

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 №1

**N.N. Priorov Journal
of Traumatology
and Orthopedics**
2023 Volume 30 Issue 1

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

127349, г. Москва, Шенкурский проезд, 3Б, офис 311

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: *А.С. Островская*

Верстка: *Ф.А. Игнащенко*

Обложка: *Ф.А. Игнащенко*

Сдано в набор 14.06.2023.

Подписано в печать 26.06.2023.

Формат 60 × 881/8. Печать офсетная.

Печ. л. 15,75. Усл. печ. л. 14,6.

Уч.-изд. л. 8,6. Тираж 500 экз.

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 1 | 2023

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Миронов Сергей Павлович — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., президент ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. 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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Цыкунов Михаил Борисович — д-р мед. наук, проф. кафедры медицинской реабилитации ФДПФ ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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., ФГАУ 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

Дубров В.Э. — 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

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

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

Мурьев В.Ю. — д-р мед. наук, проф. ФГАУ 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 фтизиопульмонологии» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

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

Очуренко 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

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

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

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

Кавагути Е. — Университет Токаяма, 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

office 311, 3B, Shenkurskiy proezd, 127349,
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: *A.S. Ostrovskaya*
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 1 | 2023

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Sergey P. Mironov — Academician 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.

EXECUTIVE SECRETARY

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

Orletskiy 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.

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.

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

Kirienko 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

*И.О. Голубев, А.Р. Саруханян, М.В. Меркулов, О.М. Бушуев, Г.Н. Ширяева,
И.А. Кутепов, В.Д. Кузнецов*

Сравнение результатов лечения посттравматических ложных суставов диафиза плечевой кости с использованием васкуляризованных костных трансплантатов с мониторным кожным лоскутом и без него: ретроспективное когортное исследование 5

К.В. Шкуро, В.Т. Зейналов, И.А. Арапова, А.Н. Левин, Д.О. Васильев

Анатомически и функционально выгодные ориентиры при коррекции посттравматической деформации заднего отдела стопы: ретроспективное когортное контролируемое исследование. 15

Я.Г. Гудушаури, В.В. Коновалов, Э.И. Солод, М.Г. Какабадзе, Е.И. Калинин, И.Н. Марычев

Проблема диспареунии при повреждениях тазового кольца у женщин: ретроспективное когортное исследование 29

*А.Н. Шкарубо, А.Г. Назаренко, И.В. Чернов, Д.Н. Андреев, А.А. Кулешов,
Н.А. Коновалов, И.Н. Лисянский, М.Е. Синельников*

Сравнительный анализ эндоскопической трансназальной и микрохирургической трансоральной одонтоидэктомии: обзор литературы и собственный опыт 41

Д.Ю. Усачёв, А.Г. Назаренко, Н.А. Коновалов, С.В. Тяньшин, О.И. Шарипов, М.А. Шульц, Г.В. Данилов

Регистрация и анализ осложнений в нейрохирургической клинике: проспективное наблюдательное исследование 63

Н.И. Сергеев, П.М. Котляров, В.А. Солодкий

Дифференциальная диагностика очаговых изменений позвоночника с использованием стандартного и радиомического анализа: ретроспективное исследование 77

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

М.В. Гиркало, М.Н. Козадаев, И.Н. Щаницын, А.В. Деревянов, В.В. Островский

Замещение обширных костных дефектов при ревизионной артропластике коленного сустава: клинические наблюдения. 87

ОБЗОРЫ

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







Зубовидная кость второго шейного позвонка: аспекты эпидемиологии, этиопатогенеза, клинической картины и диагностики. Обзор литературы 97

*А.И. Гребень, П.С. Ерёмин, Ю.В. Бялик, Е.Ю. Костромина, Г.К. Парсаданян,
П.А. Марков, А.В. Афанасьев, Т.Н. Гребень*

Возможности регенеративной медицины и ортобиологических препаратов в лечении заболеваний верхней конечности: обзор литературы 111

CONTENTS


ORIGINAL STUDY ARTICLES

-  *Igor O. Golubev, Anna R. Sarukhanyan, Maksim V. Merkulov, Oleg M. Bushuev, Galina N. Shiryayeva, Ilya A. Kutepov, Vasily D. Kusnetzov*
Comparison of the treatment results of humerus diaphysis post-traumatic false joints using vascularized bone grafts with and without a monitor skin flap: Retrospective cohort study 13
-  *Konstantin V. Shkuro, Vadim T. Zeynalov, Irina A. Arapova, Andrey N. Levin, Dmitriy O. Vasilyev*
Anatomical and functional guidelines for the correction hindfoot malalignment 15
-  *Yago G. Gudushauri, Vyacheslav V. Konovalov, Eduard I. Solod, Malkhazi G. Kakabadze, Evgeniy I. Kalinin, Ivan N. Marychev*
Dyspareunia in pelvic ring in women 29
-  *Aleksey N. Shkarubo, Anton G. Nazarenko, Ilya V. Chernov, Dmitriy N. Andreev, Aleksandr A. Kuleshov, Nikolay A. Konovalov, Igor N. Lisyansky, Mikhail E. Sinelnikov*
Comparative analysis of endoscopic transnasal and microsurgical transoral odontoidectomy: Literature review and own experience 41
-  *Dmitriy Yu. Usachev, Anton G. Nazarenko, Nikolay A. Konovalov, Sergey V. Tanyashin, Oleg I. Sharipov, Maria A. Shults, Gleb V. Danilov*
Registration and analysis of complications in the neurosurgical clinic 63
-  *Nikolay I. Sergeev, Petr M. Kotlyarov, Vladimir A. Solodky*
Differential diagnosis of focal changes in the spine using standard and radiomic analysis 77

CLINICAL CASE

- Mikhail V. Girkalo, Maksim N. Kozadaev, Ivan N. Shchanitsyn, Alexandr V. Derevyanov, Vladimir V. Ostrovskij*
Replacement of extensive bone defects in revision knee arthroplasty: Clinical cases 87

REVIEWS

-  *Alexander A. Kuleshov, Alexey N. Shkarubo, Vladislav A. Sharov, Marchel S. Vetrile, Igor N. Lisyansky, Sergey N. Makarov*
Os odontoides of C₂ vertebra: Aspects of epidemiology, etiopathogenesis, clinical manifestations, and diagnosis. Literature review 97
- Anastasija I. Greben, Petr S. Eremin, Juliya V. Byalik, Elena Yu. Kostromina, Gajk K. Parsadanyan, Pavel A. Markov, Aleksei V. Afanasiev, Tatiana N. Greben*
Regenerative medicine and orthobiological drugs possibilities in upper limb diseases treatment: Literature review 111

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321388>

Сравнение результатов лечения посттравматических ложных суставов диафиза плечевой кости с использованием васкуляризованных костных трансплантатов с мониторным кожным лоскутом и без него: ретроспективное когортное исследование

И.О. Голубев^{1,2}, А.Р. Саруханян², М.В. Меркулов¹, О.М. Бушуев¹, Г.Н. Ширяева¹,
И.А. Кутепов¹, В.Д. Кузнецов¹

¹ НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;

² Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Применение микрососудистых лоскутов в реконструктивной хирургии имеет высокую актуальность в лечении осложнённых ложных суставов диафиза плечевой кости. Нарушение кровоснабжения анастомоза происходит в 5–10% случаев, что может привести к гибели трансплантата. Использование комбинированного кожно-костного лоскута является простым, доступным и достаточно надёжным способом контроля лоскута, повышающим вероятность успеха операции.

Цель. Сравнить эффективность кровоснабжаемой костной пластики с использованием сигнального кожного лоскута и без него.

Материалы и методы. В отделении микрохирургии и травмы кисти ФГБУ НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва) в период с 2010 по 2017 год было проведено оперативное лечение 41 пациента с ложными суставами и дефектами плечевой кости с использованием васкуляризованных костных трансплантатов. Из них у 23 (56%) человек костный лоскут применён в комбинации с мониторным кожным лоскутом на перфорантных сосудах, у 18 (44%) пациентов сигнальный кожный лоскут не использовали. Оценку результатов проводили на основании данных рентгенологического исследования и компьютерной томографии.

Результаты. При отсутствии мониторного кожного лоскута консолидация наступила у 14 (77%) пациентов из 18, при его наличии консолидация была достигнута у 22 (96%) человек из 23.

Заключение. Применение сигнального кожного лоскута является эффективным способом контроля кровотока в трансплантате и улучшает результаты лечения.

Ключевые слова: ложный сустав плечевой кости; трансплантат; лоскут; мониторный кожный лоскут; васкуляризованный малоберцовый трансплантат.

Как цитировать:

Голубев И.О., Саруханян А.Р., Меркулов М.В., Бушуев О.М., Ширяева Г.Н., Кутепов И.А., Кузнецов В.Д. Сравнение результатов лечения посттравматических ложных суставов диафиза плечевой кости с использованием васкуляризованных костных трансплантатов с мониторным кожным лоскутом и без него: ретроспективное когортное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321388>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321388>

Comparison of the treatment results of humerus diaphysis post-traumatic false joints using vascularized bone grafts with and without a monitor skin flap: Retrospective cohort study

Igor O. Golubev^{1,2}, Anna R. Sarukhanyan², Maksim V. Merkulov¹, Oleg M. Bushuev¹, Galina N. Shiryayeva¹, Ilya A. Kutepov¹, Vasily D. Kusnetzov¹

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

² Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The use of the microvascular flap in reconstructive surgery of complicated nonunions of the diaphysis of the humerus is highly valuable. Flaps with compromised blood supply are possible in up to 10% of cases and often lead to the failure of vascularized reconstruction. The combined skin + bone graft is a simple, useful, and reliable option for flap vitality control with a high success rate.

OBJECTIVE: To compare microvascular grafting with versus without monitoring the skin flap.

MATERIALS AND METHODS: Forty-one microvascular grafting was performed from 2010 to 2017 in patients with humeral non-union and bone defects in the Department of Microsurgery and Trauma of the Hand of Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics. A combined skin bone flap was used in 23 (56%) patients, and in 18 (44%) patients, grafting was performed without monitoring the skin flap. Computed tomography and X-ray imaging were used to monitor non-union healing. The use of a signal skin flap is an effective way to control blood flow in the graft and improves treatment results.

RESULTS: In the group without monitoring of the skin flap, non-union healing was documented in 14 (77%) cases. In the group with monitoring of the skin flap, nonunion healing occurred in 22 (96%) cases.

CONCLUSION: Monitoring the skin flap is an effective option to ensure microvascular flap blood supply control and improves the outcomes in humeral nonunion healing.

Keywords: humeral nonunion; graft, flap; monitoring skin island; bone defects; vascularized fibula grafts.

To cite this article:

Golubev IO, Sarukhanyan AR, Merkulov MV, Bushuev OM, Shiryayeva GN, Kutepov IA, Kusnetzov VD. Comparison of the treatment results of humerus diaphysis post-traumatic false joints using vascularized bone grafts with and without a monitor skin flap: Retrospective cohort study. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):5–13. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321388>

Received: 16.03.2023

Accepted: 06.04.2023

Published: 19.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

Перенос микрососудистых лоскутов в реконструктивной хирургии — надёжный метод укрытия различных дефектов. Их применение имеет высокую актуальность в лечении осложнённых ложных суставов диафиза плечевой кости. Несмотря на высокую вероятность успеха трансплантации микроваскулярных лоскутов, нарушение кровоснабжения анастомоза происходит в 5–10% случаев, что может привести к гибели трансплантата [1–4]. Именно поэтому надёжный мониторинг лоскута так же важен, как и успешная хирургическая процедура. В погружённых васкуляризированных трансплантатах прямая визуализация невозможна. В этих случаях можно оставить небольшой кожный островок, который позволит следить за состоянием трансплантата.

В настоящее время в литературе сообщается о более чем 40 способах контроля состояния лоскута. Прямой визуальный мониторинг является широко используемым методом с надёжностью до 100% и общим успехом до 99% [5–9].

Ни один из современных высокотехнологичных методов мониторинга, появившихся в последние десятилетия, не даёт гарантии успеха и не обеспечивает бесспорного преимущества перед прямым визуальным мониторингом. Только имплантируемые доплеровские зонды, инфракрасная спектроскопия и лазерная доплеровская флуометрия продемонстрировали какие-либо доказательства улучшения показателей приживления трансплантатов, но эти методы дорогостоящие и требуют применения специального оборудования. Из-за своей простоты и доступности прямой визуальный мониторинг является стандартом мониторинга васкуляризированного трансплантата во всём мире [4, 10–12] несмотря на то, что этот метод субъективен и зависит от наблюдателя. Прямая визуализация остаётся самым простым, дешёвым и в то же время достаточно надёжным способом контроля лоскута. Этот метод не требует специальных приспособлений и может быть качественно выполнен квалифицированным медицинским персоналом. Кожный лоскут лучше всего подходит для оценки состояния трансплантата.

Визуальная оценка жизнеспособности лоскута позволяет одновременно оценивать множество специфических характеристик: цвет, температуру поверхности, эластичность (консистенцию), капиллярный ответ, кровотечение в ответ на укол или скарификацию. Всё это делает прямой визуальный мониторинг уникальным и незаменимым [1, 13–18].

Первое зарегистрированное использование сигнального кожного лоскута описал Yoshimura в 1983 году [19]. Островок кожи использовался им не только для мониторинга, но и для реконструктивных целей там, где имелся как костный, так и кожный дефект. Quattan и соавт. описали небольшой островок кожи для мониторинга

васкуляризированной малоберцовой кости, лучевого лоскута предплечья или переднебокового лоскута бедра в 1994 году [20–22]. Значение кожного лоскута для мониторинга васкуляризированного трансплантата описывается в нескольких исследованиях. Так, Stranix и соавт. исследовали 362 васкуляризированных трансплантата, содержащих мышцы, и сообщили о значительно более высоких показателях выживаемости трансплантата в мышечных лоскутах, содержащих сигнальный кожный лоскут, несмотря на использование в качестве дополнительных методов контроля ультразвуковой доплерографии, имплантируемого доплеровского зонда и иногда ангиографии. Эти данные подчёркивают важность прямого визуального мониторинга с использованием сигнального кожного лоскута [23]. Dat и соавт. сообщили об аналогичных результатах исследования 573 васкуляризированных трансплантатов и подтвердили значительно более высокие показатели успешного приживления лоскутов, содержащих кожный островок [24].

Цель исследования — сравнить эффективность лечения ложных суставов и дефектов диафиза плечевой кости путём кровоснабжаемой костной пластики с использованием сигнального кожного лоскута и без него.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное когортное исследование пациентов с посттравматическими ложными суставами диафиза плечевой кости, оперированных с января 2010 по декабрь 2017 года.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- возраст пациентов от 18 до 85 лет;
- пациенты с посттравматическими ложными суставами диафиза плечевой кости с 2 и более оперативными вмешательствами в анамнезе.

Критерии невключения:

- пациенты с ложными суставами плечевой кости онкологического генеза;
- пациенты с обострением локальной хронической инфекции в зоне ложного сустава.

Условия проведения

Исследование проведено в период с января 2010 по декабрь 2017 года в отделении микрохирургии и травмы кисти ФГБУ НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва).

Методы оценки целевых показателей

1. Рентгенография.
2. Компьютерная томография.

Этическая экспертиза

Этическую экспертизу не проводили.

Все пациенты, участвовавшие в исследовании, дали письменное информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство и публикацию результатов исследования.

Статистический анализ

Для анализа результатов применяли программное обеспечение для статистической обработки данных и работы с графикой R версии 3.6.3.

Для оценки разности пропорций использовали 95% односторонний доверительный интервал (95% ДИ). При сопоставлении двух групп по частоте консолидации для оценки различий между процентными долями использовали угловой критерий Фишера (ϕ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

Проведено оперативное лечение 41 пациента (19 мужчин и 22 женщин) с ложными суставами и дефектами плечевой кости с использованием васкуляризированных костных трансплантатов. Средний возраст пациентов составил 45 лет и варьировал от 26 до 84 лет. У 38 (93%) пациентов был использован свободный васкуляризированный трансплантат из малоберцовой кости, у 3 (7%) человек — из медиального мыщелка бедренной кости. Во всех случаях применяли накостный остеосинтез пластиной. В большинстве случаев пластина фиксировала только отломки плечевой кости, без трансплантата (мостовидная костная пластика), трансплантат при этом укладывали с противоположной пластины стороны диафиза и фиксировали монокортикально двумя винтами к дистальному и проксимальному отломку плечевой кости.

У 23 (56%) пациентов в опытной группе был применён комбинированный костно-кожный лоскут, у 18 (44%)



Рис. 1. Комбинированный кожно-костный лоскут из малоберцовой кости.

Fig. 1. Fibular bone combined flap.

человек в контрольной группе выполнено оперативное вмешательство с использованием костного лоскута без кожной порции (рис. 1).

Основные результаты исследования

Оценку результатов сращения проводили на основании данных рентгенологического исследования и компьютерной томографии. Результат сращения оценивали удовлетворительно при наличии единого монолитного блока между трансплантатом и фрагментами плечевой кости.

Консолидация перелома в течение 4–6 мес была достигнута в 22 (96%) случаях в опытной группе и в 14 (77%) — в контрольной (рис. 2).

Данные были статистически обработаны. Проводили сравнение по факту сращения. Для сравнения доли

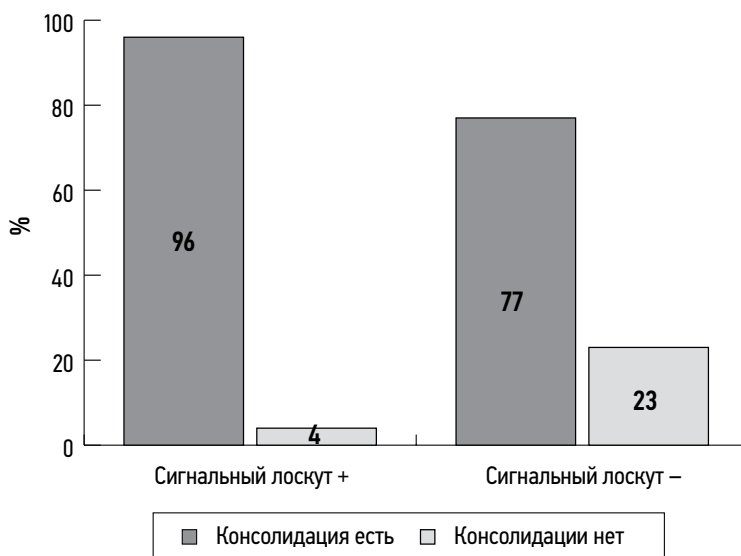


Рис. 2. Сращение в группе кровоснабжаемой пластины у пациентов с применением сигнального лоскута и без него.

Fig. 2. Fusion in the blood-filled plasty group in patients with and without the use of a signal flap.

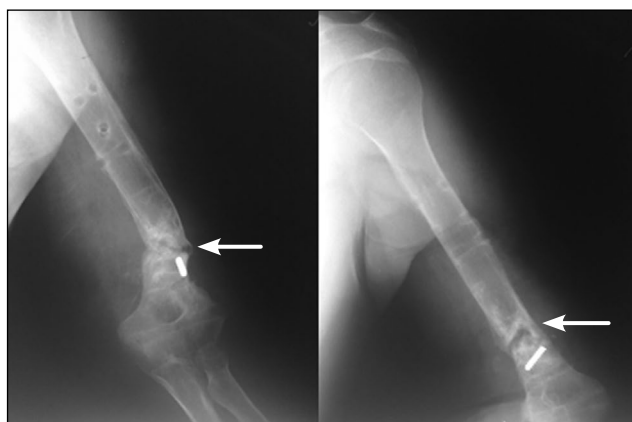


Рис. 3. Рентгенограммы пациента П., 42 года. Диагноз: «Ложный сустав дистальной трети диафиза левой плечевой кости. Состояние после многократных оперативных вмешательств» (обозначено стрелками).

Fig. 3. Radiographs of patient P., 42 years old. Diagnosis: «Pseudarthrosis of the left humerus diaphysis distal third. Condition after multiple surgical interventions» (indicated by arrows).

пациентов, достигших консолидации в группе с сигнальным лоскутом, с долей лиц в группе без него, использовали доверительный интервал (ДИ) для разности долей (пропорций). Построили 95% ДИ, величина которого составила 0,18–0,174. Поскольку интервал не включает ноль, мы сделали заключение, что различие между группами существует.

Также сравнили группы с помощью углового критерия Фишера: $\varphi=1,825$. Таким образом, статистические тесты показали, что наличие лоскута значительно влияет на консолидацию ($p=0,05$).

Клинический пример

Пациент П., 42 года. Травма получена в январе 2007 года: на горнолыжном курорте в Италии при столкновении с другим лыжником получил оскольчатый перелом диафиза левой плечевой кости на границе средней и нижней трети. На протяжении нескольких лет перенёс множественные оперативные вмешательства. На момент поступления в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова в 2011 году на рентгенограммах визуализировался ложный сустав дистальной трети левой плечевой кости, фрагмент металлоконструкции (рис. 3).

В сентябре 2011 года выполнена операция: «Экономная резекция зоны ложного сустава левой плечевой кости. Остеосинтез пластиной. Пластика левой плечевой кости свободным васкуляризованным костно-кожным малоберцовым трансплантатом, взятым из правой голени».

Фиксацию трансплантата выполняли по типу «бок-в-бок» (мостовидная костная пластика). При динамическом наблюдении на всём протяжении госпитализации: мониторинг лоскут — тёплый, физиологической окраски, капиллярный ответ удовлетворительный.

На контрольных рентгенограммах через 6 мес после оперативного вмешательства зафиксированы признаки консолидации (рис. 4).

