orthotics in the conservative treatment of Civinini-Morton syndrome: state of art. *Acta Bio Medica Atenei Parmensis*. 2020;91(4-S):60–68. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9713
12. Park CH, Chang MC. Forefoot disorders and conservative treatment. *Yeungnam University Journal of Medicine*. 2019;36(2):92–98. doi: 10.12701/yujm.2019.00185
13. Saygi B, Yildirim Y, Saygi EK, Kara H, Esemeli T. Morton neuroma: comparative results of two conservative methods. *Foot & Ankle International*. 2005;26(7):556–559. doi: 10.1177/107110070502600711
14. Thomson L, Aujla R, Divall P, Bhatia M. Non-surgical treatments for Morton's neuroma: A systematic review. *Foot and Ankle Surgery*. 2020;26(7):736–743. doi: 10.1016/j.fas.2019.09.009
15. Di Caprio F, Meringolo R, Eddine MS, Ponziani L. Morton's interdigital neuroma of the foot: A literature review. *Foot and Ankle Surgery*. 2018;24(2):92–98. doi: 10.1016/j.fas.2017.01.007
16. Gougoulas N, Lampridis V, Sakellariou A. Morton's interdigital neuroma: instructional review. *EFORT Open Reviews*. 2019;4(1):14–24. doi: 10.1302/2058-5241.4.180025
17. Munir U, Tafti D, Morgan S. *Morton Neuroma*. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
18. Ruiz SF, Olleta NP, Muñoz PT, Álvarez LG, Martínez AM. Short term comparison between blind and ultrasound guided injection in morton neuroma. *European Radiology*. 2019;29(2):620–627. doi: 10.1007/s00330-018-5670-1
19. Lizano-Díez X, Ginés-Cespedosa A, Alentorn-Geli E, Pérez-Prieto D, González-Lucena G, Gamba C, de Zabala S, Solano-López A, Rigol-Ramón P. Corticosteroid Injection for the Treatment of Morton's Neuroma: A Prospective, Double-Blinded, Randomized, Placebo-Controlled Trial. *Foot & Ankle International*. 2017;38(9):944–951. doi: 10.1177/1071100717709569
20. Dockery GL. The treatment of intermetatarsal neuromas with 4% alcohol sclerosing injections. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 1999;38(6):403–408. doi: 10.1016/s1067-2516(99)80040-4
21. Gurdezi S, White T, Ramesh P. Alcohol Injection for Morton's Neuroma: A Five-Year Follow-Up. *Foot & Ankle International*. 2013;34(8):1064–1067. doi: 10.1177/1071100713489555
22. Perini L, Perini C, Tagliapietra M, Varotto D, Valcarengi A, Postorino A, Volpe A. Percutaneous alcohol injection under sonographic guidance in Morton's neuroma: follow-up in 220 treated lesions. *La radiologia medica*. 2016;121(7):597–604. doi: 10.1007/s11547-016-0622-9
23. Campbell CM, Diamond E, Schmidt WK, Kelly M, Allen R, Houghton W, Brady KL, Campbell JN. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of injected capsaicin for pain in Morton's neuroma. *Pain*. 2016;157(6):1297–1304. doi: 10.1097/j.pain.0000000000000544
24. Chuter GSJ, Chua YP, Connell DA, Blackney MC. Ultrasound-guided radiofrequency ablation in the management of interdigital (Morton's) neuroma. *Skeletal Radiology*. 2013;42(1):107–111. doi: 10.1007/s00256-012-1527-x
25. Frush K, Niester A. Revision of Recurrent Neuromas. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. 2020;37(3):521–532. doi: 10.1016/j.cpm.2020.03.007
26. Lee KT, Kim JB, Young KW, Park YU, Kim JS, Jegal H. Long-Term Results of Neurectomy in the Treatment of Morton's Neuroma: More Than 10 Years' Follow-up. *Foot & Ankle Specialist*. 2011;4(6):349–353. doi: 10.1177/1938640011428510
27. Richardson DR, Dean EM. The Recurrent Morton Neuroma: what now? *Foot and Ankle Clinics*. 2014;19(3):437–449. doi: 10.1016/j.fcl.2014.06.006
28. Pereira R, Dauphinee D, Frania S, Garrett A. Clinical evaluation of an innovative nerve termination cap for treatment and prevention of stump neuroma pain: Results from a prospective pilot clinical study. *Foot & Ankle Surgery: Techniques, Reports & Cases*. 2022;2(2):100179. doi: 10.1016/j.fastc.2022.100179
29. Adnan FA, Acuth H. The outcome after using two different approaches for excision of Morton's neuroma. *Chinese Medical Journal*. 2010;123(16):2195.

ОБ АВТОРАХ

* **Большакова Дарья Артуровна**, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0003-3332-9267;
e-mail: dasha.bolsh@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Daria A. Bolshakova**, post-graduate student,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0003-3332-9267;
e-mail: dasha.bolsh@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Карданов Андрей Асланович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0003-2866-2295;
eLibrary SPIN: 5134-8123;
e-mail: akardanov@emcmos.ru

Майсигов Муса Назирович, к.м.н.;
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-2096-5876;
e-mail: mmaysigov@emcmos.ru

Королёв Андрей Вадимович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-8769-9963;
eLibrary SPIN: 6980-6109;
e-mail: korolev.andrey.prof@gmail.com

Andrey A. Kardanov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0003-2866-2295;
eLibrary SPIN: 5134-8123;
e-mail: akardanov@emcmos.ru

Musa N. Maysigov, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-2096-5876;
e-mail: mmaysigov@emcmos.ru

Andrey V. Korolev, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-8769-9963;
eLibrary SPIN: 6980-6109;
e-mail: korolev.andrey.prof@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto466576>

Клинико-патогенетическое значение микрососудистого компонента костной ткани

А.А. Агафонова, А.И. Крупаткин, А.И. Дорохин

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Кровообращение и микроциркуляция костной ткани являются неотъемлемыми компонентами поддержания её обменных и репаративных процессов. Газообмен, транспорт питательных веществ и выведение продуктов метаболизма невозможны без участия костной микроциркуляторно-тканевой системы. Для регенерации костной ткани характерна спаренность ангиогенеза и остеогенеза, что позволяет применять показатели микроциркуляции в качестве дополнительных критериев состояния репаративных процессов. В клинике наиболее целесообразно использование неинвазивных методов диагностики состояния периферического кровообращения и микроциркуляции, которые позволяют оценить динамику сосудистого фактора при патологии кости, в том числе после переломов.

Ключевые слова: микроциркуляция; костная ткань; регенерация; лазерная доплеровская флоуметрия; оптические системы; высокочастотная доплерография.

Как цитировать:

Агафонова А.А., Крупаткин А.И., Дорохин А.И. Клинико-патогенетическое значение микрососудистого компонента костной ткани // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 357–366. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto466576>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto466576>

Clinical and pathogenetic significance of the microvascular component of bone tissue

Anastasia A. Agafonova, Alexandr I. Krupatkin, Alexandr I. Dorokhin

Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Bone tissue's blood circulation and microcirculation are critical to its metabolic and reparative processes. Without the participation of the bone microcirculatory tissue system, it is difficult to exchange oxygen and carbon dioxide, transport of nutrients, and excrete metabolic products. The regeneration of bone tissue is characterized by the pairing of angiogenesis and osteogenesis, which allows the use of microcirculation indicators as additional criteria for the state of reparative processes. Non-invasive approaches for detecting the state of peripheral circulation and microcirculation, which would enable assessing the dynamics of the vascular factor in bone pathology, including after fractures, are most practical in the clinic.

Keywords: microcirculation; bone tissue; regeneration; laser Doppler flowmetry; optical systems; high-frequency dopplerography.

To cite this article:

Agafonova AA, Krupatkin AI, Dorokhin AI. Clinical and pathogenetic significance of the microvascular component of bone tissue. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):357–366. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto466576>

Received: 30.05.2023

Accepted: 21.07.2023

Published: 06.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

Кровообращение и микроциркуляция костной ткани являются важными компонентами поддержания и активации её обменных и регенеративных процессов. Газообмен, транспорт питательных веществ и выведение продуктов метаболизма невозможны без участия костной микроциркуляторно-тканевой системы. Синтез коллагена и экспрессия факторов роста инициируют ферменты гидроксилазу и циклооксигеназу, работу которых обеспечивает непрерывное поступление кислорода из микроциркуляторного русла [1, 2]. Эндотелиальные клетки сосудистой стенки функционально взаимосвязаны с клетками костной ткани: клетки костной ткани секретируют ангиогенные факторы, тогда как эндотелиальные клетки продуцируют ангиокринные факторы, регулирующие метаболические процессы в кости [2]. Костный мозг также обладает развитым микроциркуляторным руслом, обеспечивающим жизнедеятельность стволовых клеток и клеток-предшественников [1, 3].

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

Авторами был проведён обширный поиск и анализ научных отечественных и зарубежных статей с использованием таких баз данных, как PubMed, Web of Science, Scopus, Google Scholar и eLibrary.Ru. Данный обзор литературы отражает современные подходы в диагностике состояния периферического кровообращения и микроциркуляции костной ткани, а также его клинико-патогенетическое значение в процессах регенерации кости.

ОБСУЖДЕНИЕ

Микроциркуляция костной ткани

Питающие артерии и высоковаккуляризованная надкостница являются основными источниками кровоснабжения кости [5]. При этом система кровообращения распределена в кости неоднородно — в эпифизарной области длинных костей кровотоки интенсивнее, чем в диафизарной [6]. Система фолкмановских каналов обеспечивает приток артериальной крови к микрососудистой системе костного мозга, сосуды внутри гаверсовых каналов распределяют потоки для кортикального кровоснабжения кости. Однако незрелая костная ткань у детей имеет неорганизованную систему гаверсовых и фолкмановских каналов, дифференциация которых происходит только после окончательного созревания кости [7].

Сосудистые сети длинных костей имеют два типа капилляров — H и L. В метафизарной области в непосредственной близости к зоне роста содержатся капилляры типа H, в диафизарной области — капилляры типа L. Сосуды типа H играют решающую роль в замещении хрящевого матрикса костной тканью во время развития и регенерации кости [8]. Эмиссарные вены и вены

надкостничного сплетения отвечают за венозный отток крови от кости [9].

Кроме того, между надкостницей и костным мозгом существуют дополнительные внутрикостные сосудистые сети, транскортикальные капилляры, обеспечивающие непосредственную связь между микроциркуляторной системой надкостницы и костным мозгом [10]. На экспериментальных моделях было доказано, что 80% артериального кровотока и 59% венозного составляют систему транскортикальных капилляров. У человека наличие такого типа капилляров было выявлено путём магнитно-резонансной томографии в сверхвысоком поле и дополнительного гистологического исследования.

Спаренность кровообращения и остеогенеза в процессе регенерации костной ткани

В процессе остеогенеза существует тесная взаимосвязь динамики кровотока и активности регенерации костной ткани. Без достаточного трофического обеспечения и прежде всего сосудистого компонента трофики, доставки оптимального количества кислорода и питательных веществ невозможно обеспечение адекватной тканевой регенерации. Для адекватного обеспечения потребностей остеогенеза восстановление кровотока в зоне регенерации костной ткани должно по времени предшествовать ей и модулироваться восстановительными процессами [11, 12].