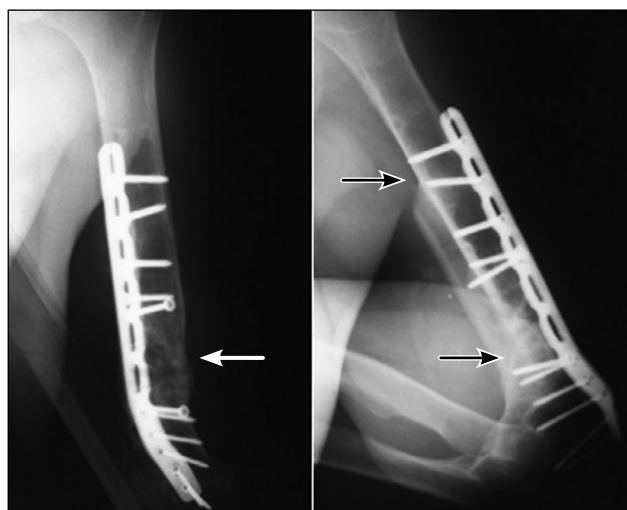


Рис. 4. Пациент П., 42 лет. Рентгенограммы через 6 мес после операции. Признаки консолидации обозначены стрелками.

Fig. 4. Patient P., 42 years old. Radiographs 6 months after surgery. Signs of consolidation are indicated by arrows.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема лечения ложных суставов насчитывает не один десяток лет. Замедленное сращение или формирование ложных суставов происходит в 5–10% случаев переломов длинных трубчатых костей [25, 26].

С развитием микрохирургических методов васкуляризованные костные трансплантаты хорошо зарекомендовали себя как метод, способный обеспечить решение сложных реконструктивных проблем. Использование свободного лоскута из малоберцовой кости при лечении несращений диафиза плечевой кости также приобрело большую популярность в последние несколько десятилетий [15, 27–29].

Васкуляризованный трансплантат из малоберцовой кости имеет преимущества в случае больших костных дефектов, особенно тех, которым сопутствуют неадекватная васкуляризация окружающих мягких тканей, при наличии инфекции, предшествующих многократных оперативных вмешательствах в анамнезе [5, 14, 29].

Для повышения успешности васкуляризованной костной пластики важно контролировать микроциркуляцию сигнального лоскута на ранней стадии. По данным многих авторов и результатам проведённого мета-анализа, прямой визуальный мониторинг по-прежнему остаётся «золотым стандартом» при оценке состояния трансплантата [1, 4, 12, 17]. Однако использование погружаемых трансплантатов делает невозможным их прямой контроль, в этом случае в роли прямого визуального мониторинга может выступать сигнальный кожный лоскут, являющийся простым и доступным решением. Сигнальный островок на основе перфорантов от малоберцовых сосудов служит постоянным монитором васкуляризации лоскута, что включает такие преимущества, как простота, надёжность, неинвазивность

и способность заполнять сопутствующие дефекты мягких тканей.

Предыдущие фундаментальные и клинические исследования продемонстрировали неотъемлемые преимущества васкуляризированной костной пластики при лечении ложных суставов [30–33]. Васкуляризированный трансплантат малоберцовой кости считается наиболее подходящим для реконструкции плечевой кости из-за его прямой формы, достаточной длины, механической прочности, предсказуемости расположения сосудистой ножки и ограниченной болезни донорского места [33–36].

Тем не менее проходимость микрососудистого анастомоза сложно контролировать, потому что малоберцовый трансплантат глубоко расположен. Для оценки жизнеспособности малоберцового трансплантата можно применять ангиографию, но это дорогая и инвазивная процедура, кроме того, постоянный мониторинг невозможен. Ультразвуковая доплерография используется достаточно часто, потому что она доступна и неинвазивна. Однако она является непрямым методом наблюдения, её нельзя выполнять настолько часто, чтобы это было достаточно эффективно, и для этого требуются специальные навыки и сложное оборудование [28, 33]. Соответственно, клиническая оценка цвета тканей, объёма, наполнения капилляров и кровотока сигнальных кожных лоскутов может оказаться наиболее эффективным методом оценки жизнеспособности васкуляризированного малоберцового трансплантата.

Важным преимуществом комбинированного кожно-костного лоскута является возможность прикрытия им мягкотканых дефектов. Кроме того, наличие кожной порции позволяет уменьшить натяжение тканей в зоне послеоперационной раны, снижая таким образом давление на сосудистый анастомоз и уменьшая вероятность спазма или тромбоза в нём, что, в конечном итоге, оказывает влияние на результаты лечения. По нашему опыту, мониторинг лоскута является несомненным показателем жизнеспособности трансплантата малоберцовой кости при реконструкции дефектов и ложных суставов плечевой кости и позволяет повысить вероятность консолидации.

Ограничения исследования

Исследование не имело ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chae M.P., Rozen W.M., Whitaker I.S., et al. Current Evidence for Postoperative Monitoring of Microvascular Free Flaps. A Systematic Review // *Ann Plast Surg*. 2015. Vol. 74, N 5. P. 621–632. doi: 10.1097/SAP.0b013e3181f8cb32
2. Harrison D.H., Girling M., Mott G. Methods of assessing the viability of free flap transfer during the postoperative period // *Clin Plast Surg*. 1983. Vol. 10, N 1. P. 21–36.
3. Khatri N., Zhang S., Kale S.S. Current Techniques for Postoperative Monitoring of Microvascular Free Flaps // *J Wound*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трансплантация васкуляризованного костного трансплантата — это эффективный метод лечения ложных суставов и дефектов плечевой кости, а мониторинг кожный лоскут — простой и надёжный способ оценки сосудистого статуса трансплантата, статистически значимо повышающий вероятность успеха процедуры. Таким образом, при посттравматических ложных суставах и дефектах плечевой кости при наличии 2 и более предшествующих оперативных вмешательств в анамнезе применение васкуляризированной костной пластики с использованием сигнального кожного лоскута позволяет значимо увеличить вероятность сращения.

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. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию его медицинских данных и фотографий (дата получения согласия 16.02.2012).

ADDITIONAL INFO

Author's contribution. Thereby, 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. Written consent (signed 16.02.2012) was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Ostomy Continence Nurs. 2017. Vol. 44, N 2. P. 148–152. doi: 10.1097/WON.0000000000000314

4. Molitor M., Mestak O., Pinkb R., et al. The use of sentinel skin islands for monitoring buried and semi-buried micro-vascular flaps. Part II: Clinical application // *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2021. Vol. 165, N 2. P. 131–138. doi: 10.5507/bp.2021.017

5. Abdel-Galil K., Mitchell D. Postoperative monitoring of microsurgical free tissue transfers for head and neck reconstruction:

- a systematic review of current techniques — Part I. Non-invasive techniques. // *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2009. Vol. 47, N 5. P. 351–355. doi: 10.1016/j.bjoms.2008.11.013
6. Goldberg J., Sepka R.S., Perona B.P., et al. Laser Doppler blood flow measurements of common cutaneous donor sites for reconstructive surgery // *Plast Reconstr Surg*. 1990. Vol. 85, N 4. P. 581–586. doi: 10.1097/00006534-199004000-00013
7. Ozturk C.N., Ozturk C., Ledinh W., et al. Variables affecting postoperative tissue perfusion monitoring in free flap breast reconstruction // *Microsurgery*. 2015. Vol. 35, N 2. P. 123–128. doi: 10.1002/micr.22276
8. Schmulder A., Gur E., Zaretski A. Eight-year experience of the Cook-Swartz Doppler in free-flap operations: microsurgical and reexploration results with regard to a wide spectrum of surgeries // *Microsurgery*. 2011. Vol. 31, N 1. P. 1–6. doi: 10.1002/micr.20816
9. Yuen J.C., Feng Z. Monitoring free flaps using the laser Doppler flowmeter: five-year experience // *Plast Reconstr Surg*. 2000. Vol. 105, N 1. P. 55–61. doi: 10.1097/00006534-200001000-00009
10. Chubb D., Rozen W.M., Whitaker I.S., et al. The efficacy of clinical assessment in the postoperative monitoring of free flaps: a review of 1140 consecutive cases // *Plast Reconstr Surg*. 2010. Vol. 125, N 4. P. 1157–1166. doi: 10.1097/PRS.0b013e3181d0ac95
11. Jallali N., Ridha H., Butler P.E. Postoperative monitoring of free flaps in UK plastic surgery units // *Microsurgery*. 2005. Vol. 25, N 6. P. 469–472. doi: 10.1002/micr.20148
12. Whitaker I.S., Oliver D.W., Ganchi P.A. Postoperative monitoring of microvascular tissue transfers: current practice in the United Kingdom and Ireland // *Plast Reconstr Surg*. 2003. Vol. 111, N 6. P. 2118–2119. doi: 10.1097/01.PRS.0000057070.74385.AF
13. Cervenka B., Bewley A.F. Free flap monitoring: a review of the recent literature // *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2015. Vol. 23, N 5. P. 393–398. doi: 10.1097/MOO.0000000000000189
14. Chao A.H., Meyerson J., Povoski S.P., Kocak E. A review of devices used in the monitoring of microvascular free tissue transfers // *Expert Rev Med Devices*. 2013. Vol. 10, N 5. P. 649–660. doi: 10.1586/17434440.2013.827527
15. Ferguson R.E., Yu P. Techniques of Monitoring Buried Fasciocutaneous Free Flaps // *Plast Reconstr Surg*. 2009. Vol. 123, N 2. P. 525–532. doi: 10.1097/PRS.0b013e318196b9a3
16. Imran Y., Zulmi W., Halim A.S. Skin paddle as an indicator for the viability of vascularised fibular graft // *Singapore Med J*. 2004. Vol. 45, N 3. P. 110–112.
17. Kääriäinen M., Halme E., Laranne J. Modern postoperative monitoring of free flaps // *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2018. Vol. 26, N 4. P. 248–253. doi: 10.1097/MOO.0000000000000467
18. Pellini R., Pichi B., Ruggieri M., et al. Venous flowthrough flap as an external monitor for buried radial forearm free flap in head and neck reconstruction // *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2006. Vol. 59, N 11. P. 1217–1221. doi: 10.1016/j.bjps.2006.01.026
19. Yoshimura M., Shimamura K., Iwai Y., et al. Free vascularised fibular transplant. A new method for monitoring circulation of the grafted fibula // *J Bone Joint Surg Am*. 1983. Vol. 65, N 9. P. 1295–1301.
20. Furuta S., Hataya Y., Ishigaki Y., Watanabe T. Monitoring the free radial forearm flap in pharyngo-oesophageal reconstruction // *Br J Plast Surg*. 1997. Vol. 50, N 1. P. 40–42. doi: 10.1016/s0007-1226(97)91281-9
21. Al Quattan M.M., Boyd J.B. «Mini paddle» for monitoring the fibular free flap in mandibular reconstruction // *Microsurgery*. 1994. Vol. 15, N 2. P. 153–154. doi: 10.1002/micr.1920150213
22. Tan N.C., Shih H.S., Chen C.C., et al. Distal skin paddle as a monitor for buried anterolateral thigh flap in pharyngoesophageal reconstruction // *Oral Oncol*. 2012. Vol. 48, N 3. P. 249–252. doi: 10.1016/j.oraloncology.2011.09.015
23. Stranix J.T., Jacoby A., Lee Z.H., et al. Skin Paddles Improve Muscle Flap Salvage Rates After Microvascular Compromise in Lower Extremity Reconstruction // *Ann Plast Surg*. 2018. Vol. 81, N 1. P. 68–70. doi: 10.1097/SAP.0000000000001425
24. Dat A.D., Loh I.W., Bruscano-Raiola F. Free-flap salvage: muscle only versus skin paddle — an Australian experience // *ANZ J Surg*. 2017. Vol. 87, N 12. P. 1040–1043. doi: 10.1111/ans.13522
25. Голубев И.О., Кукин И.А., Меркулов М.В., и др. Кровоснабжаемый костный аутотрансплантат из мышечков бедренной кости в лечении ложных суставов длинных трубчатых костей // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2019. Т. 26, № 2. С. 19–23. doi: 10.17116/vto201902119
26. Кукин И.А., Голубев И.О. Кровоснабжаемые костные трансплантаты из области дистальной трети бедра: современное состояние вопроса // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2018. Т. 25, № 1. С. 66–71. doi: 10.17816/vto201825166-71
27. Голубев И.О., Саруханян А.Р., Меркулов М.М., и др. Тактика хирургического лечения посттравматических ложных суставов и дефектов диафиза плечевой кости // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2019. Т. 26, № 1. С. 35–41. doi: 10.17116/vto201901135
28. Cho B.C., Shin D.P., Byun J.S., et al. Monitoring flap for buried free tissue transfer: its importance and reliability // *Plast Reconstr Surg*. 2002. Vol. 110, N 5. P. 1249–1258. doi: 10.1097/01.PRS.0000025286.03909.72
29. Thorniley M.S., Sinclair J.S., Barnett N.J., et al. The use of near-infrared spectroscopy for assessing flap viability during reconstructive surgery // *Br J Plast Surg*. 1998. Vol. 51, N 3. P. 218–226. doi: 10.1054/bjps.1997.0145
30. Chacha P.B., Ahmed M., Daruwalla J.S., et al. Vascular pedicle graft of the ipsilateral fibula for non-union of the tibia with a large defect. An experimental and clinical study // *J Bone Joint Surg*. 1981. Vol. 63-B, N 2. P. 244–253. doi: 10.1302/0301-620X.63B2.7217150
31. de Boer H.H., Wood M.B. Bone changes in the vascularised fibular graft // *J Bone Joint Surg Br*. 1989. Vol. 71, N 3. P. 374–378. doi: 10.1302/0301-620X.71B3.2722923
32. Doi K., Tominaga S., Shibata T. Bone grafts with microvascular anastomoses of vascular pedicles. An experimental study in dogs // *J Bone Joint Surg Am*. 1977. Vol. 59, N 6. P. 809–815.
33. Guo Q.-F., Xu Z.-H., Wen S.-F., et al. Value of a skin island flap as a postoperative predictor of vascularized fibula graft viability in extensive diaphyseal bone defect reconstruction // *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012. Vol. 98, N 5. P. 576–582. doi: 10.1016/j.otsr.2012.03.009
34. Korompilias A.V., Paschos N.K., Lykissas M.G., et al. Recent updates of surgical techniques and applications of free vascularized fibular graft in extremity and trunk reconstruction // *Microsurgery*. 2011. Vol. 31, N 3. P. 171–175. doi: 10.1002/micr.20848
35. Lasaniano N.G., Kanakaris N.K., Giannoudis P.V. Current management of long-bone large segmental defects // *Orthopaedics and Trauma*. 2010. Vol. 24, N 2. P. 149–163. doi: 10.1016/j.mporth.2009.10.003
36. Soucacos P.N., Korompilias A.V., Vekris M.D., et al. The free vascularized fibular graft for bridging large skeletal defects of the upper extremity // *Microsurgery*. 2011. Vol. 31, N 3. P. 190–197. doi: 10.1002/micr.20862

REFERENCES

- Chae MP, Rozen WM, Whitaker IS, et al. Current evidence for postoperative monitoring of microvascular free flaps: a systematic review. *Ann Plast Surg.* 2015;74(5):621–632. doi: 10.1097/SAP.0b013e3181f8cb32
- Harrison DH, Girling M, Mott G. Methods of assessing the viability of free flap transfer during the postoperative period. *Clin Plast Surg.* 1983;10(1):21–36.
- Khatri N, Zhang S, Kale SS. Current Techniques for Postoperative Monitoring of Microvascular Free Flaps. *J Wound Ostomy Continence Nurs.* 2017;44(2):148–152. doi: 10.1097/WON.0000000000000314
- Molitor M, Mestak O, Pink R, et al. The use of sentinel skin islands for monitoring buried and semi-buried micro-vascular flaps. Part II: Clinical application. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2021;165(2):131–138. doi: 10.5507/bp.2021.017
- Abdel-Galil K, Mitchell D. Postoperative monitoring of microsurgical free tissue transfers for head and neck reconstruction: a systematic review of current techniques — part I. Non-invasive techniques. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2009;47(5):351–355. doi: 10.1016/j.bjoms.2008.11.013
- Goldberg J, Sepka RS, Perona BP, et al. Laser Doppler blood flow measurements of common cutaneous donor sites for reconstructive surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1990;85(4):581–586. doi: 10.1097/00006534-199004000-00013
- Ozturk CN, Ozturk C, Ledinh W, et al. Variables affecting postoperative tissue perfusion monitoring in free flap breast reconstruction. *Microsurgery.* 2015;35(2):123–128. doi: 10.1002/micr.22276
- Schmulder A, Gur E, Zaretski A. Eight-year experience of the Cook-Swartz Doppler in free-flap operations: microsurgical and reexploration results with regard to a wide spectrum of surgeries. *Microsurgery.* 2011;31(1):1–6. doi: 10.1002/micr.20816
- Yuen JC, Feng Z. Monitoring free flaps using the laser Doppler flowmeter: five-year experience. *Plast Reconstr Surg.* 2000;105(1):55–61. doi: 10.1097/00006534-200001000-00009
- Chubb D, Rozen WM, Whitaker IS, et al. The efficacy of clinical assessment in the postoperative monitoring of free flaps: a review of 1140 consecutive cases. *Plast Reconstr Surg.* 2010;125(4):1157–1166. doi: 10.1097/PRS.0b013e3181d0ac95
- Jallali N, Ridha H, Butler PE. Postoperative monitoring of free flaps in UK plastic surgery units. *Microsurgery.* 2005;25(6):469–472. doi: 10.1002/micr.20148
- Whitaker IS, Oliver DW, Ganchi PA. Postoperative monitoring of microvascular tissue transfers: current practice in the United Kingdom and Ireland. *Plast Reconstr Surg.* 2003;111(6):2118–2119. doi: 10.1097/01.PRS.0000057070.74385.AF
- Cervenka B, Bewley AF. Free flap monitoring: a review of the recent literature. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2015;23(5):393–398. doi: 10.1097/MO0.0000000000000189
- Chao AH, Meyerson J, Pivoski SP, Kocak E. A review of devices used in the monitoring of microvascular free tissue transfers. *Expert Rev Med Devices.* 2013;10(5):649–660. doi: 10.1586/17434440.2013.827527
- Ferguson REH Jr, Yu P. Techniques of monitoring buried fasciocutaneous free flaps. *Plast Reconstr Surg.* 2009;123(2):525–532. doi: 10.1097/PRS.0b013e318196b9a3
- Imran Y, Zulmi W, Halim AS. Skin paddle as an indicator of the viability of vascularised fibular graft. *Singapore Med J.* 2004;45(3):110–112.
- Kääriäinen M, Halme E, Laranne J. Modern postoperative monitoring of free flaps. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2018;26(4):248–253. doi: 10.1097/MO0.0000000000000467
- Pellini R, Pichi B, Ruggieri M, et al. Venous flow-through flap as an external monitor for buried radial forearm free flap in head and neck reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2006;59(11):1217–1221. doi: 10.1016/j.bjps.2006.01.026
- Yoshimura M, Shimamura K, Iwai Y, et al. Free vascularized fibular transplant. A new method for monitoring circulation of the grafted fibula. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(9):1295–1301.
- Furuta S, Hataya Y, Ishigaki Y, Watanabe T. Monitoring the free radial forearm flap in pharyngo-oesophageal reconstruction. *Br J Plast Surg.* 1997;50(1):40–42. doi: 10.1016/s0007-1226(97)91281-9
- Al Qattan MM, Boyd JB. «Mini paddle» for monitoring the fibular free flap in mandibular reconstruction. *Microsurgery.* 1994;15(2):153–154. doi: 10.1002/micr.1920150213
- Tan NC, Shih HS, Chen CC, et al. Distal skin paddle as a monitor for buried anterolateral thigh flap in pharyngoesophageal reconstruction. *Oral Oncol.* 2012;48(3):249–252. doi: 10.1016/j.oraloncology.2011.09.015
- Stranix JT, Jacoby A, Lee ZH, et al. Skin Paddles Improve Muscle Flap Salvage Rates After Microvascular Compromise in Lower Extremity Reconstruction. *Ann Plast Surg.* 2018;81(1):68–70. doi: 10.1097/SAP.0000000000001425
- Dat AD, Loh IW, Brusino-Raiola F. Free-flap salvage: muscle only versus skin paddle — an Australian experience. *ANZ J Surg.* 2017;87(12):1040–1043. doi: 10.1111/ans.13522
- Golubev IO, Kukin IA, Merculov MV, et al. Free vascularized femoral condyle bone graft in treatment of tubular bone nonunions. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2019;26(2):19–23. (In Russ). doi: 10.17116/vto201902119
- Kukin IA, Golubev IO. Vascularized bone grafts from the distal third of the femur. Present state of the matter. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2018;25(1):66–71. (In Russ). doi: 10.17816/vto201825166-71
- Golubev IO, Sarukhanyan AR, Merkulov MM, et al. Surgery tactic in humeral nonunion. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2019;26(1):35–41. (In Russ). doi: 10.17116/vto201901135
- Cho BC, Shin DP, Byun JS, et al. Monitoring flap for buried free tissue transfer: its importance and reliability. *Plast Reconstr Surg.* 2002;110(5):1249–1258. doi: 10.1097/01.PRS.0000025286.03909.72
- Thorniley MS, Sinclair JS, Barnett NJ, et al. The use of near-infrared spectroscopy for assessing flap viability during reconstructive surgery. *Br J Plast Surg.* 1998;51(3):218–226. doi: 10.1054/bjps.1997.0145
- Chacha PB, Ahmed M, Daruwalla JS. Vascular pedicle graft of the ipsilateral fibula for non-union of the tibia with a large defect. An experimental and clinical study. *J Bone Joint Surg Br.* 1981;63-B(2):244–253. doi: 10.1302/0301-620X.63B2.7217150
- de Boer HH, Wood MB. Bone changes in the vascularised fibular graft. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(3):374–378. doi: 10.1302/0301-620X.71B3.2722923
- Doi K, Tominaga S, Shibata T. Bone grafts with microvascular anastomoses of vascular pedicles: an experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg Am.* 1977;59(6):809–815.
- Guo QF, Xu ZH, Wen SF, et al. Value of a skin island flap as a postoperative predictor of vascularized fibula graft viability in

extensive diaphyseal bone defect reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98(5):576–582. doi: 10.1016/j.otsr.2012.03.009

34. Korompilias AV, Paschos NK, Lykissas MG, et al. Recent updates of surgical techniques and applications of free vascularized fibular graft in extremity and trunk reconstruction. *Microsurgery.* 2011;31(3):171–175. doi: 10.1002/micr.20848

35. Lasaniano NG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Current management of long-bone large segmental defects. *Orthopaedics and Trauma.* 2010;24(2):149–163. doi: 10.1016/j.mporth.2009.10.003

36. Soucacos PN, Korompilias AV, Vekris MD, et al. The free vascularized fibular graft for bridging large skeletal defects of the upper extremity. *Microsurgery.* 2011;31(3):190–197. doi: 10.1002/micr.20862

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

* **Саруханян Анна Робертовна**, аспирант;
адрес: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: 0009-0009-8088-2309;
eLibrary SPIN: 6074-5170;
e-mail: annesr@mail.ru

Меркулов Максим Владимирович, д.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0004-9362-3449;
eLibrary SPIN: 4695-3570;
e-mail: mer-vika@mail.ru

Бушуев Олег Михайлович, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0002-0051-2666;
eLibrary SPIN: 9793-5486;
e-mail: bushuev_oleg@mail.ru

Ширяева Галина Николаевна, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
e-mail: hand-clinic@mail.ru

Кутепов Илья Александрович, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0001-3802-2577;
eLibrary SPIN: 6598-7387;
e-mail: kutepov_cito@mail.ru

Кузнецов Василий Дмитриевич, аспирант,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0003-1745-8010;
eLibrary SPIN: 4093-7566;
e-mail: Dr.kuznetsovvd@gmail.com

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

* **Anna R. Sarukhanyan**, traumatologist-orthopedist;
address: 6 Miklukho-Maklaya Str., 117198, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0009-8088-2309;
eLibrary SPIN: 6074-5170;
e-mail: annesr@mail.ru

Maksim M. Merkulov, MD, Dr. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist,
ORCID: 0009-0004-9362-3449;
eLibrary SPIN: 4695-3570;
e-mail: mer-vika@mail.ru

Oleg M. Bushuev, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0002-0051-2666;
eLibrary SPIN: 9793-5486;
e-mail: bushuev_oleg@mail.ru

Galina N. Shiryayeva, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
e-mail: hand-clinic@mail.ru

Ilya A. Kutepov, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0001-3802-2577;
eLibrary SPIN: 6598-7387;
e-mail: kutepov_cito@mail.ru

Vasily D. Kusnetsov, graduate student,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0003-1745-8010;
eLibrary SPIN: 4093-7566;
e-mail: Dr.kuznetsovvd@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321523>

Анатомически и функционально выгодные ориентиры при коррекции посттравматической деформации заднего отдела стопы: ретроспективное когортное контролируемое исследование

К.В. Шкуро, В.Т. Зейналов, И.А. Арапова, А.Н. Левин, Д.О. Васильев

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Тактика хирургической коррекции вальгусной деформации заднего отдела стопы, обычно включает в себя как костные, так и мягкотканые техники, определяющиеся тяжестью деформации. Одной из основных методик в комплексе хирургических техник коррекции подобных деформаций является медиализирующая остеотомия пяточной кости (МПО). Однако степень деформации у различных пациентов может значительно отличаться и, соответственно, используя вышеперечисленный принцип, степень послеоперационной коррекции пяточной кости может существенно варьироваться. По данным различных авторов, пациенты с недостаточной коррекцией оси пяточной кости имеют остаточную вальгусную деформацию заднего отдела стопы. Отсутствие же полноценной коррекции может привести к сохранению жалоб, а также к рецидиву корректируемой конечности.

Цель. Усовершенствовать оперативное лечение пациентов с посттравматической деформацией заднего отдела стопы.

Материалы и методы. Проведён анализ результатов лечения пациентов с посттравматической вальгусной деформацией пяточной кости, лечившихся в отделении травматологии и ортопедии №4 ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва) в период 2012–2020 гг. Все операции выполнялись двумя хирургами. Общее число пациентов — 60. Ретроспективному анализу с оценкой результатов были доступны 55 человек со сроками наблюдения более 12 мес с момента выполненного вмешательства. Из прооперированных пациентов 20 человек составили мужчины и 35 — женщины, средний возраст — 61,6 (18,5–40,7) года, средний срок наблюдения — 62 (18–80) мес.

Результат. Оценка функциональных результатов по шкале оценки функционального состояния стопы и голеностопного сустава FAOS показала значительное улучшение параметров в послеоперационном периоде по сравнению с предоперационным опросом, это было статистически значимо ($p < 0,05$). Среднее изменение субшкалы «Боль» по FAOS для группы «Варус» ($n=16$) составило 27,9 (диапазон от -8,3 до 63,9), для группы «Умеренный варус» ($n=17$) — 41,2 (диапазон от 5,6 до 66,7), для группы «Вальгусная деформация» ($n=18$) — 22,3 (диапазон от -58,3 до 63,9). Кроме того, пациенты группы «Умеренный варус» продемонстрировали более высокие клинические результаты, чем пациенты в группе «Вальгус», но эта разница не была статистически значимой ($p=0,11$). Не получено различий между группами в измерении показателей в субшкалах FAOS «Повседневная активность» ($p=0,26$), «Спортивная активность» ($p=0,06$) и «Качество жизни» ($p=0,17$).

Заключение. Пациенты в группе «Умеренным варус» после коррекции отметили лучший клинический результат, чем в группе «Вальгус» в субшкале «Боль» FAOS и также получили лучшие результаты, чем в группе «Варус» в субшкале «Другие симптомы» FAOS.

Ключевые слова: посттравматическая деформация пяточной кости; реконструкция; перелом пяточной кости; выравнивание заднего отдела стопы; остеотомия пяточной кости; подтаранный артродез.

Как цитировать:

Шкуро К.В., Зейналов В.Т., Арапова И.А., Левин А.Н., Васильев Д.О. Анатомически и функционально выгодные ориентиры при коррекции посттравматической деформации заднего отдела стопы: ретроспективное когортное контролируемое исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 15–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321523>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321523>

Anatomical and functional guidelines for the correction hindfoot malalignment

Konstantin V. Shkuro, Vadim T. Zeynalov, Irina A. Arapova, Andrey N. Levin, Dmitriy O. Vasilyev

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

ABSTRACT

BACKGROUND: The techniques for the surgical correction of a hindfoot valgus deformity usually include both bony and soft-tissue techniques, depending on the deformity severity. Medializing calcaneal osteotomy (MCO) is one of the main surgical techniques used to correct such deformities. However, the degree of deformity in different patients can vary significantly; thus, using the above principle, the degree of calcaneal postoperative correction can vary considerably. Based on data from various authors, patients with an insufficient correction of the heel bone axis have a residual valgus in the hindfoot. However, the lack of complete correction may result in the persistence of complaints and corrected limb recurrence.

OBJECTIVE: To improve the surgical treatment of hindfoot malalignment.

MATERIAL AND METHODS: The study analyzed treatment results of patients with ankle sprain in the Center Traumatology and Orthopedics (Moscow) between 2012 and 2020. All implantations were performed by two surgeons. The total number of patients is 60. Fifty-five patients with follow-up periods of over 12 months after the procedure were available for a retrospective analysis and assessment of results. The study enrolled 20 men and 35 women, with a mean age of 61.6 (18,5–40,7) years. The mean follow-up period is 62 (18–80) months.

RESULT: The mean change in the Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) pain subscale was 27.9 (range, –8.3 to 63.9) for the moderate varus group ($n=16$), 41.2 (range, 5.6–66.7) for the mild varus group ($n=17$), and 22.3 (range, –58.3 to 63.9) for the valgus group ($n=18$). In addition, patients with mild varus demonstrated better clinical outcomes than those with valgus; however, this difference was not statistically significant ($p=0.11$). No differences were found between groups in the change in scores for daily activities ($p=0.26$), sports activities ($p=0.06$), or quality of life ($p=0.17$) subscales of the FAOS.

CONCLUSION: Patients with mild varus hindfoot alignment showed significantly greater improvement than those with valgus with respect to the FAOS pain subscale and significantly greater improvement than those with moderate varus in the FAOS symptoms subscale.

Keywords: calcaneal malalignment; reconstruction; calcaneal fracture; hindfoot alignment; calcaneal osteotomy; subtalar arthrodesis

To cite this article:

Shkuro KV, Zeynalov VT, Arapova IA, Levin AN, Vasilyev DO. Anatomical and functional guidelines for the correction hindfoot malalignment. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):15–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321523>

Received: 21.03.2023

Accepted: 24.04.2023

Published: 05.06.2023

ВВЕДЕНИЕ

Требующие хирургической коррекции вальгусная деформация или вальгусное отклонение пяточной кости чаще всего наблюдаются в практике травматолога-ортопеда при приобретённой плоскостопной деформации взрослых (adult-acquired flatfoot deformity, AAFFD), начиная со II стадии. Нередко такая картина встречается при посттравматических вальгусных деформациях пяточной кости, где наряду с посттравматическим артрозом подтаранного сустава, имеет место комплекс деформаций разной степени ригидности, включая коллапс медиальной колонны стопы, отведение передней части стопы, подвывих с недокрытием суставной поверхности головки таранной кости в таранно-ладьевидном суставе, а также вальгусную установку заднего отдела стопы.

Эти изменения характеризуются схожей картиной при посттравматической и стато-динамической деформации как клинически, так и рентгенологически. Они являются результатом угловой вальгусной деформации, обуславливающей смежные деформации, а также дисфункцию сухожилия задней большеберцовой мышцы в сочетании с прогрессирующей недостаточностью связочного аппарата медиальной колонны, поддерживающего свод стопы, которые дополняют и усугубляют общую картину патологических изменений [1–5].

Тактика хирургической коррекции вальгусной деформации заднего отдела стопы обычно включает в себя как костные, так и мягкотканые техники, определяющиеся тяжестью деформации.

Одной из основных методик в комплексе хирургических техник коррекции подобных деформаций является медиализирующая пяточная остеотомия, МПО. Согласно обширному ретроспективному анализу, проведённому по данным клинических и рентгенологических исследований за последние 10 лет, а также данным литературы [3–6], МПО может быть использована для восстановления соосности сегментов стопы – голень, снижения нагрузки на медиальную колонну, а также нормализации нагрузки на таранно-ладьевидный сустав, улучшая или восстанавливая соотношение в последнем. Кроме этого, изменения положения ахиллова сухожилия в направлении функционирования, как инвертора пяточной кости, в комплексе всех перечисленных аспектов, приводят к значительному улучшению результатов лечения пациентов [7–12].

Несмотря на частое использование техники МПО при реконструкции вальгусной деформации заднего отдела стопы, имеется несколько устоявшихся принципов, определяющих объём выполняемого медиального смещения.

Наиболее часто встречающийся в литературе объём интраоперационного медиального смещения бугра пяточной кости составляет 10 мм. Существует также биомеханическое исследование, подтверждающее рациональность выбора данной величины [11, 13–19]. Несмотря

на это, степень деформации у различных пациентов может значительно отличаться и, соответственно, используя вышеперечисленный принцип, степень послеоперационной коррекции пяточной кости может существенно варьировать.

Кроме того, трудности в оценке степени коррекции пяточной кости в момент операции могут привести к тому, что объём выполняемой коррекции при схожих начальных показателях будет различаться у разных хирургов. Также отсутствие унифицированных показателей может обуславливать неприемлемые результаты хирургического лечения.

На основании данных различных авторов, пациенты с недостаточной коррекцией оси пяточной кости имеют остаточную вальгусную деформацию заднего отдела стопы. Отсутствие же полноценной коррекции может привести к сохранению жалоб, а также к рецидиву корректируемой конечности. С другой стороны, чрезмерная коррекция вальгусного отклонения может привести к избыточному давлению в области латеральной колонны стопы и вызвать дискомфорт у пациента в этой области [14, 20–22].

Анализ данных литературы отчётливо отражает связь между величиной смещения пяточной кости интраоперационно, во время МПО, и степенью коррекции деформации заднего отдела стопы после реконструкции. Несмотря на это, очевидным является тот факт, что оценка необходимого смещения бугра пяточной кости должна проводиться в ходе предоперационного планирования.

Изученные нами данные не дают ответа на следующие вопросы: на какие ориентиры необходимо равняться при предоперационном планировании, интраоперационно и при оценке клинических исходов [4, 23–25]. Мы надеемся, что это исследование поможет найти необходимые ответы.

Пациенты с посттравматической вальгусной деформацией пяточной кости, принявшие участие в нашем исследовании, последовательно прошли анкетирование, определяющее уровень физической активности как в до-, так и в послеоперационном периоде. Гипотеза, которую мы хотим подтвердить, основывается на нашем стойком убеждении, что лучшие результаты будут достигнуты у пациентов с коррекцией до небольшого варусного положения пяточной кости.

Цель исследования — определить взаимосвязь между степенью выполненной коррекции и результатом хирургического лечения, основываясь на шкале FAOS (Foot and Ankle Outcome Score).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное когортное контролируемое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- у всех пациентов присутствовали травма в анамнезе, а также вальгусное отклонение пяточной кости на фоне неправильно сросшегося перелома пяточной кости;
- в ходе оперативного вмешательства применялась техника МПО;
- всем пациентам проводили оценку уровня функциональной активности по шкале FAOS до операции и (22 мес и более) после неё;
- осуществлялась рентгенологическая оценка на сроках не менее 48 нед с момента операции.

Ряд пациентов были *исключены* из исследования, поскольку в ходе их лечения была выполнена реконструктивная операция на контралатеральной конечности, что, как мы посчитали, могло вызвать искажение результатов исследования. Несмотря на сомнения, мы включили в исследование пациентов с артродезом таранно-ладьевидного и подтаранного сустава, Cotton-остеотомией и транспозицией сухожилия длинного сгибателя пальцев на сухожилие задней большеберцовой мышцы, поскольку посттравматический характер патологии этой области в большинстве случаев подразумевает данные техники.

Условия проведения

Исследование было проведено в НИИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова (Москва) с января 2012 по декабрь 2020 года.

Методы оценки целевых показателей

Для оценки результатов вмешательства использовали клинический, инструментальный, статический метод. Все оперативные вмешательства по коррекции посттравматической вальгусной деформации пяточной кости в группе пациентов выполнялись двумя хирургами, имеющими опыт в области хирургии стопы и голеностопного сустава сроком не менее 5 лет.

Данные, используемые для исследования, включали антропометрические показатели, рентгенологические данные, пред- и послеоперационную оценку по FAOS.

Для анализа использованных дополнительных реконструктивных методик в ходе коррекции деформации, таких как МПО, артродез таранно-ладьевидного и/или подтаранного сустава, Cotton-остеотомия или транспозиция сухожилия длинного сгибателя пальцев на сухожилие задней большеберцовой мышцы, были изучены протоколы хирургических вмешательств.

В первоначальном поиске нами было проанализировано 60 клинических случаев. После исключения 5 пациентов ввиду описанных выше причин в исследование были включены 55 человек с посттравматической вальгусной деформацией пяточной кости на фоне неправильно сросшегося перелома.

Оценка результатов лечения

Клинические результаты лечения оценивали при помощи шкалы FAOS, определяющей уровень физической активности пациента. FAOS — это заполняемый пациентом субъективный опросник по оценке функционального состояния стопы и голеностопного сустава, который был впервые введён в практику для American Association of Franchisees and Dealers (AAFD), а в настоящее время широко распространён в большинстве стран мира [17, 26–29]. Опрос состоит из 42 вопросов, сгруппированных по пяти направлениям (субшкалам): боль, другие симптомы различного характера, повседневная деятельность, занятия спортом и собственная оценка качества жизни. Пациенты самостоятельно оценивают степень выраженности тех или иных признаков, таких как отсутствие, легкое проявление, умеренно выраженные, тяжёлые или экстремально (чрезвычайно) беспокоящие симптомы. Кроме того, частота проявления симптомов также имеет градацию: 1) никогда, редко, иногда, часто или всегда; 2) никогда, ежемесячно, еженедельно, ежедневно или всегда. Опрос оценивается от 0 (экстремально выраженные симптомы) до 100 баллов (отсутствие симптомов) для каждой из групп (субшкалы). При этом подсчёт общего балла (сумма данных всех субшкал) не осуществляется. Для контроля вариабельности внутри каждого направления расчёт по FAOS производят как в пред-, так и в послеоперационном периоде.

Предоперационная FAOS-оценка каждого пациента проводилась по возможности как можно ближе к моменту реконструктивной операции. В послеоперационном периоде с целью определения наиболее достоверных результатов оперативного лечения опрос пациентов осуществляли в сроки от 22 мес с момента операции.

Поскольку пациенты не обязаны отвечать на каждый вопрос в опросе FAOS, если они считают, что конкретные вопросы по каким-либо причинам неприменимы, число набранных баллов в отдельно взятых направлениях может варьировать между пациентами, что приводит к различиям в числе пациентов, включённых в анализ для каждой группы по направлениям оценки результатов (табл. 1).

Другие техники, применяемые нами в ходе реконструктивной операции, включали артродез таранно-ладьевидного сустава ($n=28$), артродез подтаранного сустава ($n=39$), Cotton-остеотомию ($n=19$) и транспозицию сухожилия длинного сгибателя пальцев — FDL ($n=5$; табл. 2).

Рентгенологическая оценка

Для определения рентгенологически измеряемого результата послеоперационной коррекции оси пяточной кости мы использовали методику, ранее описанную Saltzman и el-Khoury [24]. Подводя итог, можно сказать, что hindfoot moment arm, или направление смещения (положения) оси пяточной кости, определяется как кратчайшее расстояние

Таблица 1. Число пациентов после коррекции деформации заднего отдела стопы, которые были анкетированы по FAOS***Table 1.** Number of patients after hindfoot deformity correction who were surveyed by FAOS*

Hindfoot moment arm	Число	Отсутствие боли	Отсутствие симптомов	Ограничений ежедневной активности нет	Ограничений спортивной активности нет	Ограничений по качеству жизни нет
«Вальгус» (вальгизация ≥ 0 мм)	18	18	18	18	9	18
«Умеренный варус» (>0 до 5 мм варусного отклонения)	17	17	16	15	12	17
«Варус» (>5 мм варусного отклонения)	20	16	19	19	17	20

Примечание. * Пациенты не обязаны отвечать на все вопросы, и, следовательно, некоторые из них могут не иметь баллов по каждой субшкале.

Note. *Patients are not required to answer all questions and therefore some patients may not score on each subscale.

Таблица 2. Демографические характеристики пациентов и применённые дополнительные хирургические техники в соответствии с распределением по группам исследования**Table 2.** Demographic characteristics of patients and applied additional surgical techniques in accordance with the distribution by study groups

Hindfoot moment arm	Общее число	ИМТ	Средний возраст, лет	Мужчины, %	Артродез подтаранного сустава, <i>n</i>	Артродез таранно-ладьевидного сустава, <i>n</i>	Cotton-остеотомия, <i>n</i>	Транспозиция FDL, <i>n</i>
«Вальгус» (вальгизация ≥ 0 мм)	18	27,8	60,5	50,0	15	13	4	2
«Умеренный варус» (>0 до 5 мм варусного отклонения)	17	29,0	61,9	29,4	9	9	6	3
«Варус» (>5 мм варусного отклонения)	20	27,7	61,3	30,0	6	6	9	0

Примечание. ИМТ — индекс массы тела.

Note. ИМТ — body mass index.

между осью большеберцовой кости и наиболее дистальной точкой пяточной кости (рис. 1, *a* и *b*).

Вышеописанное измерение было выбрано на основании надёжности метода, многократно подтверждённой изученными нами научными работами. Все рентгенограммы были сделаны спустя 24 нед с момента операции.

Результаты измерения послеоперационного положения оси пяточной кости (hindfoot moment arm) были разделены нами на 3 группы в зависимости от полученных данных: вальгусная (вальгизация ≥ 0 мм, $n=18$), умеренно-варусная (>0 до 5 мм варусного отклонения, $n=17$) и варусная (>5 мм варусного отклонения, $n=20$).

Ввиду отсутствия данных литературы, дающих чёткое определение диапазона нормального положения оси пяточной кости, разделение пациентов на описанные выше группы позволяет проверить нашу гипотезу, главной целью которой является подтверждение лучших клинических результатов при ориентации оси пяточной кости в умеренном варусном положении. Несмотря на убежденность в справедливости гипотезы, в ходе исследования были приняты во внимание возможные проблемы в виде чрезмерной или недостаточной коррекции оси пяточной кости. Первоначально все прооперированные пациенты

были разделены на 2 группы: варусное и вальгусное положение пяточной кости. Однако взяв во внимание тот факт, что тяга ахиллова сухожилия в совокупности с тягой задней большеберцовой мышцы может увеличить инверсию пяточной кости в случаях, когда наиболее дистальная точка пяточной кости находится медиальнее средней оси большеберцовой кости, чрезмерная варусная коррекция с избыточным медиальным смещением бугра пяточной кости может привести к отрицательным результатам по причине перерастяжения латеральных мягкотканых структур в области голеностопного сустава и перегрузки наружного края стопы. С учётом этого обстоятельства, пациенты с варусным положением пяточной кости после коррекции были дополнительно разделены на 2 подгруппы: умеренно-варусного положения и варусного положения.