Регенерация костной ткани имеет определённые фазы, в реализации каждой из которых микроциркуляторное русло играет существенную роль. Формирование гематомы и стаз крови между отломками являются компонентами первой фазы регенерации. В области перелома возникает некротический процесс, гипоксия тканей. Гипоксия активирует работу остеокластов и инициирует образование грануляционной ткани. В среднем начиная со второй недели происходит формирование сосудистой сети за счёт активации ангиогенеза и прорастания из сосудов мягких тканей, окружающих кость. В гематоме между отломками содержатся ангиогенные факторы, необходимые для формирования сосудистой сети, обеспечивающей восстановление нормальной циркуляции, и удаления некротизированных очагов [13, 14]. При удалении гематомы из места перелома происходит нарушение восстановления костной ткани, однако её трансплантация активирует регенеративный процесс [15]. Проангиогенные факторы роста, высвобожденные из гематомы, участвуют в транспорте фибробластов, воспалительных клеток, клеток-предшественников остеобластов и стимуляции ангиогенеза из костного мозга, надкостницы и кортикального слоя. Окончательное ремоделирование кости сопровождается полным восстановлением сосудистой сети.

Один из основных медиаторов ангиогенеза — фактор роста эндотелия сосудов — отвечает, кроме прочего, за хемотаксис остеобластов. Ангиопоэтин, тромбин,

фактор роста фибробластов вместе с морфогенетическими белками участвуют в процессе дифференцировки и пролиферации остеобластов, в результате чего формируется костная мозоль [16, 17]. Введение фактора роста эндотелия сосудов стимулирует ангиогенез в месте перелома и ускоряет формирование костной мозоли [18]. Индукция синтеза фактора роста эндотелия сосудов осуществляется в условиях острой гипоксии участков поврежденной костной ткани. Остеоциты под влиянием гипоксии синтезируют сигнальную молекулу, гипоксией индуцированный фактор, отвечающую за ангиогенез [19]. Гипоксией индуцированный фактор дополнительно блокирует синтез и пролиферацию остеокластов, исключая угнетение костной массы [20]. При ингибировании фактора роста эндотелия сосудов образование костной ткани и инвазия сосудистой сети снижались; в свою очередь, запуск процесса ангиогенеза и репаративной регенерации кости происходили при контролируемом высвобождении фактора роста эндотелия сосудов [20]. Кроме того, данный фактор действует синергично с костными морфогенетическими белками, что способствует образованию костной ткани [21]. Таким образом, в настоящее время четко доказано, что неотъемлемым условием регенерации кости является временная и пространственная спаренность процессов ангио- и остеогенеза, а при их разобщении полноценное восстановление костной ткани невозможно [22].

Ввиду вышесказанного в клинике с целью прогнозирования репаративной регенерации кости и выбора оптимальной тактики лечения проводилось одновременное исследование микроциркуляторного русла и регенерации костной ткани. Так, в работах С.П. Миронова с соавт. было показано, что показатели микроциркуляции, измеренные с помощью лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) кожи в проекции ложного сустава, эффективны для дооперационной оценки и прогнозирования течения репаративного остеогенеза. В случаях, когда величины общего показателя микроциркуляции (M) и нутритивного кровотока ($M_{\text{нутр.}}$) соответствовали контрольным значениям или превышали их, коэффициент вариации показателя микроциркуляции (K_v) не превышал контрольные значения, параметры нелинейной динамики кровотока (фрактальная размерность Хаусдорфа, корреляционная размерность фазового портрета поведения микрокровотока D_2) не опускались ниже контрольных величин, что позволяло до операции по показателям микрогемодициркуляции прогнозировать адекватный репаративный остеогенез, не требующий дополнительной биологической стимуляции. В случаях, когда величины M и $M_{\text{нутр.}}$ были снижены, K_v — повышены, а значения D_0 и D_2 снижены, это позволяло прогнозировать дефицит репаративного остеогенеза. У таких пациентов требуется дополнительная стимуляция костеобразования или применение свободных васкуляризованных аутоотрансплантатов [23]. Таким образом, показатели микроциркуляции могут выступать в качестве

дополнительных критериев состояния репаративных процессов костной ткани.

Неинвазивные подходы к диагностике состояния кровообращения кости

В клинике наиболее целесообразно применять неинвазивные методы исследования кровообращения и микроциркуляции костной ткани, позволяющие, в отличие от малодоступных радиоизотопных методик, в режиме реального времени оценить параметры кровотока. Ультразвуковые методики дают возможность эффективно исследовать артерии и вены, но в силу физических особенностей ультразвукового сканирования не могут в полной мере оценить функционирование более мелкого микроциркуляторного звена. Для оценки костного кровотока применяется ультразвуковая высокочастотная доплерография с использованием датчиков на 20 и 25 МГц. В нашей стране применяют специальные работающие на этой частоте датчики, разработанные фирмой «Минимакс» (Санкт-Петербург). При помощи ультразвуковой высокочастотной доплерографии измерялась линейная скорость кровотока в костном регенерате при переломах длинных костей в условиях внеочагового остеосинтеза по методу Г.А. Илизарова на разных сроках консолидации. В ходе исследования было выявлено, что скорость кровотока в области перелома избыточно возрастает преимущественно в первые 2 недели после травмы с дальнейшим снижением прироста. Кроме того, скорость кровотока увеличивалась также при наличии и постепенном увеличении осевой нагрузки на конечность, что подтверждает положительное влияние осевой нагрузки на консолидацию костных отломков [24].

В отдельных работах применялась другая разновидность ультразвуковых методик — ультразвуковое дуплексное сканирование в В-режиме для исследования показателей кровотока надкостницы в зоне костного регенерата. Было показано, что через месяц после переломов костей голени в условиях остеосинтеза количество сосудов на единицу площади в области перелома возросло на 84% по сравнению с результатами измерений на 10-е сутки, через 2 месяца определено значимое увеличение количества сосудов на единицу площади. Диагностическая разница между отломками через 3 месяца после травмы не визуализировалась, происходило снижение количества лоцируемых сосудов на фоне повышения их периферического сопротивления. При замедленной консолидации было зарегистрировано более низкое количество сосудов на единицу площади на всех сроках исследования [24]. Если сохранялся низкий прирост васкуляризации на протяжении 2 месяцев при переломах костей голени, то это свидетельствовало о нарушении процессов регенерации костной ткани и формировании ложного сустава [25].

Наиболее подробно исследовать микроциркуляторное русло с широким набором показателей, адаптированных для физиологических и клинических целей, возможно

при помощи методов, использующих оптические системы ближнего инфракрасного диапазона [26]. Эти методы имеют разные физические свойства и прикладное применение. Наибольший интерес для травматологии и ортопедии представляют лазерная доплеровская флоуметрия, фотоплетизмография, инфракрасная спектроскопия и др. [20]. Данные методы диагностики основаны на передаче и приёме оптических волн определённой длины (600–1200 нм). Оптические системы ближнего инфракрасного диапазона направлены на определение таких параметров микроциркуляторно-тканевых систем, как скорость потока эритроцитов, уровень оксигенации тканей, объёмные характеристики кровотока. Наиболее широкие возможности предоставляет метод лазерной доплеровской флоуметрии, позволяя провести также расчёт нутритивного и шунтового кровотока, определить количественные параметры регуляции кровотока со стороны эндотелиальных, нейрогенных, миогенных факторов, веноулярного звена и перфузионного давления, показатели окислительного метаболизма. Вследствие модульного характера регуляции кровообращения конечности показано, что величины кровотока кожи в проекции перелома или патологического очага кости прямо коррелируют с характеристиками костной гемодинамики. Основными преимуществами оптических систем являются их безопасность и неинвазивность [27].

В травматологии и ортопедии оптические системы ближнего инфракрасного диапазона многократно использовались для оценки динамики консолидации перелома при травме, восстановления микроциркуляции после эндопротезирования, костнопластических операций с применением трансплантата, мониторинга степени активности патологического процесса при остеомиелите, при артрозах и артритах различной этиологии, диспластических заболеваниях скелета, остеопорозе [22, 23, 26–28, 30–35]. Основное прикладное значение данных методов в травматологии и ортопедии состоит в оценке гемодинамических процессов в костной ткани в норме и в патологических условиях.

Лазерная доплеровская флоуметрия является одним из самых широко используемых методов. В основе данного метода лежит зондирование ткани монохроматическим излучением с длинами волн 632, 780, 785 или 830 нм, которое отражается от движущихся эритроцитов. Измеряемый показатель микроциркуляции содержит информацию о концентрации движущихся эритроцитов и скорости их движения в данном объёме зондируемой ткани [18, 34, 35]. Метод ЛДФ успешно применяется для исследования микроциркуляции в условиях переломов, после реконструктивных вмешательств, при патологических образованиях костной ткани [42–44]. В работе С.П. Миронова с соавт. продемонстрирована эффективность оценки микроциркуляции в проекции костного очага с помощью лазерной доплеровской флоуметрии для определения метаболической зрелости

гетеротопических оссификатов перед их хирургическим лечением. Для этого использовали значения показателя микроциркуляции M и амплитуды миогенных осцилляций в вейвлет-спектре колебаний кровотока. В случаях, когда величина M не превышает контрольные величины, а в вейвлет-спектре отсутствуют миогенные осцилляции или их амплитуда снижена по сравнению с контрольными величинами, устанавливается факт завершённости процесса образования остеоида и его минерализации, достаточная метаболическая зрелость оссификата и целесообразность хирургического этапа лечения. При высоких величинах M и амплитуд миогенных осцилляций, которые доминируют в вейвлет-спектре, определяются высокая активность регенераторного процесса, незавершённость образования остеоида и его минерализации, а значит, преждевременность хирургического лечения оссификата [36].

В исследовании А.А. Вековцева с соавт. методом ЛДФ оценивался ранний этап ангиогенеза в непосредственной близости к кости у детей после закрытой ручной репозиции на 3-и, 8-е и 16-е сутки [39]. Поздний этап ангиогенеза как фактор успешного течения репаративной регенерации кости у детей при переломах костей голени изучался в работе А.И. Дорохина с соавт. [40]. Активность микросудистого кровотока методом ЛДФ исследовалась у детей через 4–6 недель после перелома при наличии рентгенографических признаков консолидации, что позволило более точно определить индивидуальные особенности микрогемоциркуляции.

Спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне основана на пространственно разрешённых или модифицированных алгоритмах закона Beer–Lambert. Применяется не менее 2–3 дискретных длин волн (600–1200 нм) для обнаружения изменений концентрации оксигенированного и дезоксигенированного гемоглобина [39, 40]. Данный метод применялся для исследования оксигенации в пяточной кости, проксимальном и дистальных отделах лучевой кости, большом вертеле бедренной кости и показал свою эффективность. Кроме того, возможности данного подхода связаны с тем, что внедрение широкополосного зондирования позволяет исследовать не только оксигенацию и микроциркуляцию кости, но и особенности биохимического молекулярного состава костной ткани (липидов, коллагена и других компонентов). Это представляет особый интерес, в частности, при остеопорозе [41, 42].