Хирургическая техника

Как было описано ранее, все оперативные вмешательства в этой группе выполнялись двумя хирургами, имеющими опыт в области хирургии стопы и голеностопного сустава сроком не менее 5 лет. Реконструкция включала как изолированно МПО ($n=16$), так и комбинации МПО с артродезом таранно-ладьевидного сустава

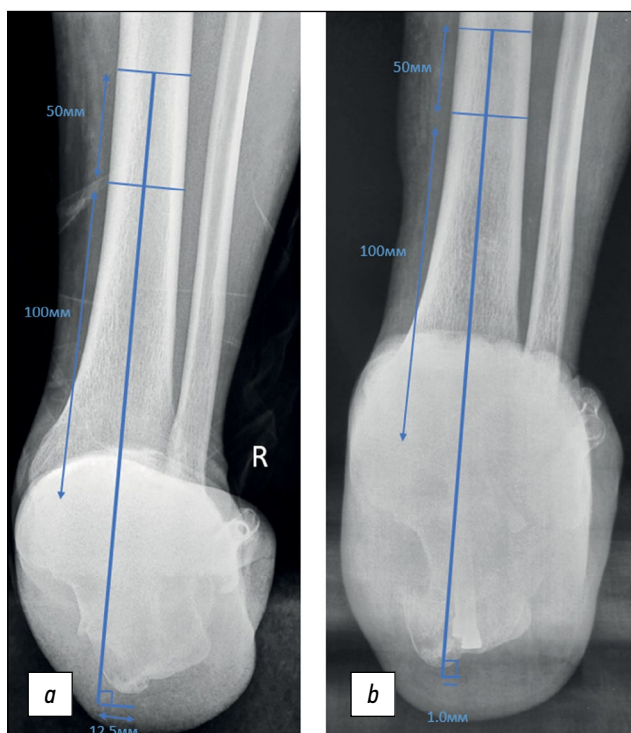


Рис. 1. (а) До- и (б) послеоперационный снимок. Результат коррекции оси заднего отдела стопы (hindfoot moment arm). Измерения на рентгенограммах, выполненных в проекции Зальцмана, определяются как кратчайшее расстояние от средней оси большеберцовой кости до самого дистального аспекта пяточной кости.

Fig. 1. (a) Before and (b) postoperative X-ray. The result of hindfoot moment arm correction. Measurements on radiographs taken in the Saltzman projection are defined as the shortest distance from the medial axis of the tibia to the most distal aspect of the calcaneus.

($n=28$), артродезом подтаранного сустава ($n=39$), Cotton-osteотомией ($n=19$) и транспозицией сухожилия длинного сгибателя пальцев (FDL) ($n=5$).

Техника медиализирующей пяточной остеотомии (МПО)

Мы выполняем технику МПО, используя латеральный косой доступ, осуществляемый на 1 см дистальнее верхушки наружной лодыжки. Несмотря на то, что разрез производится на всю толщину мягких тканей до кости, во избежание излишней мобилизации и расслоения краёв раны с учётом анатомических особенностей кровоснабжения в этой области, мы тщательно проводим мобилизацию и защиту ветвей икроножного нерва. Однако, учитывая то, что может встречаться осложнение в виде повреждения ветвей икроножного нерва, мы всегда предупреждаем пациентов о возможном онемении в зоне иннервации этого нерва после операции. Мягкие ткани же на момент выполнения остеотомии необходимо защищать инструментарием, со стороны подошвенной поверхности пяточной кости и со стороны ахиллова сухожилия. Плотной осцилляторной пилы располагается под прямым углом к кортикальному слою кости.

При выполнении остеотомии медиального кортикального слоя, нужно быть очень осторожными во избежание повреждения мягких тканей. Нередко мы используем остеотом или тонкое долото для «доламывания» зоны остеотомии медиального края пяточной кости. После выполнения остеотомии мы выполняем слайд-дислокацию бугра пяточной кости медиально в плоскости остеотомии на заранее определённую величину (как правило, наиболее часто она составляет 10–12 мм). Фиксация отломков в заданном положении осуществляется канюлированным винтом диаметром от 5 до 7,5 мм, в зависимости от анатомической величины пяточной кости пациента.

Другие техники, применяемые нами в ходе реконструктивной операции, включали с артродез таранно-ладьевидного сустава ($n=28$), артродез подтаранного сустава ($n=39$), Cotton-osteотомию ($n=19$) и транспозицию сухожилия длинного сгибателя пальцев — FDL ($n=5$; см. табл. 2).

Артродезирование таранно-ладьевидного сустава

Артродезирование таранно-ладьевидного сустава — весьма распространённая хирургическая техника для коррекции и стабилизации медиальной колонны стопы.

Для выполнения доступа к таранно-ладьевидному суставу мы используем стандартный тыльно-медиальный доступ, который хорошо зарекомендовал себя и на своём пути не несёт опасностей повреждения значимых структур. После выхода на область сустава и произведения артротомии мы сохраняем место прикрепления сухожилия задней большеберцовой мышцы. Следует отметить, что артроархитектоника суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава имеет крайне неудобное для обработки строение. Однако несмотря на это, мы не склонны менять тактику хирургической пластики, поскольку изменение последней ведет к укорочению медиальной колонны. В нашей практике мы используем дистракторы различного типа, но более всего зарекомендовал себя дистрактор Хинтермана, применяемый нами наиболее часто. После обработки суставных поверхностей мы проводим необходимую коррекцию на уровне описываемого сустава в положении плантарфлексии и инверсии с предварительной фиксацией полученной коррекции спицей. Для окончательной фиксации используются винты диаметром от 3,5 до 5,0 мм, а также компрессирующие пластины и скобы.

Говоря о технике артродезирования таранно-ладьевидного сустава, необходимо заострить внимание на сохранности пяточно-кубовидного сустава. По нашему мнению, этот аспект является крайне важным, поскольку позволяет сохранить мобильность латеральной колонны стопы. Даже учитывая тот факт, что развитие артроза пяточно-кубовидного сустава происходит после перелома пяточной кости в 40% случаев, мы крайне осторожно подходим к его закрытию и делаем это только в тех случаях, когда его сохранение невозможно.

Мы отдаем себе отчёт, что эти степени свободы в пяточно-кубовидном суставе значительно сокращаются после артродезирования таранно-ладьевидного сустава, но даже в небольшой амплитуде имеют крайне важное значение для стопы.

Артродезирование таранно-пяточного сочленения (подтаранного сустава)

Артродезирование таранно-пяточного сочленения (подтаранного сустава) — самая частая хирургическая техника при лечении последствий травм (переломов) пяточной кости, особенно внутрисуставных, многооскольчатых со смещением (Sanders III, Sanders IV).

Хирургический доступ к подтаранному суставу может быть осуществлен с 3 направлений. Наиболее часто применяемым является наружный (латеральный) доступ, который хорошо комбинируется с МПО. Также используется задний доступ, который в практике применяют крайне редко, исключительно для одномоментного артродеза голеностопного и подтаранного сустава специальными премоделированными задними металлоконструкциями (опорными пластинами). И последний — внутренний (медиальный) доступ — как нельзя лучше подходит для *medial single approach*. Мы используем этот доступ, если необходимо одновременное вмешательство на подтаранном и таранно-ладьевидном суставе. Однако последний из описанных доступов крайне неудобен для выполнения МПО. Таким образом, наружный доступ был выбран нами в большинстве случаев как наиболее рациональный.

При выполнении наружного доступа к подтаранному суставу для выполнения артродеза и предполагаемой в комплексе с ним МПО мы советуем продлить разрез проксимально и дистально, проекция разреза кожи соответствует проекции подтаранного сустава от уровня тарзального синуса до бугра пяточной кости, не доходя до края ахиллова сухожилия; при этом следует стараться придерживаться проекции малоберцовых сухожилий.

После разреза кожи необходима ревизия области прохождения *n. suralis* для нивелирования его ятрогенного повреждения. Далее рекомендуется мобилизовать и выделить сухожилия короткой и длинной малоберцовой мышцы, после чего капсулу сустава вскрывают, и при помощи дистракторов (*IngeLaminaSpreaders*, *Hintermann* и т.п.) осуществляют доступ к суставным поверхностям. Первоочередно требуется пересечь пяточно-таранную связку или её оставшиеся фрагменты, чтобы улучшить дистракцию и визуализацию данной области для более эффективной работы. После всех вышеописанных манипуляций остатки суставного хряща при необходимости удаляют при помощи долот различной величины.

Создав все условия для консолидации костных элементов, следует приступить к фиксации. Однако в случае, если необходимо дополнить коррекцию хирургическими манипуляциями, такими как костная пластика (для

формирования дистракционного артродеза) или остеотомия пяточной кости и прочие, их необходимо выполнять перед фиксацией компонентов кости, поскольку винты фиксируют одновременно все этапы операции, выполненные ранее. В своей практике мы в основном используем канюлированные винты *handless* с полной нарезкой и компрессирующие по типу Герберта диаметром от 5,0 до 7,5 мм.

Методика остеотомии Cotton

Эта техника является незаменимой при коррекции супинационной установки переднего отдела стопы и в отдельных случаях — при коррекции посттравматической деформации. Остеотомия может значительно сократить нагрузку на таранно-ладьевидный сустав. Помимо этого, поскольку сама операция является внесуставной, её ценность сложно переоценить.

Cotton-osteotomy выполняют при помощи дорсального доступа, в проекции первой клиновидной кости. Доступ осуществляют к кости, мобилизуя и отодвигая в сторону сухожилие длинного разгибателя 1-го пальца. Далее необходимо оценить границы медиальной клиновидной кости, произвести её остеотомию с сохранением подошвенного кортикального слоя. После требуется определиться с величиной открытого угла остеотомии и с предварительной фиксацией полученной коррекции спицами. Постоянная же фиксация (накостный остеосинтез) достигается при помощи специализированных (анатомических) пластин для открытоугольной остеотомии медиальной клиновидной кости. Образовавшийся в результате остеотомии дефект заполняют аутоотрансплантатом (как правило, из бугра пяточной кости). Этап заполнения дефекта проводят после установки металлоконструкции.

Техника транспозиции длинного сгибателя пальцев (FDL)

Хирургический доступ осуществляют по медиальной поверхности стопы и голеностопного сустава от медиального полюса ладьевидной кости, в проксимальном направлении, через влагалище сухожилия задней большеберцовой мышцы (*posterior tibial tendon*, РТТ). При мобилизации последнего необходимо оценить сухожилие и степень его состоятельности. Оценка состояния позволяет определить целесообразность изолированной пластики сухожилия путём его насбаривания и армирования шовным материалом или же необходимость в транспозиции FDL. Понимание состояния сухожильно-мышечных структур, а также выбор метода должны быть очевидны уже на этапе предоперационного планирования.

Выявить повреждение РТТ не так просто даже интраоперационно, поскольку оно располагается по задней поверхности сухожилия и требует детальной визуализации на всём его протяжении.

Сухожилие FDL максимально выводят в рану и отсекают как можно дистальнее. Некоторые авторы советуют

подшивать проксимальный конец дистального фрагмента сухожилия к сухожилию FHL (*flexor hallucis longus*). Мы, как и большинство авторов, не приветствуем подобный совет, поскольку риск травматичности превышает какую-либо значимую пользу от этой манипуляции в послеоперационном наблюдении. Кроме того, достоверно известно, что отсечение сухожилия проксимальнее узла Генри (knot Henry) в дальнейшем приводит к синхронной работе всех пальцев стопы без ощутимой для пациента потери силы подошвенного сгибания.

Далее в теле ладьевидной кости ближе к её медиальному полюсу сверлом диаметром 4,5 мм в перпендикулярном направлении к аксиальной проекции формируют костный канал. Дистальный конец проксимального фрагмента FDL проводится в натяжении в образованный канал с подошвенной стороны, после чего сухожилие фиксируют биоинтерферентным винтом в костном канале.

Большое значение имеет, в каком натяжении удерживается сухожилие FDL в момент наложения шва (мы используем максимально возможное). Однако существует мнение, что оптимально использовать нечто среднее между максимально расслабленным и максимально натянутым, мы считаем этот подход разумным и не опровергаем его.

Статистический анализ

Дисперсионный анализ (ANOVA) был использован для сравнения изменения по субшкалам FAOS между 3 исследуемыми группами. Статистически значимые величины, выявленные с помощью ANOVA, оценивали с применением диапазона Tukey, чтобы определить, какая из групп больше отличается от других. Этот метод позволил идентифицировать те группы пациентов после МПО, которые имели значительно отличающиеся изменения в любой из субшкал FAOS.

Аналогичным образом предоперационные баллы по отдельным субшкалам FAOS сравнивали между группами, чтобы проверить, имелись ли существенные различия на дооперационном этапе. ANOVA также применяли для изучения любых различий между 3 группами относительно ИМТ или возраста, а также дооперационных рентгенологических измерений, таких как недопокрытие головки таранной кости в таранно-ладьевидном суставе (incongruency angle), угол покрытия суставной поверхности головки таранной кости (talonavicular coverage angle) и патологический угол между осями первой плюсневой и осью таранной кости (AP first talometatarsal angle) на прямой проекции стопы, выполненной стоя. Для определения особенностей в гендерном составе между группами использовали критерий χ^2 .

В процессе исследования необходимо было учесть, что возможность различий в изменениях по субшкалам FAOS между группами обусловлена самой величиной дислокации пяточного бугра, а не окончательным положением пяточной кости при оценке послеоперационного

результата; исключая эту возможность, была исследована взаимосвязь между числом выполненных МПО и субшкалами FAOS.

Для пациентов с известной величиной дислокации пяточного бугра, зафиксированной в протоколе операции ($n=41$), были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, чтобы определить, существует ли какая-либо корреляция между этим показателем и субшкалами FAOS.

И, наконец, применение сопутствующих техник (артродез таранно-ладьевидного сустава, артродез подтаранного сустава, Cotton-остеотомия и транспозиция сухожилия длинного сгибателя пальцев — FDL) было учтено, чтобы проанализировать, повлияли ли конкретные дополнительные операционные техники на баллы FAOS. Для каждой вышеуказанной техники пациентов разделили на подгруппы в зависимости от того, была она у них выполнена или нет. Изменения в баллах FAOS сравнивали между 2 группами с использованием критерия суммы рангов Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники (объекты) исследования

В процесс окончательной оценки вошли 55 стоп (26 правых, 29 левых) 55 пациентов, которые полностью соответствовали обозначенным выше критериям включения.

В исследовании приняли участие 20 мужчин и 35 женщин, средний возраст которых составил 61,6 года (от 18,5 до 40,7 лет), а средний ИМТ — 26,8 (от 18,5 до 40,7).

Между группами не обнаружено статистически значимых различий по ИМТ, полу и возрасту (см. табл. 2).

Кроме этого, предоперационные измерения степени недопокрытия головки таранной кости (incongruency angle), угла покрытия суставной поверхности головки таранной кости (talonavicular coverage angle) и угла между осью таранной кости и осью первой плюсневой кости на прямой проекции стопы стоя (AP first talometatarsal angle) между группами hindfoot moment arm существенно не различались, что указывает на аналогичную предоперационную абдукционную деформацию (табл. 3).

Основные результаты исследования

Послеоперационные контрольные рентгенограммы после коррекции деформации пяточной кости были выполнены в среднем через 23,5 мес (диапазон от 12 до 47 мес), а баллы FAOS были получены в среднем через 3,1 года (диапазон от 1,8 до 4,4 года) после операции.

В результате анализа полученных данных мы установили статистически значимые различия в субшкалах «Боль» и «Другие симптомы». Среднее изменение субшкалы «Боль» по FAOS для группы «Варус» ($n=16$) составило 27,9 (диапазон от -8,3 до 63,9), для группы «Умеренный варус» ($n=17$) — 41,2 (диапазон от 5,6 до 66,7),

Таблица 3. Предоперационные рентгенологические измерения. Статистически значимых различий между 3 группами не выявлено
Table 3. Preoperative radiographic measurements. No statistically significant differences were found between the three groups

Hindfoot moment arm	Общее число, <i>n</i>	Incongruency angle (предоперационно, в градусах)	Talonavicular coverage angle (предоперационно, в градусах)	AP First talometatarsal angle (предоперационно, в градусах)
«Вальгус» (вальгизация ≥ 0 мм)	18	43,4 (от -75,9 до 147,6)	33,0 (от 4,8 до 69,6)	17,0 (от -24,0 до 36,4)
«Умеренный варус» (>0 до 5 мм варусного отклонения)	17	25,3 (от -42,4 до 91,0)	27,2 (от 2,9 до 36,0)	12,6 (от -3,5 до 35,8)
«Варус» (>5 мм варусного отклонения)	20	9,2 (от -92,6 до 92,0)	26,1 (от 1,6 до 40,6)	12,8 (от -11,5 до 32,9)

для группы «Вальгусная деформация» ($n=18$) — 22,3 (диапазон от -58,3 до 63,9).

Тесты Post-hoc Tukey (апостериорный критерий Тьюки) показали, что у пациентов с коррекцией заднего отдела стопы на умеренный варус наблюдались значительно более лучшие показатели субшкалы боли FAOS по сравнению с пациентами с остаточной вальгусной деформацией ($p=0,04$).

Несмотря на тот факт, что среднее изменение в субшкале «Боль» по FAOS было выше при умеренном варусе, чем при варусе, имеющиеся различия не могут быть оценены как значительные ($p=0,20$).

Для субшкалы «Другие симптомы» по FAOS среднее изменение баллов для группы «Варус» ($n=19$) составило 6,6 (диапазон от -40,7 до 46,4), для группы «Умеренный варус» ($n=16$) — 25,9 (диапазон от 3,6 до 78,6), для группы «Вальгус» ($n=18$) — 11,0 (диапазон от -32,1 до 46,4). Пациенты, получившие коррекцию до положения «Умеренный варус», продемонстрировали значительно большее улучшение в субшкале «Другие симптомы», чем пациенты в группе «Варус» ($p=0,03$). Кроме того, пациенты с умеренным варусом показали более высокие клинические результаты, чем пациенты в группе «Вальгус», но эта разница не была статистически значимой ($p=0,11$).

Не было зарегистрировано различий между группами в измерении показателей в субшкалах FAOS «Повседневная активность» ($p=0,26$), «Спортивная активность» ($p=0,06$) и «Качество жизни» ($p=0,17$). Однако следует отметить, что среднее значение изменения баллов у пациентов в группе «Умеренный варус» было не ниже, чем у пациентов в группе «Вальгус» или «Варус» для любой из подшкал.

Также не зафиксировано различий между группами в предоперационном FAOS по всем субшкалам ($p > 0,10$ для всех исследований).

Ни одна из дополнительных техник (артродез таранно-ладьевидного сустава, артрорез подтаранного сустава, Cotton-остеотомия и транспозиция сухожилия длинного сгибателя пальцев FDL), выполненных во время реконструкции, не показала значимой связи с изменением показателей FAOS ($p > 0,05$ для всех анализируемых субшкал).

В заключении статистического исследования мы оценили корреляцию объема дислокации пяточного бугра интраоперационно, в момент выполнения МПО. Этот показатель был достоверно зарегистрирован у 41 пациента. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена показали, что объем МПО, выполненный интраоперационно, не коррелировал ни с одной из подшкал FAOS (все $p > 0,10$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Пациенты в группе «Умеренным варус» после коррекции отметили лучший клинический результат, чем в группе «Вальгус» в субшкале «Боль» FAOS и также получили лучшие результаты, чем в группе «Варус» в субшкале «Другие симптомы» FAOS.

Учитывая то, что одним из основных показаний к реконструкции посттравматической деформации пяточной кости является облегчение боли, и симптомов (по FAOS), эти подшкалы являются важным ориентиром для оценки качества проведенного лечения. Кроме того, ни в одном из подшкал в группе «Вальгус» или «Варус» не был отмечен результат лучше, чем в группе «Умеренный варус».

Обсуждение основного результата исследования

В своей работе в 1971 году Koutsogiannis представил концепцию МПО в комплексном хирургическом лечении плоско-вальгусной деформации стопы, согласно которой он рекомендовал дислоцировать бугор пяточной кости медиально от одной трети до половины ширины пяточной кости [16]. В более поздних исследованиях после тщательных количественных и качественных оценок этих рекомендаций было предложено смещать бугор пяточной кости примерно на 10 мм медиальнее [1, 11, 13, 19, 20]. Возвращаясь к практике хирургов, наша работа может быть использована для оценки соответствующего количества медиального смещения бугра пяточной кости во время реконструкции посттравматической вальгусной деформации пяточной кости.

Chan и соавт. в 2013 году описали модель, связывающую количество выполняемых МПО и изменение hindfoot moment arm. Их результаты показали, что каждый миллиметр медиального смещения в операционной соответствовал примерно 1,5 мм послеоперационной рентгенологической коррекции hindfoot moment arm [4].

Технически дислокация бугра пяточной кости интраоперационно измеряется с помощью линейки: от латерального края проксимального сегмента пяточной кости до латерального края смещённого дистального сегмента пяточной кости после остеотомии. Определение величины смещения бугра пяточной кости, необходимого для каждого отдельного пациента, зависит от знания того, где должно быть искомое положение бугра пяточной кости в результате проведённой операции. Наше исследование убедительно доказывает, что оптимальное выравнивание оси пяточной кости — от нейтрального (0°) до 5° варусного положения. Следовательно, если хирург измеряет предоперационный hindfoot moment arm и определяет величину от предоперационной деформации до оптимального послеоперационного положения оси пяточной кости, то он, соответственно, может рассчитать величину интраоперационного смещения бугра пяточной кости, необходимого для достижения наилучшего клинического результата. Так, например, если предоперационный hindfoot moment arm у пациента составляет 4 мм вальгусной деформации, то, на основании результатов нашего исследования (в дополнение к работе Chan и соавт., упомянутой выше), предполагается, что пациенту потребуются дислоцировать бугор пяточной кости интраоперационно, после МПО, примерно на 4 мм, чтобы достичь оптимального положения hindfoot moment arm, и это в данном случае приведёт к окончательному выравниванию оси пяточной кости в умеренном варусе около 2 мм.