Фотоплетизмография позволяет оценить интегральную макро- и микроциркуляторную активность в коже, мышцах и костной ткани, но её недостатком является ограниченный набор количественных параметров [42–45]. Так, для исследования гемодинамики в костной ткани надколенника был разработан накожный фотоплетизмографический датчик, располагающийся на коже надколенника. С его помощью оценивались особенности перфузии кости при пателлофemorальном болевом синдроме, было

выявлено значительное уменьшение кровотока в костной ткани [46]. J.H. Siamwala с соавт. применяли фотоплетизмографию для оценки перфузионной способности костей голени в условиях микрогравитации [47]. В некоторых испытаниях использовали оборудование для отдельного фотоплетизмографического исследования кровотока кожи и кости [48].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроциркуляторное русло, обеспечивающее кровоснабжение и метаболизм костной ткани, играет важную роль в жизнедеятельности и репаративной регенерации кости. Для регенерации костной ткани характерна тесная временная и пространственная спаренность ангиогенеза и остеогенеза, что позволяет применять показатели микроциркуляции в качестве дополнительных критериев состояния репаративных процессов. В клинике наиболее целесообразно использование неинвазивных методов диагностики состояния периферического кровообращения, которые позволяют оценить динамику сосудистого фактора при патологии кости, в том числе после переломов. Безопасность и неинвазивность этих методов являются их основными преимуществами. Наибольший интерес представляют методики, в основе которых лежат оптические системы ближнего инфракрасного диапазона

и ультразвуковые подходы. Необходимы дальнейшее совершенствование и разработка неинвазивных методов, высокоселективных для регистрации костного кровообращения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

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

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prisby R.D. Bone Marrow Microvasculature // *Compr Physiol*. 2020. Vol. 10, № 3. P. 1009–1046. doi: 10.1002/cphy.c190009
2. Abboud C. Human bone marrow microvascular endothelial cells: Elusive cells with unique structural and functional properties // *Exp Hematol*. 1995. Vol. 23, № 1. P. 1–3.
3. Morikawa T., Tamaki S., Fujita S., Suematsu M., Takubo K. Identification and local manipulation of bone marrow vasculature during intravital imaging // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, № 1. P. 6422. doi: 10.1038/s41598-020-63533-3
4. Acar M., Kocherlakota K.S., Murphy M.M., Peyer J.G., Oguro H., Inra C.N., Zhao Z., Luby-Phelps K., Morrison S.J. Deep imaging of bone marrow shows non-dividing stem cells are mainly perisinusoidal // *Nature*. 2015. Vol. 526, № 7571. P. 126–130. doi: 10.1038/nature15250
5. De Saint-Georges L., Miller S.C. The microcirculation of bone and marrow in the diaphysis of the rat hemopoietic long bones // *Anat Rec*. 1992. Vol. 233, № 2. P. 169–177. doi: 10.1002/ar.1092330202
6. Kusumbe A.P., Ramasamy S.K., Adams R.H. Coupling of angiogenesis and osteogenesis by a specific vessel subtype in bone // *Nature*. 2014. Vol. 507, № 7492. P. 323–328. doi: 10.1038/nature13145
7. Asghar A., Kumar A., Narayan R.K., Naaz S. Is the cortical capillary renamed as the transcortical vessel in diaphyseal vascularity? // *Anat Rec (Hoboken)*. 2020. Vol. 303, № 11. P. 2774–2784. doi: 10.1002/ar.24461
8. Xu Z., Kusumbe A.P., Cai H., Wan Q., Chen J. Type H blood vessels in coupling angiogenesis-osteogenesis and its application in bone tissue engineering // *Theranostics*. 2020. Vol. 10, № 1. P. 426–436. doi: 10.7150/thno.34126.eCollection 2020
9. Ramasamy S.K., Kusumbe A.P., Itkin T., Gur-Cohen S., Lapidot T., Adams R.H. Regulation of hematopoiesis and osteogenesis by blood vessel-derived signals // *Annu Rev Cell Dev Biol*. 2016. № 32. P. 649–675. doi: 10.1146/annurev-cellbio-111315-124936
10. Grüneboom A., Hawwari I., Weidner D., Culemann S., Müller S., Henneberg S., Gunzer M. A network of trans-cortical capillaries as mainstay for blood circulation in long bones // *Nat Metab*. 2019. Vol. 1, № 2. P. 236–250. doi: 10.1038/s42255-018-0016-5
11. Qin Q., Lee S., Patel N., Walden K., Gomes-Salazar M., Levi B., James A.W. Neurovascular coupling in bone regeneration // *Exp Mol Med*. 2022. Vol. 54, № 11. P. 1844–1849. doi: 10.1038/s12276-022-00899-6
12. Панин М.А., Загородний Н.В., Абакиров М.Д., Бойко А.В., Ананьин Д.А. Декомпрессия очага некроза головки бедренной кости. Обзор литературы // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2021. Т. 28, № 1. С. 65–76. doi: 10.17816/vto59746
13. Stegen S., Carmeliet G. The skeletal vascular system — Breathing life into bone tissue // *Bone*. 2018. № 115. P. 50–58. doi: 10.1016/j.bone.2017.08.022
14. Schindeler A., McDonald M.M., Bokko P., Little D.G. Bone remodeling during fracture repair: the cellular picture // *Semin Cell Dev Biol*. 2008. Vol. 19, № 5. P. 459–466. doi: 10.1016/j.semcdb.2008.07.004
15. Street J., Winter D., Wang J.H., Wakai A., McGuinness A., Redmond H.P. Is human fracture hematoma inherently

- angiogenic? // Clin Orthop Relat Res. 2000. № 378. P. 224–237. doi: 10.1097/00003086-200009000-00033
16. Sivaraj K.K., Adams R.H. Blood vessel formation and function in bone // Development. 2016. Vol. 143, № 15. P. 2706–2715. doi: 10.1242/dev.136861
17. Chim S.M., Tickner J., Chow S.T., Kuek V., Guo B., Zhang G., Xu J. Angiogenic factors in bone local environment // Cytokine and Growth Factor Reviews. 2013. Vol. 24, № 3. P. 297–310. doi: 10.1016/j.cytogfr.2013.03.008
18. Street J., Bao M., Guzman L., Bunting S., Peale F.V., Ferrara N. Vascular endothelial growth factor stimulates bone repair by promoting angiogenesis and bone turnover // Proc Natl Acad Sci U. S. A. 2002. Vol. 99, № 15. P. 9656–9661. doi: 10.1073/pnas.152324099
19. Maes C., Carmeliet G., Schipani E. Hypoxia-driven pathways in bone development, regeneration and disease // Nat Rev Rheumatol. 2012. Vol. 8, № 6. P. 358–366. doi: 10.1038/nrrheum.2012.3
20. Meertens R., Casanova F., Knapp K.M., Thorn C., Strain W.D. Use of near-infrared systems for investigations of hemodynamics in human *in vivo* bone tissue: A systematic review // J Orthop Res. 2018. Vol. 36. № 10. P. 2595–2603. doi: 10.1002/jor.24035
21. Peng H., Wright V., Usas A., Gearhart B., Shen H., Cummin J., Huard J. Synergistic enhancement of bone formation and healing by stem cell-expressed VEGF and bone morphogenetic protein-4 // J Clin Invest. 2002. Vol. 110, № 6. P. 751–759. doi: 10.1172/JCI15153
22. Батпенов Н.Д., Рахимов С.К., Степанов А.А., Оразбаев Д.А., Манекенова К.Б., Смайлова Г.К. Морфофункциональная перестройка костной ткани при перипротезных переломах в зоне бедренного компонента эндопротеза // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2020. Т. 27, № 2. С. 24–29. doi: 10.17816/vto202027224-29
23. Миронов С.П., Еськин Н.А., Крупаткин А.И., Кесян Г.А., Уразгильдеев Р.З., Арсеньев И.Г. Патофизиологические аспекты микрогемодикуляции мягких тканей в проекции ложных суставов длинных костей // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2012. № 4. С. 22–26.
24. Патент РФ на изобретение № 2501526/20.12.2013. Миронов С.П., Еськин Н.А., Крупаткин А.И., Кесян Г.А., Уразгильдеев Р.З., Арсеньев И.Г. Способ прогнозирования течения репаративного остеогенеза при хирургическом лечении ложных суставов длинных трубчатых костей. Режим доступа: <http://allpatents.ru/patent/2501526.html?ysclid=lloy82reqc265613020>
25. Щуров В.А. Динамика скорости кровотока по артериям костного регенерата конечностей и мозгового кровотока при выполнении функциональных проб и изменении режима лечения // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018. Т. 17, № 4. С. 51–56. doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-4-51-56
26. Писарев В.В., Львов С.Е., Васин И.В. Показатели регионарной гемодинамики раннего послеоперационного периода при остеосинтезе переломов костей голени // Вестник Ивановской медицинской академии. 2012. Т. 17, № 4. С. 34–37.
27. Aziz S.M., Khambatta F., Vaithianathan T., Thomas J.C., Clark J.M., Marshall R. A near infrared instrument to monitor relative hemoglobin concentrations of human bone tissue *in vitro* and *in vivo* // Rev Sci Instrum. 2010. Vol. 81, № 4. P. 043111. doi: 10.1063/1.3398450
28. Ganse B., Bohle F., Pastor T., Gueorguiev B., Altgassen S., Gradl G., Kim B., Modabber A., Nebelung S., Hildebrand F., Knobe M. Microcirculation after trochanteric femur fractures: a prospective cohort study using non-invasive laser-doppler spectrophotometry // Front Physiol. 2019. № 10. P. 236. doi: 10.3389/fphys.2019.00236
29. Hughes S.S., Cammarata A., Steinmann S.P., Pellegrini V.D. Effect of standard total knee arthroplasty surgical dissection on human patellar blood flow *in vivo*: an investigation using laser doppler flowmetry // J South Orthop Assoc. 1998. Vol. 7, № 3. P. 198–204.
30. Nicholls R.L., Green D., Kuster M.S. Patella intraosseous blood flow disturbance during a medial or lateral arthrotomy in total knee arthroplasty: a laser Doppler flowmetry study // Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006. Vol. 14, № 5. P. 411–416. doi: 10.1007/s00167-005-0703-0
31. Cai Z.G., Zhang J., Zhang J.G., Zhao F.Y., Yu G.Y., Li Y., Ding H.S. Evaluation of near infrared spectroscopy in monitoring postoperative regional tissue oxygen saturation for fibular flaps // J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2008. Vol. 61, № 3. P. 289–96. doi: 10.1016/j.bjps.2007.10.047
32. Duwelius P.J., Schmidt A.H. Assessment of bone viability in patients with osteomyelitis: preliminary clinical experience with laser Doppler flowmetry // J Orthop Trauma. 1992. Vol. 6, № 3. P. 327–332. doi: 10.1097/00005131-199209000-00010
33. Beaulieu P.E., Campbell P., Shim P. Femoral head blood flow during hip resurfacing // Clin Orthop Relat Res. 2007. № 456. P. 148–152. doi: 10.1097/01.blo.0000238865.77109.af
34. Bassett G.S., Barton K.L., Skaggs D.L. Laser Doppler flowmetry during open reduction for developmental dysplasia of the hip // Clin Orthop Relat Res. 1997. № 340. P. 158–164. doi: 10.1097/00003086-199707000-00020
35. Meertens R., Knapp K., Strain D., Casanova F., Ball S., Fulford J., Thorn C. *In vivo* Measurement of Intraosseous Vascular Haemodynamic Markers in Human Bone Tissue Utilising Near Infrared Spectroscopy // Front Physiol. 2021. № 12. P. 738239. doi: 10.3389/fphys.2021.738239
36. Крупаткин А.И. Колебательные процессы и диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018. Т. 17, № 3. С. 4.
37. Крупаткин А.И. Колебания кровотока — новый диагностический язык в исследовании микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2014. Т. 13, № 1. С. 83–99. doi: 10.24884/1682-6655-2014-13-1-83-99
38. Патент РФ на изобретение № 2514110/27.04.2014. Миронов С.П., Крупаткин А.И., Кесян Г.А., Уразгильдеев Р.З., Дан И.М., Арсеньев И.Г. Способ определения степени метаболической зрелости гетеротопических оссификатов перед их хирургическим лечением. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2514110C1_20140427?ysclid=lloz22zi55248599167
39. Вековцев А.А., Тохириён Б., Слизовский Г.В., Позняковский В.М. Клинические испытания витаминно-минерального комплекса для лечения детей с травматологическим профилем // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81, № 2. С. 147–153. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-147-153
40. Дорохин А.И., Крупаткин А.И., Адрианова А.А., Худик В.И., Сорокин Д.С., Курышев Д.А., Букчин Л.Б. Закрытые переломы дистального отдела костей голени. Разнообразие форм и лечения (на примере старших возрастных групп). Ближайшие результаты // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2021. Т. 3, № 1. С. 11–23. doi: 10.36425/rehab63615

41. Baker W.B., Parthasarathy A.B., Busch D.R., Mesquita R.C., Greenberg J.H., Yodh A.G. Modified Beer-Lambert law for blood flow // *Biomed Opt Express*. 2014. Vol. 5, № 11. P. 4053–75. doi: 10.1364/BOE.5.004053
42. Bläsius F.M., Link B.C., Beeres F.J., Iselin L.D., Leu B.M., Gueorguiev B., Knoke M. Impact of surgical procedures on soft tissue microcirculation in calcaneal fractures: a prospective longitudinal cohort study // *Injury*. 2019. Vol. 50, № 12. P. 2332–2338. doi: 10.1016/j.injury.2019.10.004
43. Becker R.L., Siamwala J.H., Macias B.R., Hargens A.R. Tibia Bone Microvascular Flow Dynamics as Compared to Anterior Tibial Artery Flow During Body Tilt // *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2018. Vol. 89, № 4. P. 357–364. doi: 10.3357/amhp.4928.2018
44. Pifferi A., Torricelli A., Taroni P., Bassi A., Chikoidze E., Giambattistelli E., Cubeddu R. Optical biopsy of bone tissue: a step toward the diagnosis of bone pathologies // *J Biomed Opt*. 2004. Vol. 9, № 3. P. 474–80. doi: 10.1117/1.1691029
45. Sekar S.V., Pagliazzi M., Negredo E., Martelli F., Farina A., Dalla Mora A., Lindner C., Farzam P., Perez-Alvarez N., Puig J., Taroni P., Pifferi A., Durduran T. *In vivo*, non-invasive characterization of human bone by hybrid broadband (600–1200 nm) diffuse optical and correlation spectroscopies // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, № 12. P. e0168426. doi: 10.1371/journal.pone.0168426
46. Naslund J., Pettersson J., Lundberg T., Linnarsson D., Lindberg L.G. Noninvasive continuous estimation of blood flow changes in human patellar bone // *Med Biol Eng Comput*. 2006. Vol. 44, № 6. P. 501–9. doi: 10.1007/s11517-006-0070-0
47. Siamwala J.H., Lee P.C., Macias B.R., Hargens A.R. Lower-body negative pressure restores leg bone microvascular flow to supine levels during head-down tilt // *J Appl Physiol*. 2015. Vol. 119, № 2. P. 101–9. doi: 10.1152/jappphysiol.00028.2015
48. Mateus J., Hargens A.R. Photoplethysmography for non-invasive *in vivo* measurement of bone hemodynamics // *Physiol Meas*. 2012. Vol. 33, № 6. P. 1027–1042. doi: 10.1088/0967-3334/33/6/1027

REFERENCES

1. Prisby RD. Bone Marrow Microvasculature. *Compr Physiol*. 2020;10(3):1009–1046. doi: 10.1002/cphy.c190009
2. Abboud C. Human bone marrow microvascular endothelial cells: Elusive cells with unique structural and functional properties. *Exp Hematol*. 1995;23(1):1–3.
3. Morikawa T, Tamaki S, Fujita S, Suematsu M, Takubo K. Identification and local manipulation of bone marrow vasculature during intravital imaging. *Scientific Reports*. 2020;10(1):6422. doi: 10.1038/s41598-020-63533-3
4. Acar M, Kocherlakota KS, Murphy MM, Peyer JG, Oguro H, Inra CN, Zhao Z, Luby-Phelps K, Morrison SJ. Deep imaging of bone marrow shows non-dividing stem cells are mainly perisinusoidal. *Nature*. 2015;526(7571):126–130. doi: 10.1038/nature15250
5. De Saint-Georges L, Miller SC. The microcirculation of bone and marrow in the diaphysis of the rat hemopoietic long bones. *Anat Rec*. 1992;233(2):169–177. doi: 10.1002/ar.1092330202
6. Kusumbe AP, Ramasamy SK, Adams RH. Coupling of angiogenesis and osteogenesis by a specific vessel subtype in bone. *Nature*. 2014;507(7492):323–328. doi: 10.1038/nature13145
7. Asghar A, Kumar A, Narayan RK, Naaz S. Is the cortical capillary renamed as the transcortical vessel in diaphyseal vascularity? *Anat Rec (Hoboken)*. 2020;303(11):2774–2784. doi: 10.1002/ar.24461
8. Xu Z, Kusumbe AP, Cai H, Wan Q, Chen J. Type H blood vessels in coupling angiogenesis-osteogenesis and its application in bone tissue engineering. *Theranostics*. 2020;10(1):426–436. doi: 10.7150/thno.34126.eCollection 2020
9. Ramasamy SK, Kusumbe AP, Itkin T, Gur-Cohen S, Lapidot T, Adams RH. Regulation of hematopoiesis and osteogenesis by blood vessel-derived signals. *Annu Rev Cell Dev Biol*. 2016;(32):649–675. doi: 10.1146/annurev-cellbio-111315-124936
10. Grüneboom A, Hawwari I, Weidner D, Culemann S, Müller S, Henneberg S, Gunzer M. A network of trans-cortical capillaries as mainstay for blood circulation in long bones. *Nat Metab*. 2019;1(2):236–250. doi: 10.1038/s42255-018-0016-5
11. Qin Q, Lee S, Patel N, Walden K, Gomes-Salazar M, Levi B, James AW. Neurovascular coupling in bone regeneration. *Exp Mol Med*. 2022;54(11):1844–1849. doi: 10.1038/s12276-022-00899-6
12. Panin MA, Zagorodny NV, Abakirov MD, Boyko AV, Ananyin DA. Decompression of the femoral head necrosis focus. Literature review. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(1):65–76. (In Russ). doi: 10.17816/vto59746
13. Stegen S, Carmeliet G. The skeletal vascular system — Breathing life into bone tissue. *Bone*. 2018;(115):50–58. doi: 10.1016/j.bone.2017.08.022
14. Schindeler A, McDonald MM, Bokko P, Little DG. Bone remodeling during fracture repair: the cellular picture. *Semin. Cell Dev. Biol*. 2008;19(5):459–466. doi: 10.1016/j.semcdb.2008.07.004
15. Street J, Winter D, Wang JH, Wakai A, McGuinness A, Redmond HP. Is human fracture hematoma inherently angiogenic? *Clin. Orthop. Relat. Res*. 2000;(378):224–237. doi: 10.1097/00003086-200009000-00033
16. Sivaraj KK, Adams RH. Blood vessel formation and function in bone. *Development*. 2016;143(15):2706–2715. doi: 10.1242/dev.136861
17. Chim SM, Tickner J, Chow ST, Kuek V, Guo B, Zhang G, Xu J. Angiogenic factors in bone local environment. *Cytokine and Growth Factor Reviews*. 2013;24(3):297–310. doi: 10.1016/j.cytogfr.2013.03.008
18. Street J, Bao M, Guzman L, Bunting S, Peale FV, Ferrara N. Vascular endothelial growth factor stimulates bone repair by promoting angiogenesis and bone turnover. *Proc Natl Acad Sci U. S. A*. 2002;99(15):9656–9661. doi: 10.1073/pnas.152324099
19. Maes C, Carmeliet G, Schipani E. Hypoxia-driven pathways in bone development, regeneration and disease. *Nat Rev Rheumatol*. 2012;8(6):358–366. doi: 10.1038/nrrheum.2012.3
20. Meertens R, Casanova F, Knapp KM, Thorn C, Strain WD. Use of near-infrared systems for investigations of hemodynamics in human *in vivo* bone tissue: A systematic review. *J Orthop Res*. 2018;36(10):2595–2603. doi: 10.1002/jor.24035
21. Peng H, Wright V, Usas A, Gearhart B, Shen H, Cummin J, Huard J. Synergistic enhancement of bone formation and healing by stem cell-expressed VEGF and bone morphogenetic protein-4. *J Clin Invest*. 2002;110(6):751–759. doi: 10.1172/JCI15153
22. Batpenov ND, Rakhimov SK, Stepanov AA, Orazbaev DA, Manekenova KB, Smilova GK. Morphofunctional bone tissue reconstruction in periprosthetic fractures in the area of the femoral component of the endoprosthesis. *N.N. Priorov Journal*