Учитывая всё вышесказанное, хирург мог бы использовать следующую формулу для прогнозирования необходимого объёма интраоперационного медиального смещения бугра пяточной кости:

$$1,5 \times (\text{величина дислокации бугра пяточной кости, мм}) = \\ = (\text{предоперационный hindfoot moment arm}) - \\ - (\text{послеоперационный hindfoot moment arm})$$

При hindfoot moment arm при вальгусной деформации он положительный, а при варусной — отрицательный.

Несмотря на то, что предоставленное уравнение было подтверждено путём сравнения объёма выполненной дислокации бугра пяточной кости с положением послеоперационной коррекции оси пяточной кости, мы до настоящего времени находимся в процессе его тестирования для достижения количественного и, соответственно, статистически более неопровержимого заключения. Таким образом, клиницисты могут использовать это уравнение только в качестве дополнительной оценки и ориентировочного предоперационного планирования и подтверждать желаемое положение оси пяточной кости в операционной,

поднимая нижнюю конечность с нейтральным положением стопы и визуально контролируя и сопоставляя заднюю часть стопы с осью голени.

Насколько нам известно, в отечественной литературе до настоящего времени не сообщалось об оптимальном положении пяточной кости после реконструкции её постравматической деформации, и на основании нашего опыта мы с уверенностью можем предостеречь, что важно не путать клинический варус заднего отдела стопы с рентгенологическим варусным отклонением пяточной кости на проекции Зальцмана (рис. 2, *a* и *b*).

Таким образом, с клинической точки зрения прямая ось пяточной кости, скорее всего, представляет собой умеренный рентгенологический варус, как показано на рис. 2, *b*. Именно эта группа пациентов и показала лучшие результаты в настоящем исследовании.

Пациенты, у которых варусное положение заднего отдела стопы определяется клинически, с высокой долей вероятности будут находиться в группе «Варус» при рентгенологическом обследовании, и в нашей работе у них не было зафиксировано аналогичных по значимости положительных результатов. Анализируя проделанную



Рис. 2. Послеоперационное (а) рентгенологическое (проекция Зальцмана) и (б) клиническое обследование (положение стоя на оперированной стопе), коррекция деформации с тенденцией на варус 3,8 мм (умеренно-варусное положение) на рентгенологических измерениях. Клинически — ось ближе к нейтральной, без видимого варусного отклонения.

Fig. 2. Postoperative (a) radiographic (Salzman projection) and (b) clinical examination (standing position on the operated foot) deformity correction with a tendency to varus 3.8 mm (moderate-varus position) on radiographic measurements. Clinically, the axis is closer to neutral, without visible varus deviation.

работу, в настоящее время мы стремимся к клинически прямому (нейтральному) положению оси пяточной кости (умеренный рентгенологический варус).

Исправляя положение оси пяточной кости в положении умеренного варуса с помощью техники МПО, мы, в том числе, создаём статическую поддержку арке медиальной колонны стопы, стабилизируя заднее большеберцовое сухожилие (в случае сохранённого таранно-ладьевидного сустава) путём позиционирования ахиллова сухожилия для натяжения в варусном направлении как инвертора, тем самым мы улучшаем работу сустава Шопара в конечной фазе шага [11, 28].

Это предположение потенциально может улучшить результаты лечения пациентов. Сравнительно схожая корреляция результатов была получена Mani и соавт. при хирургической коррекции adult acquired flatfoot deformity (AAFD) II стадии, где умеренное варусное положение заднего отдела стопы также продемонстрировало более положительные результаты в послеоперационной оценке во всех субшкалах FAOS по сравнению с нейтральным положением [17]. В сравнении с обратной ситуацией, недостаточная коррекция положения заднего отдела стопы с остаточным избыточным вальгусным положением может привести к стойким симптомам, схожим с симптомами AAFD [13].

Пациенты, у которых наблюдается остаточная послеоперационная вальгусная деформация заднего отдела стопы, могут продолжать страдать от недостаточности ахиллова сухожилия ввиду его гипернатяжения и высоких нагрузок вдоль медиальной колонны стопы, о чём и свидетельствует их не столь выраженное улучшение в сравнительной послеоперационной оценке по субшкале боли FAOS.

Рассматривая пациентов из группы «Варус», мы отметили следующее: может наблюдаться чрезмерная инверсия стопы, которая в свою очередь приводит к увеличению нагрузки вдоль медиальной (наружной) колонны, а более высокие нагрузки на эту область стопы могут привести к усилению симптомов дискомфорта или боли. Аналогичные результаты были получены и при хирургическом лечении AAFD II в случаях применения методики lateral column lengthening (LCL) [6]. Мы считаем, что в случаях с нашими пациентами это может объяснить значительно меньшее улучшение в субшкале симптомов FAOS для пациентов с послеоперационным варусным положением заднего отдела стопы (группа «Варус») по сравнению с пациентами с умеренным варусным положением в соответствующей группе.

Несмотря на то, что FAOS является всеобъемлющим инструментом оценки результатов лечения и может быть прецизионным по всем аспектам жизнедеятельности, не все подшкалы этого опросника могут оказаться полностью приемлемыми для наших пациентов. В частности, большинство пациентов, участвовавших в нашем исследовании, часто считали, что шкала спортивной активности

для них неприемлема, о чём свидетельствует малое число исследуемых ($n=38$) для этой категории.

Пациенты, перенёвшие реконструкцию посттравматической деформации заднего отдела стопы, как правило, имеют хорошее функциональное улучшение в целом. Это можно объяснить тем, что подшкалы качества жизни и повседневной активности не показывают статистически значимых различий между группами исследуемых пациентов. Кроме того, объём выполненной медиализации не показал никакой корреляции с улучшением результатов FAOS. Это говорит о том, что медиализирующая пяточная остеотомия не может быть унифицирована, а, напротив, должна быть адаптирована к предоперационной деформации каждого отдельного пациента.

Поскольку реконструкция посттравматической деформации заднего отдела стопы может включать в себя несколько сопутствующих техник, из представленных нами (артродез таранно-ладьевидного сустава, Cotton-osteotomy и транспозиции сухожилия длинного сгибателя пальцев FDL), они потенциально могут повлиять на послеоперационную коррекцию деформации заднего отдела стопы и клинические результаты в дополнение к МПО. В задачи нашего исследования не входило определить, насколько дополнительные техники могут повлиять на коррекцию деформации заднего отдела стопы, хотя предыдущее исследование, проведённое Chan и соавт. предполагает, что степень коррекции деформации заднего отдела стопы в первую очередь определялась величиной МПО [4]. Беря во внимание исследование Chan и соавт., настоящее исследование было больше сосредоточено на клинических результатах, и наши результаты не выявили никакой связи между сопутствующими техниками и показателями FAOS (все значения $p > 0,05$). Изученные нами работы касались исследования коррекции AAFD, они показали, что послеоперационная коррекция заднего отдела стопы остаётся неизменной через 3 мес и более после операции [20, 21]. Таким образом, экстраполируя и сопоставляя результаты нашего исследования и результаты наших коллег в работах по хирургическому лечению пациентов с плоско-вальгусной деформацией, при AAFD II стадии пролонгация результатов прежде всего определяется правильно выбранной тактикой коррекции имеющейся деформации.

В своём исследовании мы определили диапазон коррекции оси заднего отдела стопы, соответствующий более высоким клиническим результатам, измеренным при помощи FAOS. По итогам выполненного анализа мы считаем, что рентгенологический диапазон коррекции заднего отдела стопы при умеренно варусном положении (>0 до 5 мм варусного отклонения), который соответствует клиническому положению в нормопозиции заднего отдела стопы, представляет собой оптимальное положение результата коррекции.

Ограничения исследования

Наше исследование было ограничено ретроспективной оценкой и относительно небольшим числом наблюдений. Изначальные условия, включающие контрольные рентгенограммы на 48-й нед и минимум 22-месячный срок наблюдения за клиническими результатами, ещё больше сократили число вошедших в исследование пациентов. Дополнительное число участников могло бы увеличить достоверность исследования и снизить вероятность погрешности, однако мы считаем, что количественный состав исследуемых в данной работе менее важен, чем пролонгированные сроки наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нам удалось доказать и продемонстрировать оптимальный результат после операции МПО. Hindfoot moment arm в диапазоне от 0 до 5 мм на варус приводит к более значимому клиническому результату в рамках реконструкции посттравматической вальгусной деформации пяточной кости. Пациенты в группе «Умеренный варус» после коррекции отметили лучший клинический результат, чем в группе «Вальгус» в субшкале «Боль» FAOS и также получили лучшие результаты, чем в группе «Варус» в субшкале «Другие симптомы» FAOS.

Мы надеемся, что наша работа сможет позволить хирургу оценить индивидуальный объём интраоперационной коррекции оси заднего отдела стопы

для каждого пациента, чтобы добиться наилучших клинических результатов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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).

Author's contribution. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и фотографий. Дата подписания согласия — 01.07.2019.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient on 01.07.2019 for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arangio G.A., Salathe E.P. A biomechanical analysis of posterior tibial tendon dysfunction, medial displacement calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer in adult acquired flat foot // *Clin Biomech* (Bristol, Avon). 2009. Vol. 24, N 4. P. 385–390. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2009.01.009
2. Bolt P.M., Coy S., Toolan B.C. A comparison of lateral column lengthening and medial translational osteotomy of the calcaneus for the reconstruction of adult acquired flatfoot // *Foot Ankle Int.* 2007. Vol. 28, N 11. P. 1115–1123. doi: 10.3113/FAI.2007.1115
3. Buck F.M., Hoffmann A., Mamisch-Saupe N., et al. Hindfoot alignment measurements: Rotation-stability of measurement techniques on hindfoot alignment view and long axial view radiographs // *AJR Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 197, N 3. P. 578–582. doi: 10.2214/AJR.10.5728
4. Chan J.Y., Williams B.R., Nair P., et al. The contribution of medializing calcaneal osteotomy on hindfoot alignment in the reconstruction of the stage II adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Int.* 2013. Vol. 34, N 2. P. 159–166. doi: 10.1177/1071100712460225
5. Deland J.T. Adult-acquired flatfoot deformity // *J Am Acad Orthop Surg.* 2008. Vol. 16, N 7. P. 399–406. doi: 10.5435/00124635-200807000-00005
6. Ellis S.J., Yu J.C., Johnson A.H., et al. Plantar pressures in patients with and without lateral foot pain after lateral column lengthening // *J Bone Joint Surg Am.* 2010. Vol. 92, N 1. P. 81–91. doi: 10.2106/JBJS.H.01057
7. Ellis S.J., Yu J.C., Williams B.R., et al. New radiographic parameters assessing forefoot abduction in the adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Int.* 2009. Vol. 30, N 12. P. 1168–1176. doi: 10.3113/FAI.2009.1168
8. Evans D. Calcaneo-valgus deformity // *J Bone Joint Surg Br.* 1975. Vol. 57, N 3. P. 270–278.
9. Fayazi A.H., Nguyen H.V., Juliano P.J. Intermediate term follow-up of calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer for treatment of posterior tibial tendon dysfunction // *Foot Ankle Int.* 2002. Vol. 23, N 12. P. 1107–1111. doi: 10.1177/107110070202301205
10. Griend R. Lateral column lengthening using a «Z» osteotomy of the calcaneus // *Tech Foot Ankle Surg.* 2008. Vol. 7, N 4. P. 257–263.
11. Guha A.R., Perera A.M. Calcaneal osteotomy in the treatment of adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Clin.* 2012. Vol. 17, N 2. P. 247–258. doi: 10.1016/j.fcl.2012.02.003
12. Guyton G.P., Jeng C., Krieger L.E., Mann R.A. Flexor digitorum longus transfer and medial displacement calcaneal osteotomy for posterior tibial tendon dysfunction: A middle-term clinical

follow-up // *Foot Ankle Int.* 2001. Vol. 22, N 8. P. 627–632. doi: 10.1177/107110070102200802

13. Haddad S.L., Myerson M.S., Younger A., et al. Symposium: Adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Int.* 2011. Vol. 32, N 1. P. 95–111. doi: 10.3113/FAI.2011.0095

14. Hadfield M.H., Snyder J.W., Liacouras P.C., et al. Effects of medializing calcaneal osteotomy on achilles tendon lengthening and plantar foot pressures // *Foot Ankle Int.* 2003. Vol. 24, N 7. P. 523–529. doi: 10.1177/107110070302400703

15. Hiller L., Pinney S.J. Surgical treatment of acquired flatfoot deformity: What is the state of practice among academic foot and ankle surgeons in 2002? // *Foot Ankle Int.* 2003. Vol. 24, N 9. P. 701–705. doi: 10.1177/107110070302400909

16. Koutsogiannis E. Treatment of mobile flat foot by displacement osteotomy of the calcaneus // *J Bone Joint Surg Br.* 1971. Vol. 53, N 1. P. 96–100.

17. Mani S.B., Brown H.C., Nair P., et al. Validation of the foot and ankle outcome score in adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Int.* 2013. Vol. 34, N 8. P. 1140–1146. doi: 10.1177/1071100713483117

18. Mann R.A., Thompson F.M. Rupture of the posterior tibial tendon causing flat foot. surgical treatment // *J Bone Joint Surg Am.* 1985. Vol. 67, N 4. P. 556–561.

19. Mosier-LaClair S., Pomeroy G., Manoli A. 2nd. Operative treatment of the difficult stage 2 adult acquired flatfoot deformity // *Foot Ankle Clin.* 2001. Vol. 6, N 1. P. 95–119. doi: 10.1016/s1083-7515(03)00083-4

20. Myerson M.S., Badekas A., Schon L.C. Treatment of stage II posterior tibial tendon deficiency with flexor digitorum longus tendon transfer and calcaneal osteotomy // *Foot Ankle Int.* 2004. Vol. 25, N 7. P. 445–450. doi: 10.1177/107110070402500701

21. Niki H., Hirano T., Okada H., Beppu M. Outcome of medial displacement calcaneal osteotomy for correction of adult-

acquired flatfoot // *Foot Ankle Int.* 2012. Vol. 33, N 11. P. 940–946. doi: 10.3113/FAI.2012.094

22. Nyska M., Parks B.G., Chu I.T., Myerson M.S. The contribution of the medial calcaneal osteotomy to the correction of flatfoot deformities // *Foot Ankle Int.* 2001. Vol. 22, N 4. P. 278–282. doi: 10.1177/107110070102200402

23. Reilingh M.L., Beimers L., Tuijthof G.J., et al. Measuring hindfoot alignment radiographically: The long axial view is more reliable than the hindfoot alignment view // *Skeletal Radiol.* 2010. Vol. 39, N 11. P. 1103–1108. doi: 10.1007/s00256-009-0857-9

24. Saltzman C.L., el-Khoury G.Y. The hindfoot alignment view // *Foot Ankle Int.* 1995. Vol. 16, N 9. P. 572–576. doi: 10.1177/107110079501600911

25. Vora A.M., Tien T.R., Parks B.G., Schon L.C. Correction of moderate and severe acquired flexible flatfoot with medializing calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer // *J Bone Joint Surg Am.* 2006. Vol. 88, N 8. P. 1726–1734. doi: 10.2106/JBJS.E.00045

26. Wacker J.T., Hennessy M.S., Saxby T.S. Calcaneal osteotomy and transfer of the tendon of flexor digitorum longus for stage-II dysfunction of tibialis posterior. Three- to five-year results // *J Bone Joint Surg Br.* 2002. Vol. 84, N 1. P. 54–58. doi: 10.1302/0301-620x.84b1.11847

27. Коряшков Н.А., Платонов С.П. Лечение повреждений пяточной кости // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2005. Т. 12, № 1. С. 90–92. doi: 10.17816/vto20050190

28. Самков А.С., Зейналов В.Т., Левин А.Н., и др. Малоинвазивный артродез подтаранного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2013. Т. 20, № 4. С. 45–49. doi: 10.17816/vto20130445-49

29. Троценко В.В., Жилиев А.А., Иванников С.В. Биомеханический критерий оценки патологической ходьбы // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2000. Т. 7, № 2. С. 64–67. doi: 10.17816/vto104255

REFERENCES

1. Arangio GA, Salathe EP. A biomechanical analysis of posterior tibial tendon dysfunction, medial displacement calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer in adult acquired flat foot. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24(4):385–390. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2009.01.009

2. Bolt PM, Coy S, Toolan BC. A comparison of lateral column lengthening and medial translational osteotomy of the calcaneus for the reconstruction of adult acquired flatfoot. *Foot Ankle Int.* 2007;28(11):1115–1123. doi: 10.3113/FAI.2007.1115

3. Buck FM, Hoffmann A, Mamisch-Saube N, et al. Hindfoot alignment measurements: Rotation-stability of measurement techniques on hindfoot alignment view and long axial view radiographs. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;197(3):578–582. doi: 10.2214/AJR.10.5728

4. Chan JY, Williams BR, Nair P, et al. The contribution of medializing calcaneal osteotomy on hindfoot alignment in the reconstruction of the stage II adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2013;34(2):159–166. doi: 10.1177/1071100712460225

5. Deland JT. Adult-acquired flatfoot deformity. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(7):399–406. doi: 10.5435/00124635-200807000-00005

6. Ellis SJ, Yu JC, Johnson AH, et al. Plantar pressures in patients with and without lateral foot pain after lateral column lengthening. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(1):81–91. doi: 10.2106/JBJS.H.01057

7. Ellis SJ, Yu JC, Williams BR, et al. New radiographic parameters assessing forefoot abduction in the adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2009;30(12):1168–1176. doi: 10.3113/FAI.2009.1168

8. Evans D. Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg Br.* 1975;57(3):270–278.

9. Fayazi AH, Nguyen HV, Juliano PJ. Intermediate term follow-up of calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer for treatment of posterior tibial tendon dysfunction. *Foot Ankle Int.* 2002;23(12):1107–1111. doi: 10.1177/107110070202301205

10. Griend R. Lateral column lengthening using a «Z» osteotomy of the calcaneus. *Tech Foot Ankle Surg.* 2008;7(4):257–263.

11. Guha AR, Perera AM. Calcaneal osteotomy in the treatment of adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Clin.* 2012;17(2):247–258. doi: 10.1016/j.fcl.2012.02.003

12. Guyton GP, Jeng C, Krieger LE, Mann RA. Flexor digitorum longus transfer and medial displacement calcaneal osteotomy for posterior

tibial tendon dysfunction: A middle-term clinical follow-up. *Foot Ankle Int.* 2001;22(8):627–632. doi: 10.1177/107110070102200802

13. Haddad SL, Myerson MS, Younger A, et al. Symposium: Adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2011;32(1):95–111. doi: 10.3113/FAI.2011.0095

14. Hadfield MH, Snyder JW, Liacouras PC, et al. Effects of medializing calcaneal osteotomy on achilles tendon lengthening and plantar foot pressures. *Foot Ankle Int.* 2003;24(7):523–529. doi: 10.1177/107110070302400703

15. Hiller L, Pinney SJ. Surgical treatment of acquired flatfoot deformity: What is the state of practice among academic foot and ankle surgeons in 2002? *Foot Ankle Int.* 2003;24(9):701–705. doi: 10.1177/107110070302400909

16. Koutsogiannis E. Treatment of mobile flat foot by displacement osteotomy of the calcaneus. *J Bone Joint Surg Br.* 1971;53(1):96–100.

17. Mani SB, Brown HC, Nair P, et al. Validation of the foot and ankle outcome score in adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2013;34(8):1140–1146. doi: 10.1177/1071100713483117

18. Mann RA, Thompson FM. Rupture of the posterior tibial tendon causing flat foot. surgical treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(4):556–561.