- of *Traumatology and Orthopedics*. 2020;27(2):24–29. (In Russ). doi: 10.17816/vto202027224-29
23. Mironov SP, Eskin NA, Krupatkin AI, Kesyan GA, Urazgildeev RZ, Arsenyev IG. Pathophysiological aspects of soft tissue microhemocirculation in the projection of false joints of long bones. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2012;(4):22–26. (In Russ).
24. Patent RUS № 2501526/20.12.2013. Mironov SP, Eskin NA, Krupatkin AI, Kesyan GA, Urazgildeev RZ, Arsenyev IG. *Sposob prognozirovaniya techeniya reparativnogo osteogeneza pri hirurgicheskoy lechenii lozhnykh sustavov dlinnykh trubchatykh kostej*. Available from: <http://allpatents.ru/patent/2501526.html?ysclid=ll0y82reqc265613020> (In Russ).
25. Shchurov VA. Dynamics of blood flow velocity through the arteries of bone regenerate limbs and cerebral blood flow when performing functional tests and changing the treatment regimen. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2018;17(4):51–56. (In Russ). doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-4-51-56
26. Pisarev VV, Lvov SE, Vasin IV. Indicators of regional hemodynamics of the early postoperative period in osteosynthesis of fractures of the lower leg bones. *Bulletin of the Ivanovo Medical Academy*. 2012;17(4):34–37. (In Russ).
27. Aziz SM, Khambatta F, Vaithianathan T, Thomas JC, Clark JM, Marshall R. A near infrared instrument to monitor relative hemoglobin concentrations of human bone tissue in vitro and in vivo. *Rev Sci Instrum*. 2010;81(4):043111. doi: 10.1063/1.3398450
28. Ganse B, Bohle F, Pastor T, Gueorguiev B, Altgassen S, Gradl G, Kim B, Modabber A, Nebelung S, Hildebrand F, Knobe M. Microcirculation after trochanteric femur fractures: a prospective cohort study using non-invasive laser-doppler spectrophotometry. *Front Physiol*. 2019;(10):236. doi: 10.3389/fphys.2019.00236
29. Hughes SS, Cammarata A, Steinmann SP, Pellegrini VD. Effect of standard total knee arthroplasty surgical dissection on human patellar blood flow in vivo: an investigation using laser doppler flowmetry. *J South Orthop Assoc*. 1998;7(3):198–204.
30. Nicholls RL, Green D, Kuster MS. Patella intraosseous blood flow disturbance during a medial or lateral arthrotomy in total knee arthroplasty: a laser Doppler flowmetry study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(5):411–416. doi: 10.1007/s00167-005-0703-0
31. Cai ZG, Zhang J, Zhang JG, Zhao FY, Yu GY, Li Y, Ding HS. Evaluation of near infrared spectroscopy in monitoring postoperative regional tissue oxygen saturation for fibular flaps. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008;61(3):289–96. doi: 10.1016/j.jbjs.2007.10.047
32. Duwelius PJ, Schmidt AH. Assessment of bone viability in patients with osteomyelitis: preliminary clinical experience with laser Doppler flowmetry. *J Orthop Trauma*. 1992;6(3):327–332. doi: 10.1097/00005131-199209000-00010
33. Beaulé PE, Campbell P, Shim P. Femoral head blood flow during hip resurfacing. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;(456):148–152. doi: 10.1097/01.blo.0000238865.77109.af
34. Bassett GS, Barton KL, Skaggs DL. Laser Doppler flowmetry during open reduction for developmental dysplasia of the hip. *Clin Orthop Relat Res*. 1997;(340):158–164. doi: 10.1097/00003086-199707000-00020
35. Meertens R, Knapp K, Strain D, Casanova F, Ball S, Fulford J, Thorn C. In vivo Measurement of Intraosseous Vascular Haemodynamic Markers in Human Bone Tissue Utilising Near Infrared Spectroscopy. *Front Physiol*. 2021;(12):738239. doi: 10.3389/fphys.2021.738239
36. Krupatkin AI. Oscillatory processes and diagnostics of the state of microcirculatory and tissue systems. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2018;17(3):4. (In Russ).
37. Krupatkin AI. Fluctuations of blood flow — a new diagnostic language in the study of microcirculation. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2014;13(1):83–99. (In Russ). doi: 10.24884/1682-6655-2014-13-1-83-99
38. Patent RUS № 2514110/27.04.2014. Mironov SP, Krupatkin AI, Kesyan GA, Urazgildeev RZ, Dan IM, Arsenyev IG. *Sposob opredeleniya stepeni metabolicheskoy zrelosti geterotopicheskikh ossifikatov pered ih hirurgicheskim lecheniem*. Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2514110C1_20140427?ysclid=ll0z22zi55248599167 (In Russ).
39. Vekovtsev AA, Tohirien B, Slizovsky GV, Poznyakovskiy VM. Clinical trials of vitamin and mineral complex for the treatment of children with a traumatological profile. *Bulletin of the VGUIT*. 2019;81(2):147–153. (In Russ). doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-147-153
40. Dorokhin AI, Krupatkin AI, Adrianova AA, Khudik VI, Sorokin DS, Kuryshv DA, Bukchin LB. Closed fractures of the distal tibia. A variety of forms and treatments (using the example of older age groups). Immediate results. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2021;3(1):11–23. (In Russ). doi: 10.36425/rehab63615
41. Baker WB, Parthasarathy AB, Busch DR, Mesquita RC, Greenberg JH, Yodh AG. Modified Beer-Lambert law for blood flow. *Biomed Opt Express*. 2014;5(11):4053–75. doi: 10.1364/BOE.5.004053
42. Bläsius FM, Link BC, Beeres FJ, Iselin LD, Leu BM, Gueorguiev B, Knobe M. Impact of surgical procedures on soft tissue microcirculation in calcaneal fractures: a prospective longitudinal cohort study. *Injury*. 2019;50(12):2332–2338. doi: 10.1016/j.injury.2019.10.004
43. Becker RL, Siamwala JH, Macias BR, Hargens AR. Tibia Bone Microvascular Flow Dynamics as Compared to Anterior Tibial Artery Flow During Body Tilt. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2018;89(4):357–364. doi: 10.3357/amhp.4928.2018
44. Pifferi A, Torricelli A, Taroni P, Bassi A, Chikoidze E, Giambattistelli E, Cubeddu R. Optical biopsy of bone tissue: a step toward the diagnosis of bone pathologies. *J Biomed Opt*. 2004;9(3):474–80. doi: 10.1117/1.1691029
45. Sekar SV, Pagliazzi M, Negro E, Martelli F, Farina A, Dalla Mora A, Lindner C, Farzam P, Perez-Alvarez N, Puig J, Taroni P, Pifferi A, Durduran T. In vivo, non-invasive characterization of human bone by hybrid broadband (600–1200 nm) diffuse optical and correlation spectroscopies. *PLoS One*. 2016;11(12):e0168426. doi: 10.1371/journal.pone.0168426
46. Naslund J, Pettersson J, Lundeberg T, Linnarsson D, Lindberg LG. Noninvasive continuous estimation of blood flow changes in human patellar bone. *Med Biol Eng Comput*. 2006;44(6):501–9. doi: 10.1007/s11517-006-0070-0
47. Siamwala JH, Lee PC, Macias BR, Hargens AR. Lower-body negative pressure restores leg bone microvascular flow to supine levels during head-down tilt. *J Appl Physiol*. 2015;119(2):101–9. doi: 10.1152/japplphysiol.00028.2015
48. Mateus J, Hargens AR. Photoplethysmography for non-invasive in vivo measurement of bone hemodynamics. *Physiol Meas*. 2012;33(6):1027–1042. doi: 10.1088/0967-3334/33/6/1027

ОБ АВТОРАХ

*** Агафонова Анастасия Александровна**, аспирант, врач травматолог-ортопед, врач ультразвуковой диагностики; ORCID: 0000-0002-4675-4313; eLibrary SPIN: 8341-0713; e-mail: nastyaloseva@yandex.ru

Крупаткин Александр Ильич, д.м.н., профессор, врач-невролог; ORCID: 0000-0001-5582-5200; eLibrary SPIN: 3671-5540; e-mail: ale.ale02@yandex.ru

Дорохин Александр Иванович, д.м.н., врач травматолог-ортопед; ORCID: 0000-0003-3263-0755; eLibrary SPIN: 1306-1729; e-mail: a.i.dorokhin@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Anastasia A. Agafonova**, post-graduate student, traumatologist-orthopedist, ultrasound diagnostic; ORCID: 0000-0002-4675-4313; eLibrary SPIN: 8341-0713; e-mail: nastyaloseva@yandex.ru

Alexander I. Krupatkin, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, neurologist; ORCID: 0000-0001-5582-5200; eLibrary SPIN: 3671-5540; e-mail: ale.ale02@yandex.ru

Alexandr I. Dorokhin, MD, Dr. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: 0000-0003-3263-0755; eLibrary SPIN: 1306-1729; e-mail: a.i.dorokhin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto409584>

Тело Гоффа, болезнь Гоффа, перелом Гоффа: история эпонимов

А.С. Золотов, Е.А. Зинькова, В.А. Атоян

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Имя немецкого хирурга Альберта Гоффа связано с тремя популярными эпонимическими терминами, а именно — поднадколенниковое жировое тело (тело Гоффа), патология этого анатомического образования (болезнь Гоффа), фронтальный перелом латерального мыщелка бедренной кости (перелом Гоффа). Вопросы приоритета в отношении упомянутых эпонимов продолжают дискутироваться. Авторами проведён поиск информации в отечественных и иностранных публикациях, руководствах по травматологии и ортопедии, периодических изданиях, интернет-ресурсах Scopus, WoS, Google Scholar и eLibrary с целью собрать достоверные данные об истории возникновения эпонимов «жировое тело Гоффа», «болезнь Гоффа», «перелом Гоффа», определить роль немецкого ортопеда и его приоритет в происхождении данных авторских названий. Одно из ранних упоминаний поднадколенникового жирового тела встречается в работе профессора Джона Гудсира 1855 года, но без раскрытия анатомии и морфологии самой структуры. Альберт Гоффа в 1904 году опубликовал статью, где подробно описал синтопию и макроскопическое строение жирового тела, а также заболевание, связанное с патологией поднадколенникового жирового тела. Описание фронтального перелома латерального мыщелка бедренной кости впервые опубликовал немецкий хирург Фридрих Буш в 1869 году. Альберт Гоффа описывает этот же перелом только в 1888 году в первом издании «Учебника переломов и вывихов для врачей и студентов». Приоритет Альберта Гоффа в описании жирового тела и его патологии признаётся представителями различных медицинских специальностей. Что касается фронтального перелома латерального мыщелка бедренной кости, то Альберта Гоффа можно считать только соавтором этого эпонима.

Ключевые слова: эпонимы; тело Гоффа; болезнь Гоффа; перелом Гоффа.

Как цитировать:

Золотов А.С., Зинькова Е.А., Атоян В.А. Тело Гоффа, болезнь Гоффа, перелом Гоффа: история эпонимов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 367–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto409584>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto409584>

Hoffa's fat pad, Hoffa's disease, Hoffa's fracture: the history of eponyms

Aleksandr S. Zolotov, Ekaterina A. Zinkova, Varsik A. Atoian

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

ABSTRACT

Albert Hoffa's is associated with three popular eponymous terms: the infrapatellar fat pad (Hoffa's fat pad), the pathology of this anatomical development (Hoffa's disease), and a frontal fracture of the lateral condyle of the femur (Hoffa's fracture). Issues of priority about the mentioned eponyms continue to be debated. The authors searched for information in domestic and foreign publications, traumatology and orthopedics manuals, periodicals, and Internet resources — Scopus, WoS, Google Scholar, and eLibrary — to collect reliable data on the history of the emergence of the eponyms “Hoff's fatty body,” “Hoff's disease,” “Hoff's fracture” and to determine the role of the German orthopedist and his priority in the origin of these copyright names. Professor John Goodsir's paper in 1855 contains one of the earliest mentions of the infrapatellar fat pad but without revealing the anatomy and morphology of the structure itself. In 1904, Albert Hoffa published an article describing fully the syntopic and macroscopic anatomy of the infrapatellar fat pad and the disease associated with infrapatellar fat pad pathology. A German physician, Friedrich Busch, first described the frontal fracture of the lateral condyle of the femur in 1869. A similar was described by Albert Hoffa in the first edition of the “Textbook of Fractures and Dislocations for Doctors and Students” in 1888. Albert Hoffa's priority in describing the infrapatellar fat pad and its pathology is recognized by representatives of various medical specialties. As for the frontal fracture of the lateral condyle of the femur, Albert Hoffa may only be considered a co-author of the frontal fracture of the lateral condyle of the femur.

Keywords: eponyms; Hoffa's fat pad; Hoffa's disease; Hoffa's fracture.

To cite this article:

Zolotov AS, Zinkova EA, Atoian VA. Hoffa's fat pad, Hoffa's disease, Hoffa's fracture: the history of eponyms. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):367–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto409584>

ВВЕДЕНИЕ

В медицине насчитывается более 20 000 эпонимических терминов [1]. В течение нескольких столетий эпонимы являются удобным средством для общения врачей-клиницистов [2, 3], а кроме того, они дают представление о том, как развивались различные разделы медицины и на плечи каких гигантов опираются современные врачи в своей каждодневной работе, новаторстве и творчестве. Некоторые выдающиеся хирурги являются авторами сразу нескольких эпонимов. Например, французский хирург Paul Ferdinand Segond описал особые типы переломов в области кисти и в области коленного сустава, а его соотечественник Joseph Francois Malgaigne является автором эпонимов нестабильного перелома таза, перелома дистального отдела плеча и переломовывиха в области локтевого сустава [2, 4]. Совсем редкой представляется история, когда один и тот же исследователь стал автором трёх эпонимов в одной анатомической области. Имя немецкого ортопеда Гоффа несут важное анатомическое образование коленного сустава, его патологическое состояние и внутрисуставной перелом в области коленного сустава.