19. Mosier-LaClair S, Pomeroy G, Manoli A 2nd. Operative treatment of the difficult stage 2 adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Clin.* 2001;6(1):95–119. doi: 10.1016/s1083-7515(03)00083-4

20. Myerson MS, Badekas A, Schon LC. Treatment of stage II posterior tibial tendon deficiency with flexor digitorum longus tendon transfer and calcaneal osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2004;25(7):445–450. doi: 10.1177/107110070402500701

21. Niki H, Hirano T, Okada H, Beppu M. Outcome of medial displacement calcaneal osteotomy for correction of adult-acquired flatfoot. *Foot Ankle Int.* 2012;33(11):940–946. doi: 10.3113/FAI.2012.094

22. Nyska M, Parks BG, Chu IT, Myerson MS. The contribution of the medial calcaneal osteotomy to the correction of flatfoot deformities. *Foot Ankle Int.* 2001;22(4):278–282. doi: 10.1177/107110070102200402

23. Reilingh ML, Beimers L, Tuijthof GJ, et al. Measuring hindfoot alignment radiographically: The long axial view is more reliable than the hindfoot alignment view. *Skeletal Radiol.* 2010;39(11):1103–1108. doi: 10.1007/s00256-009-0857-9

24. Saltzman CL, el-Khoury GY. The hindfoot alignment view. *Foot Ankle Int.* 1995;16(9):572–576. doi: 10.1177/107110079501600911

25. Vora AM, Tien TR, Parks BG, Schon LC. Correction of moderate and severe acquired flexible flatfoot with medializing calcaneal osteotomy and flexor digitorum longus transfer. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(8):1726–1734. doi: 10.2106/JBJS.E.00045

26. Wacker JT, Hennessy MS, Saxby TS. Calcaneal osteotomy and transfer of the tendon of flexor digitorum longus for stage-II dysfunction of tibialis posterior. Three- to five-year results. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(1):54–58. doi: 10.1302/0301-620x.84b1.11847

27. Koryshkov NA, Platonov SP. Treatment of Calcaneous Injuries. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2005;12(1):90–92. (In Russ). doi: 10.17816/vto20050190

28. Samkov AS, Zeynalov VT, Levin AN, et al. Low Invasive Subtalar Joint Arthrodesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2013;20(4):45–49. (In Russ). doi: 10.17816/vto20130445-49

29. Trotsenko VV, Zhilyaev AA, Ivannikov SV. Biomechanical criterion for assessing pathological gait. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2000;7(2):64–67. (In Russ). doi: 10.17816/vto104255

ОБ АВТОРАХ

* Шкуро Константин Викторович,

врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: 0009-0004-8259-7994;
eLibrary SPIN: 3442-1306;
e-mail: shkuro_kostya@mail.ru

Зейналов Вадим Тофикович, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-4815-3685;
e-mail: zeinalov_vadim@mail.ru

Арапова Ирина Андреевна,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0005-7216-3065;
e-mail: ryb4sirina@yandex.ru

Левин Андрей Николаевич, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-6631-2782;
eLibrary SPIN: 4598-8922;
e-mail: levin-cito@mail.ru

Васильев Дмитрий Олегович, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-6573-3243;
eLibrary SPIN: 7954-6710;
e-mail: A-tendo@mail.ru

AUTHORS INFO

* Konstantin V. Shkuro,

traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0004-8259-7994;
eLibrary SPIN: 3442-1306;
e-mail: shkuro_kostya@mail.ru

Vadim T. Zeynalov, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-4815-3685;
e-mail: zeinalov_vadim@mail.ru

Irina A. Arapova,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0005-7216-3065;
e-mail: ryb4sirina@yandex.ru

Andrey N. Levin, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-6631-2782;
eLibrary SPIN: 4598-8922;
e-mail: levin-cito@mail.ru

Dmitriy O. Vasilyev, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-6573-3243;
eLibrary SPIN: 7954-6710;
e-mail: A-tendo@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321288>

Проблема диспареунии при повреждениях тазового кольца у женщин: ретроспективное когортное исследование

Я.Г. Гудушаури, В.В. Коновалов, Э.И. Солод, М.Г. Какабадзе, Е.И. Калинин, И.Н. Марычев

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время отмечается интерес исследователей к такому малоизученному осложнению, как болевой синдром при половом акте. На основании собственных данных и данных отечественных и зарубежных авторов широко представлены основные проблемы, вызванные диспареунией. Эта проблема часто встречается после родов, при разрывах переднего полукольца таза.

Цель. Улучшить результаты лечения диспареунии, вызванной структурно-функциональными нарушениями лонного сочленения у женщин.

Материалы и методы. В травматолого-ортопедическом отделении № 1 ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва) были обследованы 34 пациентки с разрывом лобкового симфиза. 26 (76,5%) пациенткам было проведено хирургическое лечение — металлодез переднего полукольца таза пластиной с пластикой дефекта остеопластическим материалом на основе гидроксиапатита при застарелых послеродовых разрывах и посттравматических повреждениях лобкового симфиза. Для определения половой дисфункции и оценки функции тазового кольца использовали оценочную шкалу Majeed.

Результаты. Из 34 пациенток, связанных с застарелым послеродовым разрывом или посттравматическим разрывом лобкового симфиза, у 26 (76,5%) была выявлена сексуальная дисфункция; временной промежуток между естественными родами и хирургическим лечением тазового кольца варьировал от 6 мес до 10 лет (в среднем 5,7 года), у 12 (35,2%) пациенток развивались умеренные или выраженные симптомы накопления со стороны нижних мочевыводящих путей. 26 женщинам было проведено оперативное вмешательство: металлодез переднего полукольца таза, которое продемонстрировало возможность купирования диспареунии.

Заключение. Применение в совокупности оперативной методики с пластикой дефекта остеопластическим материалом на основе гидроксиапатита, применяемым для восстановления костной ткани, позволило достигнуть долгосрочного положительного результата.

Ключевые слова: диспареуния; сексуальная дисфункция; симфизит; металлодез переднего полукольца таза; пластика остеопластическим материалом на основе гидроксиапатита.

Как цитировать:

Гудушаури Я.Г., Коновалов В.В., Солод Э.И., Какабадзе М.Г., Калинин Е.И., Марычев И.Н. Проблема диспареунии при повреждениях тазового кольца у женщин: ретроспективное когортное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321288>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321288>

Dyspareunia in pelvic ring in women

Yago G. Gudushauri, Vyacheslav V. Kononov, Eduard I. Solod, Malkhazi G. Kakabadze, Evgeniy I. Kalinin, Ivan N. Marychev

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

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, researchers are interested in little-studied complications such as pain during intercourse, mainly in the pubic region, often combined with diastasis of the pubic symphysis. Our data and those of domestic and foreign authors presented the main problematic aspect, i.e., dysfunctions of the pubic symphysis. Literature data revealed the main reasons for the emergence of the above problems. The main complications of pelvic ring injuries, including sexual dysfunction in female patients, depending on the main causes, are considered.

OBJECTIVE: To improve the results of the treatment of the structural and functional disorders of pubic articulation in women.

MATERIALS AND METHODS: In the traumatology and orthopedic department No. 1 of the Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (Moscow), 34 patients with pubic symphysis were examined. 26 (76.5%) patients underwent surgical treatment — metallodesis of the anterior pelvic half-ring with a plate, along with a defect plasty with osteoplastic biocomposite material for chronic postpartum ruptures and post-traumatic injuries of the pubic symphysis. The Majeed rating scale was used to determine sexual dysfunction and evaluate pelvic ring function.

RESULTS: Of 34 patients associated with chronic postpartum rupture or posttraumatic rupture of the pubic symphysis, 26 (76.5%) had sexual dysfunction; the time interval between natural childbirth and surgical treatment of the pelvic ring varied from 6 months to 10 years (mean 5.7 years), 12 (35.2%) patients developed moderate to severe accumulation symptoms from the lower urinary tract. 26 women underwent surgical intervention: metallodesis of the anterior pelvic half-ring which demonstrated the possibility of stopping dyspareunia.

CONCLUSION: Vertical or horizontal instability of the anterior pelvic ring leads to pelvic diaphragm failure in women, which in most cases causes dyspareunia.

Keywords: dyspareunia; sexual dysfunction; symphysite; metallosis of the anterior half-ring of the pelvis; plasty with osteoplastic biocomposite material.

To cite this article:

Gudushauri YaG, Kononov VV, Solod EI, Kakabadze MG, Kalinin EI, Marychev IN. Dyspareunia in pelvic ring in women. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):29–40. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321288>

ВВЕДЕНИЕ

В основе симфизита лежит воспалительный процесс, возникающий вследствие кровоизлияний при растяжении или разрывах связочного аппарата лобкового симфиза, гематогенной или лимфогенной инфекции или прямого проникновения из влагалища при обширной травме мягких тканей или посттравматическом разрыве при родах.

При отсутствии травматических уrogenитальных повреждений разрыв между лобковыми костями нередко может стать причиной нарушения мочеиспускания, вызывать симптомы диспареунии у женщин [1]. Диастаз лонного сочленения на 6 мм и более вызывает значительно больше проблем с мочеполовой системой, чем анатомически восстановленная травма таза, но эти изменения ещё недостаточно хорошо изучены [2].

Диспареуния — это боль в половых органах, которая ощущается непосредственно перед, во время или после полового акта (American College of Obstetricians and Gynecologists, 1995). Термин образован от греческого слова *pareunos* (спать с кем-то в одной постели, спать рядом с кем-то, сожительствовать) и приставки «дис-». Это состояние исторически считалось сексуальной дисфункцией, однако растёт поддержка комплексных подходов и моделей боли. Современный взгляд на развитие и поддержание боли гласит, что существует первоначальный провоцирующий фактор, воздействие которого постоянно воспроизводится при вмешательстве способствующих факторов [3–8]. Эти факторы бывают физическими или физиологическими. Пациентки с диспареунией могут жаловаться на локализованную боль специфического характера или выражать общее отсутствие интереса или удовлетворения от полового акта из-за дискомфорта. Хотя диспареуния может встречаться как у мужчин, так и у женщин, её частота гораздо выше у женщин, которые могут испытывать боль в нескольких областях: от поверхности вульвы до глубоких структур таза [3].

Среди научных работ, изучавших вопрос сексуальной дисфункции после травматического повреждения тазового кольца, рассматривалась проблема сексуальной дисфункции после повреждения тазового кольца у пациенток женского пола, однако многие наблюдения, использованные для оценки этой проблемы, не имеют достаточно количества данных, чтобы считаться достоверными. Кроме того, женщины чувствуют себя неловко, сообщая о признаках, связанных с сексуальной дисфункцией. Часто пациентки скрывают неприятные ощущения и стараются утаить от полового партнера, что у них возникает боль до, во время и после полового акта. В результате возникает социальная проблема (распад супружеских пар). Застарелые посттравматические повреждения переднего полукольца таза также приводят к увеличению сексуальной дисфункции у женщин [9].

Как отмечено выше, диспареуния встречается в основном у женщин, причём в любом возрасте. Чёткой связи

этой патологии с числом родов, семейным положением, расой или уровнем интеллекта не обнаружено [10]. Сексуальная дисфункция может быть вызвана сосудистыми, уrogenитальными, психо- и нейрогенными нарушениями. У женщин травма нижних мочевыводящих путей, связанная с переломами тазового кольца, встречается реже, нежели вагинальная травма (при переломах переднего тазового кольца или застарелых послеродовых разрывах), предрасполагает к последующей сексуальной дисфункции.

Цель исследования — улучшение результатов лечения диспареунии, вызванной структурно-функциональными нарушениями лобкового симфиза у женщин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное когортное исследование.

Критерии соответствия

В исследование включали пациенток в возрасте от 18 лет с застарелыми послеродовыми разрывами или посттравматическими разрывами лобкового симфиза.

Условия проведения

Исследование проведено на базе ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва) в период с 2000 по 2023 год.

Методы оценки целевых показателей

Все пациентки были тщательно обследованы, проводились беседы с пациентками, включавший подробный сбор анамнеза, а также лучевые методы исследования, провоцирующие тесты.

Диагностика симфизита обычно основывается на субъективных и объективных признаках [11]. Наши наблюдения и данные литературы подтверждают, что провоцирующие тесты более эффективны, чем осмотр или пальпация травмированной области [12]. Этот тест прост в исполнении и всегда должен предшествовать объективным методам исследования [13]. Пациентов следует проинструктировать избегать подъёма по лестнице, ограничить абдукцию и аддукцию бёдер и выполнять шаркающие движения, а не поднимать ноги. Движения назад для этих пациентов наименее болезненны (симптом Лозинского, симптом движения спиной вперёд). В этом случае пациент предпочитает движение назад, но без сгибания бёдер, и, следовательно, не происходит движений в лобковом симфизе.

К провоцирующим тестам в отечественной литературе относят признак Вернейля (боль усиливается или появляется при надавливании на гребни подвздошных костей), признак Ларрея (боль усиливается или появляется при осторожном разведении таза за крылья подвздошных костей), симптом Гориневской или симптом «прилипшей пятки» (пациентка находится в горизонтальном

положении и не может поднять ногу из-за выраженного болевого синдрома в лобковом симфизе) [10, 14].

«Золотым стандартом» диагностики разрыва лобкового симфиза является рентгенологическое исследование. На рентгенограммах лобковый симфиз имеет чётко очерченные контуры, видны следы узурации. Это позволяет точно определить степень разрыва лобкового симфиза, состояние и форму уставной поверхности лобковой кости, а также вовлечение крестцово-подвздошного сустава [15–17]. В типичном случае расхождение лобкового симфиза рентгенологически определяется разрывом лобковых костей до нескольких сантиметров и вертикальным смещением горизонтальных ветвей лобковых дуг более чем на 4 мм [18, 19].

Для определения подвижности лобкового симфиза W.T. Chamberlain (1930) первым выполнил рентгенологическое исследование пациенткам в положении стоя, проводя функциональные пробы с нагрузкой, поочередно стоя на правой и левой ноге. В результате этой пробы определяется относительное вертикальное смещение лобковых остей друг относительно друга.

Сближение концов лобковых костей достигается различными способами. Латеральная супинация обеспечивается путём изменения стороны тела, на которую приходится дополнительная нагрузка.

В настоящее время наиболее распространённым методом диагностики является ультразвуковой (УЗИ). В то же время отмечено, что ширина лобкового симфиза, измеряемая при помощи УЗИ, несколько больше, чем на рентгенограмме. Это связано с тем, что хрящевое образование лобкового симфиза имеет клиновидную форму, расширено в верхней его части. Хрящевое образование также шире в переднезаднем направлении и имеет Т-образную форму [20]. Поскольку УЗ-волны проходят между передними поверхностями симфизальной щели параллельно, ультрасонография позволяет более точно измерить ширину лобкового симфиза [21].

Из 26 наблюдаемых нами пациенток, которые рожали детей после разрыва лобкового симфиза, у 12 (40%) женщин родоразрешение происходило естественным путём. После родов всем им выполняли оперативное лечение в объёме: металлодез переднего полукольца таза пластиной. Послеоперационное ведение у прооперированных пациенток не имело особых различий и включало в себя антибактериальное, противовоспалительное, сосудистое и симптоматическое лечение.

Для определения сексуальной дисфункции и оценки функции тазового кольца мы использовали оценочную шкалу Majeed (табл. 1) [22].

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено Локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (протокол № 3 от 22.09.2020). Протокол № 2 24 марта 2022 года.

Статистический анализ

Для оценки эффективности проведённого лечения у пациенток, ответивших на опросник Majeed [22] (всего $n=26$), в рамках параметрического анализа мы провели расчёт простой средней арифметической суммы баллов.

Средняя величина суммы баллов до лечения:

$$M_{\text{до лечения}} = 49,6 \text{ балла}$$

Затем рассчитали генеральную среднюю с учётом 95% доверительного интервала (ДИ):

$$M_{\text{ген. до лечения}} = 49,6 \pm 3,0 \text{ (95\% ДИ 46,6–52,6) балла}$$

Аналогичные расчёты проведены для сумм баллов после лечения:

$$M_{\text{после лечения}} = 74,6 \text{ балла}$$

$$M_{\text{после до лечения}} = 74,6 \pm 2,1 \text{ (95\% ДИ 72,5–76,7) балла}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

Под нашим наблюдением в травматолого-ортопедическом отделении № 1 НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова находились 34 пациентки, 26 (76,5%) из которых было проведено хирургическое лечение — металлодез переднего полукольца таза пластиной при застарелых послеродовых разрывах и посттравматических повреждениях лобкового симфиза. Возраст пациенток варьировал от 22 до 62 лет (средний возраст составил 33,6 года).

Из 34 пациенток, связанных с застарелым послеродовым разрывом или посттравматическим разрывом лобкового симфиза, у 26 (76,5%) была выявлена половая дисфункция. Время между естественными родами и операцией на тазовом кольце колебалось от 6 мес до 10 лет (в среднем 5,7 года), и из 26 пациенток у 12 (35,2%) развивались умеренные или выраженные симптомы накопления со стороны нижних мочевыводящих путей.

Основные результаты исследования

Сексуальная дисфункция чаще встречалась у женщин с застарелыми послеродовыми разрывами со смещением на 4–6 мм и более. Из 34 женщин, которые вели активную половую жизнь через год после симфизита, 26 сообщили о сексуальной дисфункции. В исследовании структурно-функциональных нарушений тазового дна после нестабильности переднего полукольца таза 26 женщин из 34 сообщили о симптомах дисфункции диафрагмы таза. Преобладали симптомы диспареунии. После родов всем им проводили оперативное лечение.

В до- и послеоперационном периоде для определения половой дисфункции и оценки функции тазового кольца использовали оценочную шкалу Majeed (см. табл. 1). Была произведена оценка баллов опросника Majeed с точки зрения качественных показателей, а именно оценено качество металлостеосинтеза с «КоллапАном-С» и без него. Для расчётов нами построена многопольная таблица (табл. 2) и рассчитан критерий χ^2 Пирсона.

Таблица 1. Оценочная шкала Majeed

Table 1. Majeed rating scale

№	Критерий	Его уточнение	Оценка
1	Боль	Нетерпимая даже в покое	0–5
		Терпимая, в период физической активности	10
		Терпимая, однако ограничивающая физический труд	15
		В период средней физической нагрузки	20
		Небольшая, периодическая, физическая активность нормальная	25
		Незначительная, периодическая, или её нет	30 (макс.)
2	Сидение	Болезненное	0–4
		Если длительное или в неудобном положении	6
		Неудобное	8
		Безболезненное	30 (макс.)
3	Половой акт	Болезненный	0–1
		Если длительный и неудобный	2
		Неудобный	3
		Безболезненный	4 (макс.)
4	Хожжение с помощью	Прикованный или почти прикованный к постели	0–2
		Инвалидная коляска	4
		Два костыля	6
		Две трости	8
		Одна трость	12
		Без помощи	12 (макс.)
5	Хожжение без помощи	Не ходит	0–2
		Мелкими шагами с шуршанием	4
		Значительная хромота	6
		Средняя хромота	8
		Незначительная хромота	10
		Не хромает	12 (макс.)
6	Расстояние хождения	Прикованный к постели, не больше нескольких метров	0–2
		Очень ограниченное во времени и пространстве	4
		Ограниченное с тростями, тяжёлое без трости, возможно длительное стояние	6
		1 ч с тростью, ограниченное без трости	8
		1 ч без трости, небольшая боль, хромота	10
		Нормальная, соответственно возрасту и комплекции	12 (макс.)

Таблица 2. Многополевая таблица

Table 2. Multifield table

Факторный признак	Результативный признак			Сумма
	Удовл.	Хор.	Отл.	
Без «КоллапАна-С»	4	10	7	21
С «КоллапАном-С»	0	0	5	5
Всего	4	10	12	26

Рассчитанное значение критерия χ^2 составило 7,2 ($p=0,028$), что означает, что связь между факторными и результативными признаками статистически значима при приемлемом уровне значимости для биологических систем. Следовательно, ещё раз подтверждается,

что использование «КоллапАна-С» улучшает результат лечения.

Это исследование позволило сделать вывод о том, что диспареуния среди женщин в большей степени связана с застарелыми послеродовыми разрывами лобкового

симфиза или переломами лонной кости. Оперативная коррекция сексуальной дисфункции у женщин с пластикой дефекта остеопластическим материалом на основе гидроксиапатита в основном была направлена на предотвращение симптомов диспареунии и устранение нарушений со стороны мочевыводящих путей.

В послеоперационном периоде трудоспособность пациенток была полностью восстановлена: 25 женщин из 26 больше не жаловались на боль во время полового акта, у 1 пациентки боль купировалась спустя 2 мес после оперативного лечения. Рецидива боли в лонном сочленении не зарегистрировано ни в одном из случаев.

Клинический пример 1

Пациентка Д., 60 лет, поступила в 1-е отделение НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с жалобами на боль в области лонного сочленения, боль во время полового акта, шаркающую походку, нарушение мочеиспускания. Боли в области лонного сочленения беспокоят с августа 2019 года, после

падения. Лечилась консервативно по месту жительства, без положительной динамики. Отмечает боль в лобковой области при половом акте. Локальный статус: боль в паховой области справа. Шаркающая походка. Пальпация лонного сочленения болезненна. Симптом Ларрея положительный справа. Симптомы Вернейля, Тренделенбурга, Ласега отрицательные. Длина нижних конечностей D = S. Движения в правом и левом тазобедренном суставе — в полном объеме, движения в остальных суставах нижних конечностей без особенностей. Пульсация на артериях обеих стоп сохранена. Болевая чувствительность нижних конечностей не нарушена. Сосудистых и неврологических нарушений не выявлено.

На компьютерной томограмме (КТ) костей таза от 26.02.2020: перелом ветвей правой лонной кости на уровне лонного сочленения, признаки консолидации не выражены (рис. 1, 2).

На рентгенограммах от 02.03.2020: узурация зоны лонного сочленения (см. рис. 1).

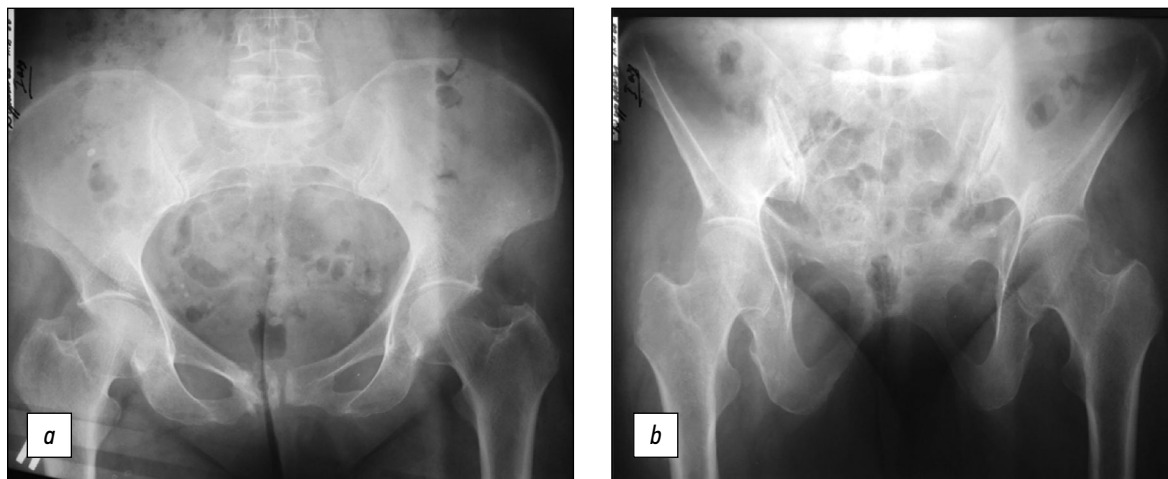


Рис. 1. Пациентка Д., 60 лет. На рентгенограммах видны перелом правой лобковой кости, признаки узурации лонного сочленения. *a* — переднезадняя проекция, *b* — краниальная проекция.

Fig. 1. A 60-year-old patient on radiographs shows a fracture of the right pubic bone, signs of pubic symphysis occlusion. *a* — anterior-posterior projection, *b* — cranial projection.



Рис. 2. Компьютерная томограмма костей таза пациентки Д.: признаки консолидации отсутствуют.

Fig. 2. CT scan of the pelvic bones shows no signs of consolidation.

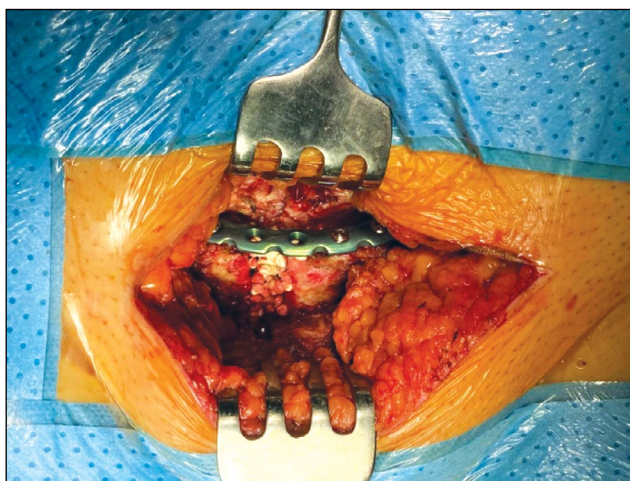


Рис. 3. Пластика дефекта лобкового симфиза остеопластическим биокomпозиционным материалом на основе гидроксиапатита у пациентки Д.

Fig. 3. Plastic surgery of the defect of the pubic symphysis.

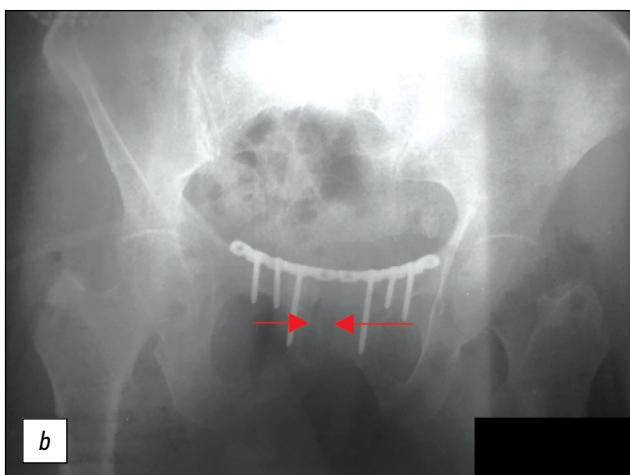
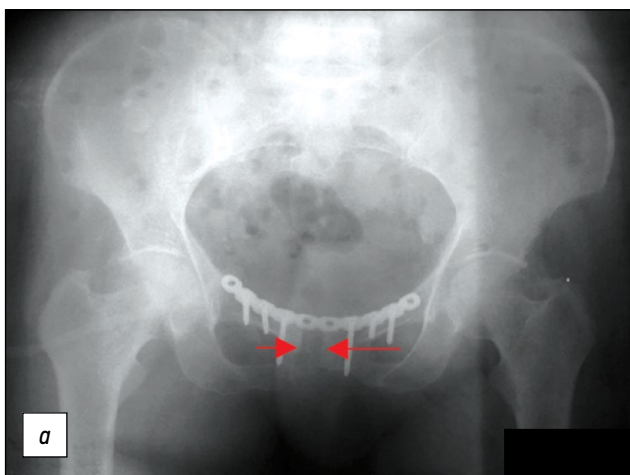


Рис. 4. Рентгенограммы пациентки Д. после операции. *a* — переднезадняя проекция (резекция лобкового симфиза, металлодез переднего полукольца таза пластиной), *b* — краниальная проекция.

Fig. 4. Radiographs after surgery. *a* — anterior-posterior projection (Resection of the pubic symphysis. Metal fusion of the anterior half-ring of the pelvis with a plate), *b* — cranial projection.

После обследования и подготовки пациентки была выполнена операция: «Резекция лобкового симфиза. Металлодез переднего полукольца таза пластиной. Пластика остеопластическим материалом на основе гидроксиапатита». Оперативное вмешательство заключалось в резекции лобкового симфиза до здоровых тканей. Произведено удаление фрагмента кости 2×2 см. Далее выполнены металлодез переднего полукольца таза пластиной, пластика остеопластическим биокomпозиционным материалом на основе гидроксиапатита (остеопластический материал на основе гидроксиапатита; рис. 3). Осуществлена установка дренажа.

Послеоперационный период протекал без особенностей. Активизация пациентки произошла на 2-е сут после операции при отрицательном симптоме Гориневской. Выполнены контрольные рентгенограммы (рис. 4). Вышеуказанные жалобы купировались на 7-е сут с момента операции. Пациентка была выписана на амбулаторное лечение на 14-е сут после снятия послеоперационных швов.

Клинический пример 2

Пациентка Г., 39 лет, поступила в 1-е травматолого-ортопедическое отделение НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с жалобами на боль при любой нагрузке, боль в лонной области с иррадиацией влево, шаркающую походку. Со слов пациентки, боль в области лонного сочленения беспокоит её последние 4 года. Лечилась консервативно по месту жительства, без положительной динамики. Отмечает болевые ощущения в лобковой области при половом акте. В настоящее время пациентку беспокоят боль при ходьбе, в лонной области, учащённое мочеиспускание. Обратилась в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, проконсультирована сотрудниками 1-го отделения.

Локальный статус: пациентка осмотрена на кушетке. Отмечены боль в паховой области, шаркающая походка. Пальпация лонного сочленения болезненна. Симптомы Ларрея, Вернейля, Ласега отрицательные. Длина нижних конечностей $D = S$. Движения в левом тазобедренном суставе болезненны, движения в остальных суставах нижних конечностей без особенностей. Пульсация на артериях обеих стоп сохранена. Болевая чувствительность нижних конечностей не нарушена. Сосудистых и неврологических нарушений не выявлено.

На рентгенограммах от 12.04.2021: признаки узурации зоны лобкового симфиза (рис. 5).

После обследования и подготовки пациентки ей была выполнена операция: «Реконструкция переднего полукольца таза. Металлодез пластиной. Пластика остеопластическим биокomпозиционным материалом на основе гидроксиапатита. Операция по обнажению лобкового симфиза». В данном случае мы использовали поперечный надлобковый разрез по Барденхойеру: 2 прямые мышцы живота освобождали от мест прикрепления, скелетировали их до лонных бугорков. Затем вдоль заднего края лобкового симфиза в предпузырное

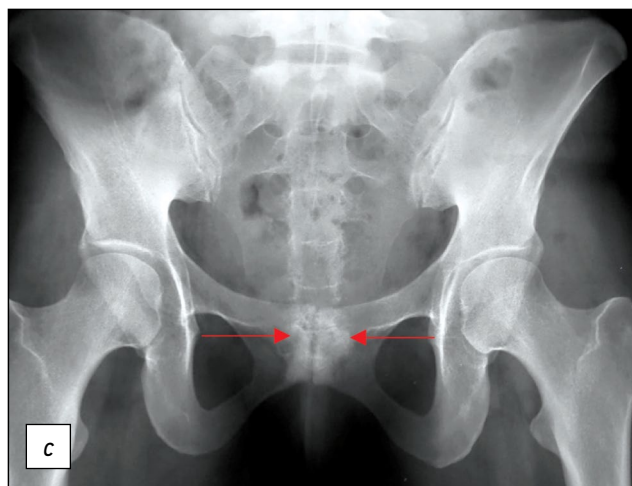
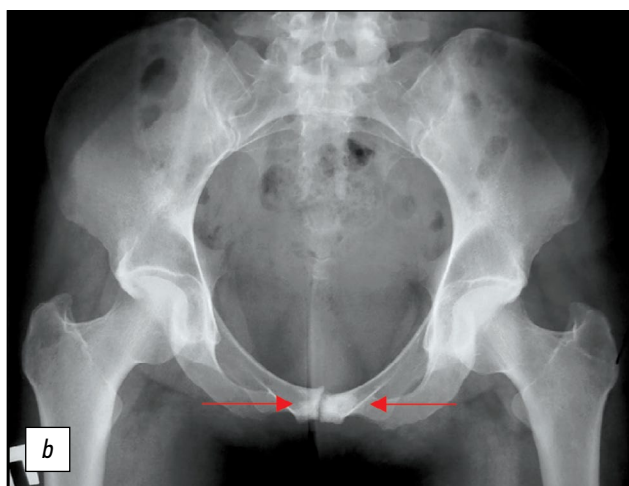
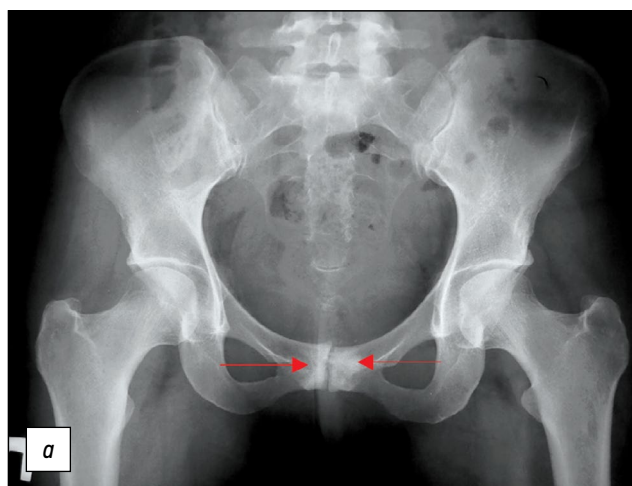


Рис. 5. Пациентка Г., 39 лет. На рентгенограммах видны признаки узурации лонного сочленения. *a* — переднезадняя проекция, *b* — каудальная проекция, *c* — краниальная проекция.

Fig. 5. A 39-year-old patient on radiographs signs of pubic symphysis ossification. *a* — anterior-posterior projection, *b* — caudal projection, *c* — cranial projection.

пространство вводили палец. Тупым путём предпузырную фасциальную пластинку перемещали внутрь вместе с передней стенкой мочевого пузыря. Для предотвращения ятрогенной травмы органов малого таза устанавливали «защитник». Внутреннюю поверхность тазовых

костей обнажали при помощи изогнутого распатора, чтобы избежать травмы венозной сети, которая расположена под и позади костных структур. Трансуретральный пассивный мочевой катетер устанавливали предоперационно во избежание повреждения мочевого пузыря. Верхняя граница лобкового симфиза была полностью скелетирована, а хрящ, соединяющий лобковый симфиз, полностью резецирован с обеих сторон лонного сочленения до здоровых тканей (рис. 6). Хрящевая ткань в разорванном лобковом симфизе обычно повреждена и дегенерирована, в результате чего утрачивает свою первоначальную функцию. Сохранение повреждённого



Рис. 6. Резекция лобкового симфиза у пациентки Г.
Fig. 6. Resection of the pubic symphysis.

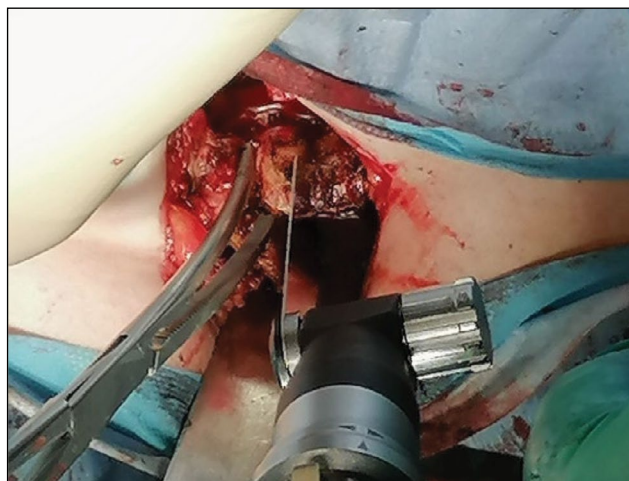


Рис. 7. Пластика дефекта лобкового симфиза остеопластическим биокомпозиционным материалом на основе гидроксиапатита у пациентки Г.

Fig. 7. Plastic surgery of the defect of the pubic symphysis.

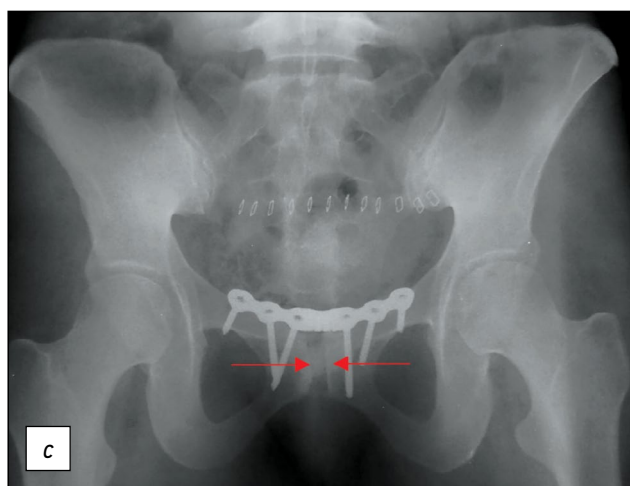
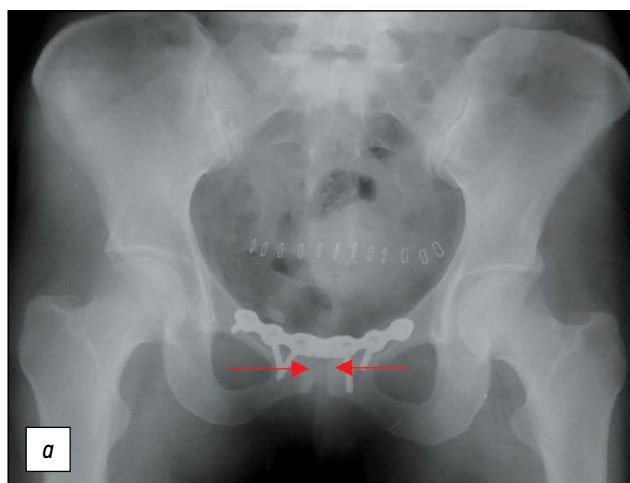


Рис. 8. Контрольные рентгенограммы пациентки Г. после операции. *a* — переднезадняя проекция, *b* — каудальная проекция, *c* — краниальная проекция (резекция лобкового симфиза, металлодез переднего полукольца таза пластиной).

Fig. 8. Control radiographs after surgery. *a* — anterior-posterior projection, *b* — caudal projection, *c* — cranial projection (Resection of the pubic symphysis, metal fusion of the anterior half-ring of the pelvis with a plate).

операции. Пациентка была выписана на амбулаторное лечение на 14-е сут после снятия послеоперационных швов.

соединительного хряща задерживает заживление и вызывает вторичное смещение лонного сочленения, что является фактором несостоятельного остеосинтеза, то есть возникают миграция винтов, деформация или перелом пластины. Затем реконструктивную тазовую пластину АО (на 6, 7 или 8 отверстий) устанавливали вдоль верхнего края лобковых костей над лобковым симфизом. Производили контроль при помощи электронно-оптического преобразователя, определяли положение пластины. После фиксировали металлоконструкцию винтами с обеих сторон. В зоне резекции лонного сочленения погружали остеопластический биокомпозиционный материал на основе гидроксиапатита (рис. 7). При наличии вертикального смещения в обязательном порядке фиксировали крестцово-подвздошный сустав. Производили контроль гемостаза, установку активного дренажа в ретциево пространство и послойное шивание раны. Далее проводили контрольное рентгенологическое исследование в 3 плоскостях (переднезадняя, каудальная и краниальная проекция).

Послеоперационный период протекал без особенностей. Активизация пациентки произошла на 3-и сут после операции при отрицательном симптоме Гориневской. Выполнены контрольные рентгенограммы (рис. 8). Вышеуказанные жалобы купировались на 5-е сут с момента

ОБСУЖДЕНИЕ

Сексуальная дисфункция у женщин после повреждений тазового кольца чаще всего уходит на задний план, это нарушение вызывает социальные и интимные затруднения (пациентки терпят, скрывают и боятся говорить об этом мужу, в результате чего происходят распады браков), таким образом, лишь тщательный и подробный сбор анамнеза позволяет нам определить имеющуюся проблему. Пациенток с травмой и застарелым послеродовым разрывом нужно спрашивать о наличии или отсутствии симптомов диспареунии во время полового акта, чтобы гарантировать, что возвращение к полной функции было возможно. Наличие сексуальных расстройств зависит от подробного анкетного опроса (см. табл. 1). Лечащий доктор должен собирать информацию, которая помогает установить связь между переломами костей таза и сексуальными расстройствами, а также определить роль медикаментозной терапии, неврологических заболеваний, наличия остеопороза, сосудистых заболеваний, общесоматического статуса в развитии этой проблемы. Характер перелома таза так же влияет на прогноз лечения.

L.K. Cannada при изучении травмы и половой дисфункции использовала вопросы, определённые для женской сексуальной функции, чтобы рассмотреть женщин

детородного возраста, у которых в анамнезе имелся перелом костей таза. Из 71 пациенток 35 (49,2%) сообщили о половых и мочеполовых жалобах и 30 (42,2%) женщин отметили боль во время полового акта. Кроме того, 42 (59,1%) пациентки ответили утвердительно на вопрос о низком интересе к половому акту и уменьшенном числе получаемых оргазмов [23].

Консервативное лечение при диспареунии малоэффективно, в результате чего пациентки вынуждены повторно обращаться за помощью ко врачу.

В настоящее время в большинстве случаев диспареунии после нарушения целостности переднего полукольца таза возникает необходимость в хирургической коррекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диспареуния у женщин в послеродовом периоде может быть вызвана застарелым послеродовым разрывом или посттравматическим разрывом симфиза.

Проблему диспареунии возможно эффективно решить посредством оперативного лечения способом стабилизации переднего полукольца таза пластиной с последующей пластикой, что, в свою очередь, позволяет улучшить качество жизни пациенток и обеспечивает коррекцию сексуальных нарушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев А.Ф., Гудушаури Я.Г., Костив Е.П., и др. Клинические аспекты осложнений повреждений таза // Тихоокеанский медицинский журнал. 2017. № 1. С. 17–23. doi: 10.17238/PmJ1609-1175.2017.1.17-23
2. Tile M., Helfet D.L., Kellam J.F et al. Fractures of the Pelvis and Acetabulum: 3rd edition. 2015. doi: 10.1055/b-0035-121676
3. Berkowitz C.D. Medical consequences of child sexual abuse // Child Abuse Negl. 1998. Vol. 22, N 6. P. 541–550. Discussion 551–554. doi: 10.1016/s0145-2134(98)00023-4
4. Sarwer D.B., Durlak J.A. Childhood sexual abuse as a predictor of adult female sexual dysfunction: a study of couples seeking sex therapy // Child Abuse Negl. 1996. Vol. 20, N 10. P. 963–972. doi: 10.1016/0145-2134(96)00085-3
5. Meana M., Binik Y.M. Painful coitus: a review of female dyspareunia // J Nerv Ment Dis. 1994. Vol. 182, N 5. P. 264–272. doi: 10.1097/00005053-199405000-00003
6. Meana M., Binik Y.M., Khalife S., Cohen D. Dyspareunia: sexual dysfunction or pain syndrome? // J Nerv Ment Dis. 1997. Vol. 185, N 9. P. 561–569. doi: 10.1097/00005053-199709000-00005
7. Meana M., Binik Y.M., Khalife S., Cohen D.R. Biopsychosocial profile of women with dyspareunia // Obstet Gynecol. 1997. Vol. 90, N 4. Pt. 1. P. 583–589. doi: 10.1016/s0029-7844(98)80136-1
8. Seth S., Das B., Salhan S. A severe case of pubic symphysis diastasis in pregnancy // Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2003. Vol. 106, N 2. P. 230–232. doi: 10.1016/s0301-2115(02)00221-x

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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).

Author's contribution. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

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

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

9. Гудушаури Я.Г. Оперативное лечение осложненных переломов костей таза: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2016. Режим доступа: <https://www.cito-priorov.ru/cito/dissovet/36/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%20%D0%93%D1%83%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B8-1.pdf>. Дата обращения: 05.05.2023.

10. Jamieson D.J., Steege J.F. The prevalence of dysmenorrhea, dyspareunia, pelvic pain, and irritable bowel syndrome in primary care practices // Obstet Gynecol. 1996. Vol. 87, N 1. P. 55–58. doi:10.1016/0029-7844(95)00360-6

11. Стэльмах К.К. Лечение нестабильных повреждений таза // Травматология и ортопедия России. 2005. Т. 37, № 4. С. 31–38.

12. Демичев Н.П., Копишко В.М. Одномоментная и дозированная компрессия тазового кольца при разрыве лобкового симфиза // Ортопедия, травматология и протезирование. 1991. № 9. С. 40–42.

13. Кириленко А.В. Оперативное лечение повреждения лонного сочленения // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 1973. Т. 111, № 7. С. 132–133.