Цель исследования — собрать максимально достоверную информацию об истории возникновения эпонимов «жировое тело Гоффа», «болезнь Гоффа», «перелом Гоффа»; определить роль немецкого ортопеда и его приоритет в происхождении данных авторских названий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён поиск информации в отечественных и иностранных публикациях, руководствах по травматологии и ортопедии, периодических изданиях, интернет-ресурсах Scopus, WoS, Google Scholar и eLibrary.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Альберт Гоффа (Albert Hoffa; 1859–1907) — немецкий хирург-ортопед, профессор, директор университетского отделения ортопедической хирургии — внёс большой вклад в развитие хирургии и ортопедии. Альберт Гоффа родился в Ричмонде (Южная Африка). Он был сыном Морица Гоффа — первого в истории немецкого врача в Южной Африке [1]. Медицинское образование Альберт получил в Германии, стал известным хирургом, учёным и педагогом. По его инициативе в Германии была открыта первая частная ортопедическая клиника (Вюрцбург, Бавария), основан специализированный журнал “Zeitschrift für orthopädische Chirurgie”. Альберт Гоффа — автор нескольких мануалов для врачей и студентов по лечению переломов, ортопедических заболеваний, массажу. Благодаря его активной врачебной и научной деятельности ортопедия была признана врачебным сообществом немецкоязычных стран особенным и важным направлением [5, 6].

Безусловно, у А. Гоффа был авторитет не только среди хирургов в немецкоговорящих странах. В 1907 г. А. Гоффа, как один из наиболее авторитетных ортопедов Германии, был приглашён в Петербург для оценки деятельности недавно открывшегося ортопедического института. Учёный дал положительный отзыв об институте и высоко оценил работу его директора Романа Романовича Вредена, поддержав используемые им методики хирургического лечения [7]. Это событие сыграло определённую роль в развитии первой в России научно-клинической школы ортопедов-хирургов и становлении новой хирургической специальности [8].

Жировое тело Гоффа

Одно из ранних упоминаний поднадколенникового жирового тела встречается в работе профессора Джона Гудсира. Этот термин автор использовал в публикации несколько раз, но без раскрытия анатомии и морфологии самой структуры [9]. Термин «поднадколенниковое жировое тело» встречается и в более поздних публикациях, но без подробного описания [10–12].

В 1904 году А. Гоффа в известном издании “Journal of the American Medical Association” опубликовал статью с описанием заболевания коленного сустава, связанного с патологией поднадколенникового жирового тела [13]. В этой работе автор привёл подробное описание синтопии жирового тела и его макроскопического строения. Жировое тело в форме клина лежит под собственной связкой надколенника в межмышечковой ямке, верхней своей частью прикрепляется к связке надколенника, а нижней — к мениску и передней части большеберцовой кости. На срезе жирового тела А. Гоффа обнаружил обширную сеть тонких волокон и множество мелких ворсинок, увеличивающихся в количестве к периферии и состоящих из нежной волокнистой ткани, покрытой эндотелиальными сеточками, имеющими небольшую бугристость. Эти структуры перемежались жировыми дольками и были покрыты одним слоем эндотелиальных клеток. По мнению автора, жировое тело имеет такое расположение и форму с самого раннего возраста человека, а у астеников жировое тело иногда имеет больший размер, чем у полных людей. Интересно, что современные данные о взаимосвязи массы тела и размеров жирового тела достаточно противоречивы: одни авторы утверждают, что при ожирении у человека увеличиваются объём и масса жирового тела, другие исследователи подобной корреляции не выявили [14, 15].

На сегодняшний день известно, что поднадколенниковое жировое тело Гоффа является интракапсулярной, но экстрасиновиальной структурой, увеличивающей площадь синовиальной поверхности, способной к изменению своей конфигурации при движениях в коленном суставе, тем самым обеспечивающей механическую амортизацию и облегчающей распределение синовиальной жидкости. Кроме того, жировое тело обладает эндокринными

свойствами и высвобождает многочисленные провоспалительные и проангиогенные факторы [16]. Поднадколенное жировое тело Гоффа состоит из жировой ткани, сходной с подкожно-жировой клетчаткой (ПЖК), с каркасом из фиброзных тяжей. Но в отличие от ПЖК жировое тело содержит плюрипотентные клетки, которые могут дифференцироваться в остеобласты и хондроциты [17]. Кроме того, отмечается богатая иннервация этого анатомического образования ветвями бедренного, общего малоберцового и подкожных нервов, поэтому любые изменения жирового тела могут являться источником возникновения болей в переднем отделе коленного сустава [18–20].

Болезнь Гоффа

В упомянутой статье Альберт Гоффа описывает и патологическое состояние поднадколенного жирового тела — гиперплазию и фиброз, с характерным клиническим проявлением, которое хирург наблюдал у 21 пациента. Все пациенты жаловались на боль в переднем отделе коленного сустава. Была установлена связь заболевания с повторными или, реже, единичными травмирующими эпизодами (падение на колено, внезапный рывок), которые приводили к кровоизлиянию в поднадколенном жировом теле, вслед за этим развивались воспалительный процесс и буйный рост ворсинок жирового тела. Это приводило к ущемлению разросшихся ворсинок между бедренной и большеберцовой костями, что вызывало острые боли в передней части колена и функциональные нарушения. Согласно наблюдениям А. Гоффа, через некоторое время возникали атрофия четырёхглавой мышцы бедра, типичный отёк коленного сустава с симптомом псевдофлюктуации.

Во время оперативных вмешательств А. Гоффа обнаружил, что в результате заболевания жировое тело меняет размеры, цвет и плотность. Оно увеличивается, плотность повышается за счёт упрочнения волокнистой ткани, встречаются сгустки крови и участки красно-жёлтого оттенка, указывающие на наличие кровоизлияний. Гистологические изменения жирового тела заключались в обнаружении очагов клеточной инфильтрации, фиброзной ткани, лейкоцитов, а на более поздней стадии отмечались воспалительные изменения с грануляциями, которые постепенно замещали жировую ткань, образуя волокна, а в некоторых случаях вызывали некроз.

В статье автор сообщил и о других возможных заболеваниях коленного сустава, вызванных патологией жирового тела, — солитарной липоме, описанной König, древовидной липоме, описанной J. Müller. Однако, по мнению А. Гоффа, не все случаи липом имеют опухолевую природу, скорее всего, их можно классифицировать как фиброзную гиперплазию суставной жировой ткани.

Сам Гоффа не называл своим именем жировое тело и описанное им заболевание коленного сустава. Это сделали последователи. В частности, термин «жировое тело

Гоффа» встречается в публикации F.G. Kautz в 1945 г. [21]. Данный термин используется и во втором издании известного анатомического атласа Неттера (1997) [22], хотя в первом издании (1989) термин «жировое тело Гоффа» отсутствует [23].

Наиболее раннее употребление термина «болезнь Гоффа» обнаружено в публикации Н. Friedman (1919) [24]. В русскоязычной литературе впервые данный термин встретился в публикации Г.А. Валяшко в 1932 году [25]. В классическом руководстве для врачей А.В. Каплана (1978) болезни Гоффа посвящена целая страница [26]. Само жировое тело автор называет парной крыловидной складкой с включением жировой ткани.

Термины «жировое тело Гоффа», «болезнь Гоффа» в настоящее время широко используют анатомы [27], специалисты по ультразвуковой диагностике [19], врачи МРТ-диагностики и рентгенологи [28, 29], а также хирурги, занимающиеся артроскопией коленного сустава [30–32].

В известном отечественном атласе по рентгенологии А.В. Руцкий и А.Н. Михайлов называют обсуждаемое заболевание «болезнью Гоффы» [33]. Можно ли и нужно ли склонять имя немецкого хирурга в русском языке — вопрос к лингвистам.

Перелом Гоффа

Перелом Гоффа — редкое повреждение, фронтальный перелом латерального (реже медиального) мыщелка бедренной кости. Данный эпоним является общепринятым и достаточно устоявшимся. Однако вопрос о приоритете этого эпонима в настоящее время является предметом дискуссии.

Дело в том, что в 1869 году другой немецкий хирург, Фридрих Буш (1844–1916), в анатомических коллекциях Департамента хирургии (г. Берлин) обнаружил образец коленного сустава с трещиной на дистальном отделе бедренной кости, которая отделяла заднюю часть латерального мыщелка во фронтальной плоскости [34]. Хирург не только описал, но и зарисовал этот редкий перелом.

Позднее рисунок Ф. Буша, возможно (но не доказано), был использован Альбертом Гоффа в 1888 году в первом издании «Учебника переломов и вывихов для врачей и студентов» (*Lehrbuch der Fracturen und Luxationen für Ärzte und Studierende*) без ссылки на первоисточник [35, 36]. При этом сам перелом А. Гоффа описал достаточно кратко и весьма расплывчато как «трещины между мыщелками в продольном направлении кости, достигающие диафиза и ограничивающие большую часть одного из мыщелков», а «образуются эти трещины в результате воздействия силы в продольном направлении кости, например, при прямом падении» [35]. В последующих изданиях упомянутого мануала для студентов и врачей (1891, 1904) использовались те же иллюстрации фронтального перелома латерального мыщелка бедренной кости без ссылки на публикацию Ф. Буша. Благодаря нескольким изданиям популярного учебника А. Гоффа о редком переломе бедра

узнали многие студенты и врачи. В 1891 году этот вид перелома встретился в клинической практике Христиана Генриха Брауна. Перелом был обнаружен сразу после травмы и вынужденной ампутации конечности [37].

В последующие десятилетия фронтальный перелом латерального мыщелка бедренной кости неоднократно упоминался в ряде учебников по травматологии и ортопедии, но не связывался авторами с именем Гоффа. Термин «перелом Гоффа» стал появляться на рубеже 1970-х годов, преимущественно в немецкой и французской литературе [36].

Так, одной из важных публикаций того времени, касающейся фронтального перелома латерального мыщелка бедренной кости, является статья J. Letteneur под названием «Fractures de Hoffa», в которой автор описывает 20 случаев фронтальных переломов мыщелков бедра. J. Letteneur предложил сложную классификацию этих переломов: I тип — перелом на уровне заднего расширения дистального отдела бедренной кости; II тип — линия перелома находится ближе к задней части мыщелка с делением на подтипы А, В и С в зависимости от величины костного фрагмента; III тип — перелом косой, медиальный, латеральный, двухмыщелковый [38].

В 1996 году Ассоциацией травматологов и ортопедов (Orthopaedic Trauma Association, OTA) была принята классификация переломов (English version of AO Classification of Fractures), которая фактически «узаконила» эпоним «перелом Гоффа» [39]. Muller с соавт. (1990) причислили мыщелковые переломы во фронтальной плоскости Гоффа к группе В3. Информацию о переломе Гоффа можно встретить в самых популярных международных изданиях по травматологии и ортопедии — «Rockwood and Green's Fractures in Adults» [40], «Campbell's operative orthopaedics» [41], «Apley's System of Orthopaedics and Fractures» [42].

Однако в последние годы появились убедительные публикации, указывающие на историческую несправедливость в отношении другого немецкого хирурга-ортопеда — Фридриха Буша [36, 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приоритет Альберта Гоффа в описании поднадколенникового жирового тела и его патологии признаётся анатомами и клиницистами. Что касается фронтального перелома латерального мыщелка бедренной кости, то Альберта Гоффа логично считать соавтором эпонима.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

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

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Somford M.P., Weme R.A.N., Hoornenborg D., Wiegerinck J.I., van Raay J.J.A.M., Brouwer R.W., Williams A. Biographical background and origin of common eponymous terms in orthopedic surgery: anatomy and fractures in knee surgery // *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018. Vol. 28, № 1. P. 79–84. doi: 10.1007/s00590-017-2005-x
2. Золотов А.С., Березин П.А., Сидоренко И.С. Mallet fracture: перелом И.Ф. Буша, перелом W. Busch или перелом P. Segond? // *Травматология и ортопедия России*. 2021. Т. 27, № 3. С. 143–148. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-143-148
3. Schmitt R., Lanz U. Diagnostic imaging of the hand. Stuttgart, New York: Thieme, 2008. 608 p.
4. Золотов А.С. Эпонимы переломов: имена собственные. Иркутск: Иркутский научный центр хирургии и травматологии, 2017. 98 с.
5. Markwart M. Hoffa, Albert. Neue Deutsche Biographie. Berlin: Duncker & Humblot, 1972. 9 p.
6. Paul U. Our surgical heritage. Albert Hoffa // *Zentralbl Chir*. 1981. Vol. 106, № 13. P. 901–903.
7. Вайнштейн В.Г. Р.Р. Вреден (К истории отечественной ортопедии) // *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1985. № 5. С. 64–66.
8. Тихилов Р.М., Кочиш А.Ю. Роман Романович Вреден — выдающийся отечественный хирург, учёный и педагог (к 150-летию со дня рождения) // *Травматология и ортопедия России*. 2017. Т. 23, № 4. С. 158–162.
9. Goodsir J. On the Horizontal Curvature of the Internal Femoral Condyle: On the Movements and Relations of the Patella; Semilunar Cartilages; and Synovial Pads of the Human Knee-Joint // *Edinburgh Medical Journal*. 1855. Vol. 1, № 1. P. 91–95.
10. Benington R.C. Dissection of a Symelien Monster // *J Anat Physiol*. 1891. Vol. 25, № 2. P. 202–209.
11. Ballantyne J.W. Sectional Anatomy of an Anencephalic Foetus // *J Anat Physiol*. 1892. Vol. 26, № 4. P. 516–529.
12. Cotterill J.M., Edin F.R.O.S. Notes of 15 cases of operation for internal derangement of the knee-joint // *The Lancet*. 1902. № 7. P. 510–512.

13. Hoffa A. The influence of the adipose tissue with regard to the pathology of the knee joint // *Journal Am Med Assoc.* 1904. № 42. P. 795.
14. Burda B., Steidle-Kloc E., Dannhauer T., Wirth W., Ruhdorfer A., Eckstein F. Variance in infra-patellar fat pad volume: Does the body mass index matter? — Data from osteoarthritis initiative participants without symptoms or signs of knee disease // *Annals of Anatomy.* 2017. № 213. P. 19–24. doi: 10.1016/j.aanat.2017.04.004
15. Chuckpaiwong B., Charles H.C., Kraus V.B., Guilak F., Nunley J.A. Age-associated increases in the size of the infrapatellar fat pad in knee osteoarthritis as measured by 3T MRI // *Journal of Orthopaedic Research.* 2010. Vol. 28, № 9. P. 1149–1154. doi: 10.1002/jor.21125
16. Clockaerts S., Bastiaansen-Jenniskens Y.M., Runhaar J., Van Osch G.J., Van Offel J.F., Verhaar J.A., et al. The infrapatellar fat pad should be considered as an active osteoarthritic joint tissue: a narrative review // *Osteoarthritis Cartilage.* 2010. Vol. 18, № 7. P. 876–882. doi: 10.1016/j.joca.2010.03.014
17. Wickham M.Q., Erickson G.R., Gimble J.M., Vail T.P., Guilak F. Multipotent stromal cells derived from the infrapatellar fat pad of the knee // *Clin Orthop Relat Res.* 2003. № 412. P. 196–212.
18. Гумеров А.А. Клинико-морфологические аспекты болезни Гоффа, болезнь Гоффа у детей // *Здравоохранение Башкортостана.* 2006. № 2. P. 143–144.
19. Гаврилюк В.В. Ультразвуковые признаки болезни Гоффа коленного сустава // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.* 2012. № 2. С. 255–259.
20. Saddik D., McNally E.G., Richardson M. MRI of Hoffa's fat pad // *Skeletal Radiol.* 2004. Vol. 33, № 8. P. 433–444. doi: 10.1007/s00256-003-0724-z
21. Kautz F.G. Capsular Osteoma of the Knee Joint. Report of Four Cases // *Radiology.* 1945. Vol. 45, № 2.
22. Netter F.H. *Atlas of Human Anatomy.* 2nd edition. Novartis, 1997. 525 p.
23. Netter F.H. *Atlas of Human Anatomy.* 1st edition. Elsevier-Health Sciences Division, 1989. 592 p.
24. Friedman H. Hringre of it ehiral Srientre // *New York Medical Journal.* 1919. Vol. 95, № 18. P. 749.
25. Волков М.В. Некоторые врождённые заболевания коленного сустава и болезнь Гоффа // *Руководство по ортопедии и травматологии: в 3 т. Москва: Медицина, 1968. Т. II (XXIV). С. 644–664.*
26. Каплан А.В. Повреждения костей и суставов. 3-е изд. Москва: Медицина, 1979. 568 с.
27. Валиуллин Д.Р. Морфология жирового тела коленного сустава у людей зрелого возраста и его развитие в пренатальном онтогенезе: автореферат дис. ... канд. мед. наук. Уфа, 2003. 24 с.
28. *Imaging of the knee: Techniques and Applications* / ed. by A.M. Davies, V.N. Cassar-Pullicino. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 336 p. doi: 10.1007/978-3-642-55912-9
29. Subhawong T.K., Eng J., Carrino J.A., Chhabra A. Superolateral Hoffa's Fat Pad Edema: Association With Patellofemoral Maltracking and Impingement // *American Journal of Roentgenology.* 2010. Vol. 195, № 6. P. 1367–1373. doi: 10.2214/AJR.10.4668
30. Ogilvie-Harris D.J., Giddens J. Hoffa's disease: arthroscopic resection of the infrapatellar fat pad // *Arthroscopy.* 1994. Vol. 10, № 2. P. 184–187. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80091-x
31. Wu H., Xu Q., Zhou W. Hoffa disease: diagnosis and arthroscopic treatment // *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 1995. Vol. 33, № 10. P. 581–583.
32. Saha P., Bandyopadhyay U., Mukhopadhyay A.S., Kundu S., Mandal S. Ganglion Cyst of Knee from Hoffa's Fat Pad Protruding Anterolaterally Through Retinacular Rent: A Case Report // *Journal of Orthopaedic Case Reports.* 2015. Vol. 5, № 3. P. 69–71.
33. Руцкий А.В., Михайлов А.Н. Рентгенодиагностический атлас. Ч. I. Болезни опорно-двигательного аппарата. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 288 с.
34. Busch F. Mehrere Fälle seltener Knochenverletzungen // *Arch Klin Chir.* 1869. № 10. P. 703–719.
35. Hoffa A. *Lehrbuch der Frakturen und Luxationen für Ärzte und Studierende.* 1st edition. Würzburg: Verlag der Stahel'schen Universitäts-Buch- & Kunsthandlung, 1888. 772 p.
36. Bartoníček J., Rammelt S. History of femoral head fracture and coronal fracture of the femoral condyles // *International Orthopaedics.* 2015. Vol. 39, № 6. P. 1245–1250. doi: 10.1007/s00264-015-2730-x
37. Braun H. Gaerbruch des hinteren Theiles des Condylus. In: *Seltenere Fracture des Oberschenkels* // *Archiv für klinische chirurgie.* 1891. № 42. P. 107–109.
38. Letteneur J., Labour P.E., Rogez J.M., Lignon J., Bainvel J.V. Fractures de Hoffa — A propos de 20 observations // *Ann Chir.* 1978. Vol. 32, № 3–4. P. 213–219.
39. Müller M.E., Nazarian S., Koch P., Schatzker J. The comprehensive classification of fractures of long bones. Berlin: Springer, 1990. 208 p. doi: 10.1007/978-3-642-61261-9
40. Court-Brown C.M., Heckman J.D., McQueen M.M., Ricci W., Tornetta III P. Rockwood and Green's Fractures in Adults. In two volumes edition. Eighth: LWW, 2015. 2814 p.
41. Canale S.T., Beaty J.H. *Campbell's operative orthopaedics.* 9th edition. Mosby, 2007. 5512 p.
42. Solomon L., Warwick D., Nayagam S. *Apley's System of Orthopaedics and Fractures.* 9th edition. CRC Press, 2010. 992 p. doi: 10.1201/b13422
43. Patel P.B., Tejwani N.C. The Hoffa fracture: Coronal fracture of the femoral condyle a review of literature // *J Orthop.* 2018. Vol. 15, № 2. P. 726–731. doi: 10.1016/j.jor.2018.05.027

REFERENCES

1. Somford MP, Weme RAN, Hoornenborg D, Wiegerinck JI, van Raay JJAM, Brouwer RW, Williams A. Biographical background and origin of common eponymous terms in orthopedic surgery: anatomy and fractures in knee surgery. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(1):79–84. doi: 10.1007/s00590-017-2005-x
2. Zolotov AS, Berezin PA, Sidorenko IS. Mallet Fracture: I.F. Busch Fracture, W. Busch Fracture or P. Second Fracture?

- Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2021;27(3):143–148. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-143-148
3. Schmitt R, Lanz U. *Diagnostic imaging of the hand*. Stuttgart, New York: Thieme; 2008. 608 p.
4. Zolotov AS. *Fracture eponyms: proper names*. Irkutsk: Irkutskiy nauchnyj centr hirurgii i travmatologii; 2017. 98 p. (In Russ).
5. Markwart M. *Hoffa, Albert. Neue Deutsche Biographie*. Berlin: Duncker & Humblot; 1972. 9 p.
6. Paul U. Our surgical heritage. Albert Hoffa. *Zentralbl Chir*. 1981;106(13):901–903.
7. Vajnshtejn VG, R.R. Vreden (To the history of Russian orthopedics). *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*. 1985;(5):64–66. (In Russ).
8. Tikhilov RM, Kochish AYU, Roman R. Vreden — Outstanding Surgeon, Scientist and Teacher (150th Anniversary of the Birth). *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2017;23(4):158–162. (In Russ).
9. Goodsir J. On the Horizontal Curvature of the Internal Femoral Condyle: On the Movements and Relations of the Patella; Semilunar Cartilages; and Synovial Pads of the Human Knee-Joint. *Edinburgh Medical Journal*. 1855;1(1):91–95.
10. Benington RC. Dissection of a Symelian Monster. *J Anat Physiol*. 1891;25(2):202–209.
11. Ballantyne JW. Sectional Anatomy of an Anencephalic Foetus. *J Anat Physiol*. 1892;26(4):516–529.
12. Cotterill JM, Edin FROS. Notes of 15 cases of operation for internal derangement of the knee-joint. *The Lancet*. 1902;(7):510–512.
13. Hoffa A. The influence of the adipose tissue with regard to the pathology of the knee joint. *Journal Am Med Assoc*. 1904;(42):795.
14. Burda B, Steidle-Kloc E, Dannhauer T, Wirth W, Ruhdorfer A, Eckstein F. Variance in infra-patellar fat pad volume: Does the body mass index matter? – Data from osteoarthritis initiative participants without symptoms or signs of knee disease. *Annals of Anatomy*. 2017;(213):19–24. doi: 10.1016/j.aanat.2017.04.004
15. Chuckpaiwong B, Charles HC, Kraus VB, Guilak F, Nunley JA. Age-associated increases in the size of the infrapatellar fat pad in knee osteoarthritis as measured by 3T MRI. *Journal of Orthopaedic Research*. 2010;28(9):1149–1154. doi: 10.1002/jor.21125
16. Clockaerts S, Bastiaansen-Jenniskens YM, Runhaar J, Van Osch GJ, Van Offel JF, Verhaar JA, et al. The infrapatellar fat pad should be considered as an active osteoarthritic joint tissue: a narrative review. *Osteoarthritis Cartilage*. 2010;18(7):876–882. doi: 10.1016/j.joca.2010.03.014
17. Wickham MQ, Erickson GR, Gimble JM, Vail TP, Guilak F. Multipotent stromal cells derived from the infrapatellar fat pad of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;(412):196–212.
18. Gumerov AA. Clinical and morphological aspects of Hoffa's disease, Hoffa's disease in children. *Zdravoohranenie Bashkortostana*. 2006;(2):143–144. (In Russ).
19. Gavriluk VV. Ultrasound signs of Hoffa disease of the knee. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2012;(2):255–259. (In Russ).
20. Saddik D, McNally EG, Richardson M. MRI of Hoffa's fat pad. *Skeletal Radiol*. 2004;33(8):433–444. doi: 10.1007/s00256-003-0724-z
21. Kautz FG. Capsular Osteoma of the Knee Joint. Report of Four Cases. *Radiology*. 1945;45(2).
22. Netter FH. *Atlas of Human Anatomy*. 2nd edition. Novartis; 1997. 525 p.
23. Netter FH. *Atlas of Human Anatomy*. 1st edition. Elsevier-Health Sciences Division; 1989. 592 p.
24. Friedman H. Hringre of it ehiral Srientre. *New York Medical Journal*. 1919;95(18):749.
25. Volkov MV. Some congenital diseases of the knee joint and Hoffa's disease. In: *Rukovodstvo po ortopedii i travmatologii: v 3 t*. Moscow: Medicine; 1968. II(XXIV). 644–664. (In Russ).
26. Kaplan AV. *Damage to bones and joints*. 3-e izd. Moscow: Medicina; 1979. 568 p. (In Russ).
27. Valiullin DR. *Morphology of the fat body of the knee joint in mature people and its development in prenatal ontogenesis* [abstract of the dissertation]. Ufa; 2003. 24 p. (In Russ).
28. Davies AM, Cassar-Pullicino VN, editors. *Imaging of the knee: Techniques and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2003. 336 p. doi: 10.1007/978-3-642-55912-9
29. Subhawong TK, Eng J, Carrino JA, Chhabra A. Superolateral Hoffa's Fat Pad Edema: Association With Patellofemoral Maltracking and Impingement. *American Journal of Roentgenology*. 2010;195(6):1367–1373. doi: 10.2214/AJR.10.4668
30. Ogilvie-Harris DJ, Giddens J. Hoffa's disease: arthroscopic resection of the infrapatellar fat pad. *Arthroscopy*. 1994;10(2):184–187. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80091-x
31. Wu H, Xu Q, Zhou W. Hoffa disease: diagnosis and arthroscopic treatment. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 1995;33(10):581–583.
32. Saha P, Bandyopadhyay U, Mukhopadhyay AS, Kundu S, Mandal S. Ganglion Cyst of Knee from Hoffa's Fat Pad Protruding Anterolaterally Through Retinacular Rent: A Case Report. *Journal of Orthopaedic Case Reports*. 2015;5(3):69–71.
33. Ruckij AV, Mihajlov AN. *X-ray diagnostic atlas*. Part I. Diseases of the musculoskeletal system. Minsk: Higher school; 1987. 288 p. (In Russ).
34. Busch F. Mehrere Fälle seltener Knochenverletzungen. *Arch Klin Chir*. 1869;(10):703–719. (In German).
35. Hoffa A. *Lehrbuch der Frakturen und Luxationen für Ärzte und Studierende*. 1th ed. Würzburg: Verlag der Stahel'schen Universitäts-Buch- & Kunsthandlung; 1888. 772 p. (In German).
36. Bartoniček J, Rammelt S. History of femoral head fracture and coronal fracture of the femoral condyles. *International Orthopaedics*. 2015;39(6):1245–1250. doi: 10.1007/s00264-015-2730-x
37. Braun H. Gaerbruch des hinteren Theiles des Condylus. In: *Seltenere Fracture des Oberschenkels*. *Archiv für klinische chirurgie*. 1891;(42):107–109.
38. Letteneur J, Labour PE, Rogez JM, Lignon J, Bainvel JV. Fractures de Hoffa — A propos de 20 observations. *Ann Chir*. 1978;32(3–4):213–219.
39. Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. The comprehensive classification of fractures of long bones. Berlin: Springer; 1990. 208 p. doi: 10.1007/978-3-642-61261-9
40. Court-Brown CM, Heckman JD, McQueen MM, Ricci W, Tornetta III P. *Rockwood and Green's Fractures in Adults*. In two volumes edition. Eighth: LWW; 2015. 2814 p.
41. Canale ST, Beaty JH. *Campbell's operative orthopaedics*. 9th edition. Mosby; 2007. 5512 p.

42. Solomon L, Warwick D, Nayagam S. Apley's System of Orthopaedics and Fractures. 9th edition. CRC Press; 2010. 992 p. doi: 10.1201/b13422

43. Patel PB, Tejwani NC. The Hoffa fracture: Coronal fracture of the femoral condyle a review of literature. *J Orthop.* 2018;15(2):726–731. doi: 10.1016/j.jor.2018.05.027

ОБ АВТОРАХ

*** Золотов Александр Сергеевич**, д.м.н., профессор, врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, Владивосток, 690920, остров Русский, посёлок Аякс, д. 10;
ORCID: 0000-0002-0045-9319;
eLibrary SPIN: 3925-9025;
e-mail: dalexpk@gmail.com

Зинькова Екатерина Александровна, студент;
ORCID: 0000-0003-0873-1505;
eLibrary SPIN: 1531-4964;
e-mail: k762000@mail.ru

Атоян Варсик Арамовна, аспирант;
ORCID: 0000-0002-2259-8950;
e-mail: atoian.va@dvfu.ru

AUTHORS' INFO

*** Aleksandr S. Zolotov**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, traumatologist-orthopedist;
address: 10 Ajax settlement, Russky Island, Vladivostok, 690920, Russia;
ORCID: 0000-0002-0045-9319;
eLibrary SPIN: 3925-9025;
e-mail: dalexpk@gmail.com

Ekaterina A. Zinkova, student;
ORCID: 0000-0003-0873-1505;
eLibrary SPIN: 1531-4964;
e-mail: k762000@mail.ru

Varsik A. Atoian, post-graduate student;
ORCID: 0000-0002-2259-8950;
e-mail: atoian.va@dvfu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto4657158>

Академик Российской академии наук Сергей Павлович Миронов (06.08.1948–14.08.2023)

АННОТАЦИЯ

Отечественное здравоохранение понесло невосполнимую потерю: 14 августа на 76-м году ушёл из жизни выдающийся учёный, отличный организатор, прекрасный клиницист, эрудированный педагог, замечательный общественный деятель, доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук Сергей Павлович Миронов. Ассоциация травматологов-ортопедов России, коллектив Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, редколлегия журнала «Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» глубоко скорбят о тяжёлой утрате.

Ключевые слова: Сергей Павлович Миронов; некролог; академик Российской академии наук; врач травматолог-ортопед.

Как цитировать:

Академик Российской академии наук Сергей Павлович Миронов (06.08.1948–14.08.2023) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 3. С. 375–378. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto4657158>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto4657158>

Sergey Pavlovich Mironov, Academician of the Russian Academy of Sciences (06.08.1948–14.08.2023)

ABSTRACT

The national health care has suffered an irreplaceable loss: on August 14, at the age of 76, Sergey Pavlovich Mironov, an outstanding scientist, excellent organisator, a great clinician, erudite teacher, a remarkable public figure, Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, passed away. The Association of Traumatologists and Orthopaedists of Russia, the staff of the N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, editorial board of the N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics deeply grieve about the loss.

Keywords: Sergey Pavlovich Mironov; obituary; academician of the Russian Academy of Sciences; traumatologist-orthopedist.

To cite this article:

Sergey Pavlovich Mironov, Academician of the Russian Academy of Sciences (06.08.1948–14.08.2023). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):375–378. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto4657158>



Отечественное здравоохранение понесло невосполнимую потерю: 14 августа на 76-м году ушёл из жизни выдающийся учёный, отличный организатор, прекрасный клиницист, эрудированный педагог, замечательный общественный деятель, доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук Сергей Павлович Миронов.

Сергей Павлович родился 6 августа 1948 года в Москве. Вся трудовая деятельность Сергея Павловича на протяжении 50 лет была неразрывно связана с Центральным институтом травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова (ЦИТО). Ещё будучи студентом Первого Московского медицинского института, он начал работать в ЦИТО санитаром, а затем медбратом. После окончания института в 1973 году распределился в ЦИТО в отделение детской травматологии, где в 1979 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Оперативное лечение посттравматических контрактур и анкилозов локтевого сустава у детей». В 1983 году был избран по конкурсу заведующим отделением спортивной и балетной травмы, продолжая работу над докторской диссертацией «Посттравматические деформации и контрактуры крупных суставов у детей и подростков и их лечение», которую успешно защитил в 1984 году.

Научная деятельность Сергея Павловича была связана с разработкой и внедрением в практическое здравоохранение малоинвазивных артроскопических методов

лечения травм и заболеваний суставов, спинальной травмы, микрохирургии в травматологии и ортопедии.

С 1995 по 2011 год Сергей Павлович являлся заместителем управляющего делами Президента Российской Федерации, начальником Главного медицинского управления, а с 1998 по 2019 год — директором ЦИТО, где ярко проявил талант организатора. С 2019 года Сергей Павлович — почётный президент ЦИТО.

На протяжении 25 лет Сергей Павлович занимал должность главного внештатного специалиста травматолога-ортопеда Минздрава России, проводя огромную работу по развитию травматолого-ортопедической службы во всех регионах Российской Федерации.

Сергей Павлович длительное время руководил кафедрами травматологии и ортопедии МГУ им. М.В. Ломоносова, а затем — ФГБОУ ВО «МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, где готовились травматологи-ортопеды не только для Российской Федерации, но и для стран СНГ.

С 1999 года Сергей Павлович был главным редактором журнала «Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» — одного из ведущих научных рецензируемых изданий по травматологии и ортопедии. Под руководством Сергея Павловича журнал на высоком научном уровне освещал актуальные организационные и клинические проблемы современной травматологии и ортопедии.

Общественная деятельность Сергея Павловича неразрывно связана с созданием в 1996 году профессиональной общественной организации «Российское артроскопическое общество» и в 2014 году Общероссийской общественной организации «Ассоциация травматологов-ортопедов России», президентом которых он являлся на протяжении длительного времени.

В памяти родных и близких, друзей и соратников, коллег в нашей стране и за рубежом Сергей Павлович

Миронов останется не только прекрасным специалистом, но и человеком высоких душевных и этических качеств. Глубоко скорбим и выражаем соболезнования родным и близким.

***Ассоциация травматологов-ортопедов России,
коллектив НМИЦ травматологии и ортопедии
им. Н.Н. Приорова, редколлегия журнала «Вестник
травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»***