14. Лазарев А.Ф., Солод Э.И., Гудушаури Я.Г., и др. Проблемы при фиксации застарелых повреждений переднего отдела тазового кольца // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 3. С. 5–12. doi: 10.17816/vto89514

15. Козлов Л.А., Ключаров И.В., Нигматуллина Н.А. Изменения лонного сочленения в акушерской практике. Метод. пос. для врачей, интернов и ординаторов. Казань: КГМУ, 2001.

16. Колосова Е.П. Острое гнойное воспаление лобкового сочленения во время беременности и в послеродовом периоде // Акушерство и гинекология. 1950. № 1. С. 42–46.
17. Копишко В.М. Консервативное лечение поздних разрывов симфиза // Акушерство и гинекология. 1980. № 5. С. 54–55.
18. Копишко В.М. Дозированная компрессия тазового кольца при разрыве лобкового симфиза: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Минск, 1988.
19. Корнев В.П. Остеосинтез лонного сочленения при травматических и послеродовых повреждениях металлоконструкциями с памятью формы // Имплантаты с памятью формы. 1994. № 1. С. 19–20.
20. Корнев В.П. Остеосинтез лонного сочленения скобами с термомеханической памятью: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Кемерово, 1997. Режим доступа: <https://medical-diss.com/medicina/>

osteosintez-lonnogo-sochleneniya-skobami-s-termomehanicheskoy-pamyatyu. Дата обращения: 05.05.2023.

21. Кутепов С.М., Минеев К.П., Стельмах К.К. Анатомо-функциональное обоснование внешней фиксации костей таза при переломах // III Международный семинар по усовершенствованию аппаратов и методов внешней фиксации «Аппараты и методы внешней фиксации в травматологии и ортопедии»: Тез. докл.; 1989; Рига, СССР.
22. Majeed S.A. Grading the outcome of pelvic fractures // *J Bone Joint Surg.* 1989. Vol. 71, N 2. P. 304–306. doi: 10.1302/0301-620X.71B2.2925751
23. Cannada L.K., Barr J. Pelvic fractures in women of childbearing age // *Clin Orthop Relat Res.* 2010. Vol. 468 N 7. P. 1781–1789. doi:10.1007/s11999-010-1289-5

REFERENCES

1. Lazarev AF, Gudushauri YG, Kostiv EP, et al. Challenging issues of the doctrine of the pelvis polytrauma. *Pacific Medical Journal.* 2017;1:17–23. (In Russ). doi: 10.17238/PmJ1609-1175.2017.1.17-23
2. Tile M, Helfet DL, Kellam JF, et al. *Fractures of the Pelvis and Acetabulum: 3rd edition.* 2015. doi: 10.1055/b-0035-121676
3. Berkowitz CD. Medical consequences of child sexual abuse. *Child Abuse Negl.* 1998;22(6):541–550;discussion 551–554. doi: 10.1016/s0145-2134(98)00023-4
4. Sarwer DB, Durlak JA. Childhood sexual abuse as a predictor of adult female sexual dysfunction: a study of couples seeking sex therapy. *Child Abuse Negl.* 1996;20(10):963–972. doi: 10.1016/0145-2134(96)00085-3
5. Meana M, Binik YM. Painful coitus: a review of female dyspareunia. *J Nerv Ment Dis.* 1994;182(5):264–272. doi: 10.1097/00005053-199405000-00003
6. Meana M, Binik YM, Khalifé S, Cohen D. Dyspareunia: sexual dysfunction or pain syndrome? *J Nerv Ment Dis.* 1997;185(9):561–569. doi: 10.1097/00005053-199709000-00005
7. Meana M, Binik YM, Khalife S, Cohen DR. Biopsychosocial profile of women with dyspareunia. *Obstet Gynecol.* 1997;90(4 Pt 1):583–589. doi: 10.1016/s0029-7844(98)80136-1
8. Seth S, Das B, Salhan S. A severe case of pubic symphysis diastasis in pregnancy. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2003;106(2):230–232. doi: 10.1016/s0301-2115(02)00221-x
9. Gudushauri YaG. *Operativnoe lechenie oslozhnennykh perelomov kostei taza* [dissertation]. Moscow; 2016. Available from: <https://www.cito-priorov.ru/cito/dissovet/36/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%20%D0%93%D1%83%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B8-1.pdf>. Accessed: 05.05.2023. (In Russ).
10. Jamieson DJ, Steege JF. The prevalence of dysmenorrhea, dyspareunia, pelvic pain, and irritable bowel syndrome in primary care practices. *Obstet Gynecol.* 1996;87(1):55–58. doi:10.1016/0029-7844(95)00360-6
11. Stelmakh KK. Treatment of unstable injuries of pelvis. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2005;37(4):31–38. (In Russ).
12. Demichev NP, Kopishko VM. Odnomomentnaya i dozirovannaya kompressiya tazovogo kol'tsa pri razryve lobkovogo simfiza. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye.* 1991;9:40–42. (In Russ).
13. Kirilenko AB. Operativnoe lechenie povrezhdeniya lonnogo sochleneniya. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 1973;111(7):132–133. (In Russ).
14. Lazarev AF, Solod EI, Gudushauri YG, et al. Problems with fixing chronic injuries of the anterior pelvic ring. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2021;28(3):5–12. doi: 10.17816/vto89514 (In Russ).
15. Kozlov LA, Klyucharov IV, Nigmatullina NA. *Izmeneniya lonnogo sochleneniya v akusherskoi praktike. Metod. pos. dlya vrachei, internov i ordinatorov.* Kazan': KGMU; 2001. (In Russ).
16. Kolosova EP. Ostroie gnoinoe vospalenie lobkovogo sochleneniya vo vremya beremennosti i v poslerodovom periode. *Obstetrics and Gynecology.* 1950;1:42–46. (In Russ).
17. Kopishko VM. Konservativnoe lechenie pozdnykh razryvov simfiza. *Obstetrics and Gynecology.* 1980;5:54–55. (In Russ).
18. Kopishko VM. *Dozirovannaya kompressiya tazovogo kol'tsa pri razryve lobkovogo simfiza* [dissertation]. Minsk; 1988. (In Russ).
19. Kornev VP. Osteosintez lonnogo sochleneniya pri travmaticheskikh i poslerodovykh povrezhdeniyakh metallokonstruktsiyami s pamyat'yu formy. *Implantaty s pamyat'yu formy.* 1994;1:19–20. (In Russ).
20. Kornev VP. *Osteosintez lonnogo sochleneniya skobami s termomekhanicheskoi pamyat'yu* [dissertation]. Kemerovo; 1997. Available from: <https://medical-diss.com/medicina/osteosintez-lonnogo-sochleneniya-skobami-s-termomekhanicheskoy-pamyatyu>. Accessed: 05.05.2023. (In Russ).
21. Kutepov SM, Mineev KP, Stel'makh KK. Anatomo-funktsional'noe obosnovanie vneshnei fiksatsii kostei taza pri perelomakh. 3rd International Seminar on Improvement of Devices and Methods of External Fixation «Apparaty i metody vneshnei fiksatsii v travmatologii i ortopedii»: abstracts; 1989; Riga, USSR. (In Russ).
22. Majeed SA. Grading the outcome of pelvic fractures. *J Bone Joint Surg.* 1989;71(2):304–306. doi: 10.1302/0301-620X.71B2.2925751
23. Cannada LK, Barr J. Pelvic fractures in women of childbearing age. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(7):1781–1789. doi:10.1007/s11999-010-1289-5

ОБ АВТОРАХ

Гудушаури Яго Гогиевич, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: gogich71@mail.ru

* **Коновалов Вячеслав Валерьевич**, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: 0000-0002-8954-9192;
eLibrary SPIN: 9552-2408;
e-mail: slava2801@yandex.ru

Солод Эдуард Иванович, д.м.н, профессор,
врач травматолог-ортопед;
eLibrary SPIN: 4964-3457;
e-mail: doctorsolod@mail.ru

Какабадзе Малхази Гурамович, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: malkhaz@mail.ru

Калинин Евгений Игоревич, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0003-2766-5670;
eLibrary SPIN: 6659-2285;
e-mail: Kalinin_evgeny@mail.ru

Марычев Иван Николаевич, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-5268-4972;
eLibrary SPIN: 9151-7883;
e-mail: dr.ivan.marychev@mail.ru

AUTHORS INFO

Yago G. Gudushauri, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
e-mail: gogich71@mail.ru

* **Vyacheslav V. Konovalov**, graduate student,
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-8954-9192;
eLibrary SPIN: 9552-2408;
e-mail: slava2801@yandex.ru

Eduard I. Solod, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
eLibrary SPIN: 4964-3457;
e-mail: doctorsolod@mail.ru

Malkhaz G. Kakabadze, MD, Cand., Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
e-mail: malkhaz@mail.ru

Evgeny I. Kalinin, graduate student,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0003-2766-5670;
eLibrary SPIN: 6659-2285;
e-mail: Kalinin_evgeny@mail.ru

Ivan N. Marychev, graduate student,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0002-5268-4972;
eLibrary SPIN: 9151-7883;
e-mail: dr.ivan.marychev@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321930>

Сравнительный анализ эндоскопической трансназальной и микрохирургической трансоральной одонтоидэктомии: обзор литературы и собственный опыт

А.Н. Шкарубо^{1,2}, А.Г. Назаренко³, И.В. Чернов¹, Д.Н. Андреев¹, А.А. Кулешов³,
Н.А. Коновалов¹, И.Н. Лисянский³, М.Е. Синельников⁴

¹ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва, Российская Федерация;

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация;

³ НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В случае передней компрессии стволых структур инвагинированным зубовидным отростком показано выполнение одонтоидэктомии, которую в настоящее время возможно проводить как трансоральным микрохирургическим, так и трансназальным эндоскопическим доступом.

Цель. Провести сравнительный анализ эндоскопической трансназальной и микрохирургической трансоральной одонтоидэктомии, выполненных первым автором работы.

Материалы и методы. Проанализированы результаты лечения 29 пациентов с патологическими состояниями, включающими переднюю компрессию стволых структур инвагинированным зубовидным отростком. Из 29 пациентов 5 (17%) человек оперированы трансназально эндоскопически, 24 (83%) — трансорально микрохирургически.

Результаты. Во всех случаях (100%) удалось достичь декомпрессии стволых структур. Отсутствие необходимости в установке трахеостомы перед операцией и меньший объем травмы ротоглотки позволяют пациентам, подвергшимся трансназальному удалению зубовидного отростка, переносить послеоперационный период легче и быстрее.

Заключение. В настоящее время эндоскопический трансназальный доступ постепенно замещает трансоральный у ряда пациентов, которым показана передняя одонтоидэктомия. При этом анализ данных литературы отображает всё более глубокое развитие этой методики, однако однозначных показаний к применению трансорального или трансназального доступа в настоящее время не сформулировано.

Ключевые слова: удаление зубовидного отростка; трансоральная хирургия; эндоскопическая трансназальная одонтоидэктомия; эндоскопия.

Как цитировать:

Шкарубо А.Н., Назаренко А.Г., Чернов И.В., Андреев Д.Н., Кулешов А.А., Коновалов Н.А., Лисянский И.Н., Синельников М.Е. Сравнительный анализ эндоскопической трансназальной и микрохирургической трансоральной одонтоидэктомии: обзор литературы и собственный опыт // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 41–61. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321930>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321930>

Comparative analysis of endoscopic transnasal and microsurgical transoral odontoidectomy: Literature review and own experience

Aleksey N. Shkarubo^{1,2}, Anton G. Nazarenko³, Ilya V. Chernov¹, Dmitriy N. Andreev¹, Aleksandr A. Kuleshov³, Nikolay A. Konovalov¹, Igor N. Lisyansky³, Mikhail E. Sinelnikov⁴

¹ Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russian Federation;

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation;

³ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation;

⁴ Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Odontoidectomy is indicated in the case of anterior compression of brainstem structures by an invaginated dentoid process, and it is currently possible to perform both transoral microsurgical and transnasal endoscopic access.

OBJECTIVE: To conduct a comparative analysis of endoscopic transnasal and microsurgical transoral odontoidectomy performed by the first author.

MATERIALS AND METHODS: The treatment results of 29 patients with pathological conditions, including anterior compression of stem structures with an invaginated dentoid process, were analyzed. Of 29 patients, 5 (17%) underwent surgery transnasally endoscopically, and 24 (83%) underwent surgery transorally microsurgically.

RESULTS: Decompression of brainstem structures was achieved in all cases. The absence of the need to install a tracheostomy before surgery and the smaller volume of oropharyngeal trauma allow patients to undergo transnasal removal of the dentoid process and endure the postoperative period easier and faster.

CONCLUSION: Currently, endoscopic transnasal access is gradually replacing transoral access in certain patients who are indicated for anterior odontoidectomy. Moreover, the literature analysis shows an ever deeper development of this technique; however, unambiguous indications of the use of transoral or transnasal access have not been formed at present.

Keywords: odontoid process removal; transoral surgery; endoscopic transnasal odontoidectomy; endoscopy.

To cite this article:

Shkarubo AN, Nazarenko AG, Chernov IV, Andreev DN, Kuleshov AA, Konovalov NA, Lisyanskiy IN, Sinelnikov ME. Comparative analysis of endoscopic transnasal and microsurgical transoral odontoidectomy: Literature review and own experience. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):41–61. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321930>

BACKGROUND

The craniovertebral junction (CVJ) is a complex transition zone between the skull and the cervical spine. It plays a crucial role in providing stability and facilitating movement of the head. The CVJ includes structures, such as the occipital bone, C_I and C_{II} vertebrae, ligaments, and neurovascular structures [1, 2]. The CVJ ensures 50% of the rotational movements of the neck (mainly at the level of the C_I–C_{II} vertebrae) and provides 30° flexion and extension of the cervical spine [3]. Pathological processes in the CVJ area are extremely difficult for both diagnostics and surgical treatment. This is due to the high concentration of critical structures, such as the brainstem, main arteries, cranial, and spinal nerves, in a relatively small volume of bone and soft tissues.

In the case of anterior compression of stem structures by an invaginated odontoid process, which can occur in various developmental anomalies or injuries [4–6], odontoidectomy is the recommended treatment. Currently, this procedure can be performed using either a transoral microsurgical approach or a transnasal endoscopic approach. The former treatment option is widely presented in the literature, providing detailed information about the technical characteristics of the surgery and its possible complications [7–9].

Endoscopic transnasal odontoidectomy was first described by A. Kassam [10]. In Russia, such a surgery was performed for the first time in 2010 when there were only about ten reported cases worldwide [11]. To date, the parasseptal transchoanal approach with trepanation of the posterior septum of the nose is the most commonly used technique, although some authors have described the use of submucosal subperiosteal approach [12–14]. The

largest series, consisting of 34 surgeries, was presented by N.T. Zwagerman et al. in 2018 [15]. The number of publications describing the use of endoscopic transnasal approach for odontoidectomy has been steadily growing since 2005, which is confirmed by a meta-analysis conducted by N. Aldahak in 2017. This trend is attributed to the lower injury rate of this approach and fewer complications in the postoperative period [16]. Most of the publications presented in the global literature include 1–3 clinical cases, with a total patient count of not more than 320 (Table 1).

The study aimed to conduct a comparative analysis of endoscopic transnasal and microsurgical transoral odontoidectomy performed by the first author of the work.

MATERIALS AND METHODS

Study design

A retrospective cohort study was conducted.

Eligibility criteria

The inclusion criterion for patients in the study was odontoidectomy performed either with endoscopic transnasal (main group) or microsurgical transoral approach (control group). There were no exclusion criteria.

Terms and conditions

The study was conducted in two centers, namely, the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery (Moscow) from 2010 to 2020, and the N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (Moscow) from 2004 to 2018.

Table 1. World experience in endoscopic transnasal odontoidectomy

Author	Year	Number of patients	Stabilization	Complications
A. Simal-Julián [17]	2021	1	OSD	No
C. Zoia [18]	2021	1	OSD	No
J. Falco [19]	2021	1	OSD	No
R.S. Heller [20]	2021	7	OSD /C _I –C _{II}	No
H.N. Algattas [21]	2021	1	No	No
J.K. Liu [22]	2021	1	OSD	No
N.R. London Jr. [23]	2021	1	OSD	No
P. Veiceschi [24]	2021	1	No	No
Q. Husain [25]	2020	30	OSD	Dysphagia, asphyxia
E. Grose [26]	2020	17	OSD	Dysphagia, sinus infection, nasal hemorrhage, caudal cranial nerve dysfunction
V.M. Butenschoen [27]	2020	19	C _I –C _{II}	1 lethal outcome (osteomyelitis), dysphagia, asphyxia
M.-Y. Yeh [28]	2019	13	OSD	Cerebrospinal fluid leak
T. Ogiwara [29]	2019	1	OSD	No
A.F. Alalade [30]	2019	7	OSD	No
P. Pacca [31]	2019	1	C _I –C _{II}	No

Table 1. Table ending

Author	Year	Number of patients	Stabilization	Complications
M. Vitali [32]	2019	1	No	No
R.V. Abbritti [33]	2019	4	OSD	No
M. Ottenhausen [34]	2018	14	OSD	No
A. Grin [35]	2018	1	OSD	No
S. Aldea [36]	2018	12	OSD	No
N. Zwagerman [15]	2018	34	OSD	Velopharyngeal insufficiency, dysphagia, caudal cranial nerve insufficiency
D. Tang [37]	2018	1	OSD	No
I. Hussain [38]	2018	1	OSD	No
R. Herrera [39]	2018	1	OSD	No
Z. Rossini [40]	2018	5	OSD	No
M. Iacoangeli [41]	2018	7	Anterior C _I -C _{II}	No
H. Singh [42]	2018	4	OSD	No
M.A. Sexton [43]	2018	5	n/d	Asphyxia
S. Chibbaro [44]	2017	14	OSD	No
F. Zenga [45]	2016	12	OSD	No
V.R. Kshetry [13]	2016	1	OSD	No
F. Zenga [46]	2015	1	No	No
T.C. Burns [47]	2015	2	OSD	No
M. Zoli [48]	2015	2	OSD	No
G. Kahilogullari [49]	2015	1	OSD	Cerebrospinal fluid leak
E. La Corte [50]	2015	6	OSD	No
N.S. Chaudhry [51]	2015	1	No	No
T. Goldschlager [52]	2015	9	OSD	Nasal hemorrhage
J. Duntze [53]	2014	9	OSD	No
Y.S. Yen [54]	2014	13	OSD	Cerebrospinal fluid leak
O. Choudhri [55]	2014	5	OSD	Velopharyngeal insufficiency
D. Mazzatenta [56]	2014	5	OSD	No
T. Nagpal [57]	2013	1	n/d	No
F. Zenga [58]	2013	1	OSD	No
M. Iacoangeli [59]	2013	3	No	No
Y. Yu [60]	2013	3	OSD	Cerebrospinal fluid leak
R.B. Rawal [61]	2013	1	OSD	No
A.J. Patel [62]	2012	1	OSD	No
M. Gladi [63]	2012	4	OSD /No	No
A. Grammatica [64]	2011	1	OSD	No
J.F. Cornelius [65]	2011	1	OSD	No
F. Scholtes [66]	2011	1	No	No
I.H. EL-Sayed [67]	2011	8	n/d	n/d
J. Gempt [68]	2011	3	OSD	No
A. Shkarubo [69]	2020	4	OSD	Cerebrospinal fluid leak
S. Magrini [70]	2008	1	Posterior fixation with bone graft	No
J.-C. Wu [71]	2008	3	OSD	No
J. Nayak [72]	2007	9	OSD	Velopharyngeal insufficiency
A. Kassam [10]	2005	1	OSD	No

Note. OSD, occipitospondylodesis; n/d, no data.

Target indicator assessing methods

In a common electronic database created in Microsoft Excel (Microsoft, USA), various indicators were recorded, including gender, age, nature of pathology, clinical presentation of the disease, radiological aspects, nature of the treatment and its characteristics, as well as clinical and radiological outcomes.

Ethical considerations

Due to the retrospective nature of the study, ethical review was not performed.

Statistical analysis

The data obtained was subjected to statistical analysis using the Statistica v. 10 software (StatSoft Inc., USA). Various indicators of surgical treatment of patient groups were compared, including the surgery duration, the degree of decompression of the stem structures, the volume of blood loss, the duration of hospitalization, and so forth.

The tasks of assessing the statistical significance of differences in the distributions of categorical and binary characteristics in groups were solved using the χ^2 test and Fisher's exact test. For numerical indicators, differences were assessed using the Mann–Whitney U -test, since the Shapiro–Wilk test and the Kolmogorov–Smirnov test showed that continuous indices were not normally distributed. The results of testing statistical hypotheses were recognized as statistically significant at a significance level of $p < 0.05$.

Descriptive statistics methods were also used to solve the problems. The data were presented in the format mean (M) \pm standard deviation for normally distributed random

variables and median (Me) and quartiles for random variables with non-normal distributions.

RESULTS

Participants (objects) of the study

We analyzed the treatment results of 29 patients. Group 1 consisted of five patients with anomalies in the CVJ development, namely, invagination of the odontoid process with or without basilar impression. In one case, the disease was accompanied by the formation of a syringomyelic cyst at the level of the C_{III}–Th_{III} vertebrae, and in another case, it was accompanied by the Arnold–Chiari anomaly, where the cerebellar tonsils were lowered 19 mm below the Chamberlain line. The patients in this group were operated at the Neurosurgical Department 8 (basal tumors) of the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery. The surgeries were performed using endoscopic endonasal approach.

For comparison, we analyzed group 2 (control) consisting of 24 patients with developmental anomalies, which included invagination of the odontoid process, or with acquired compression of the stem structures by the invaginated odontoid process (Fig. 1). Patients in this group were operated on from 2007 to 2020 at the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery and N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics using the transoral microsurgical approach.

The indicators of demographic data, nosological entity, clinical symptoms and their dynamics in the postoperative period, aspects and scope of the surgery, development of

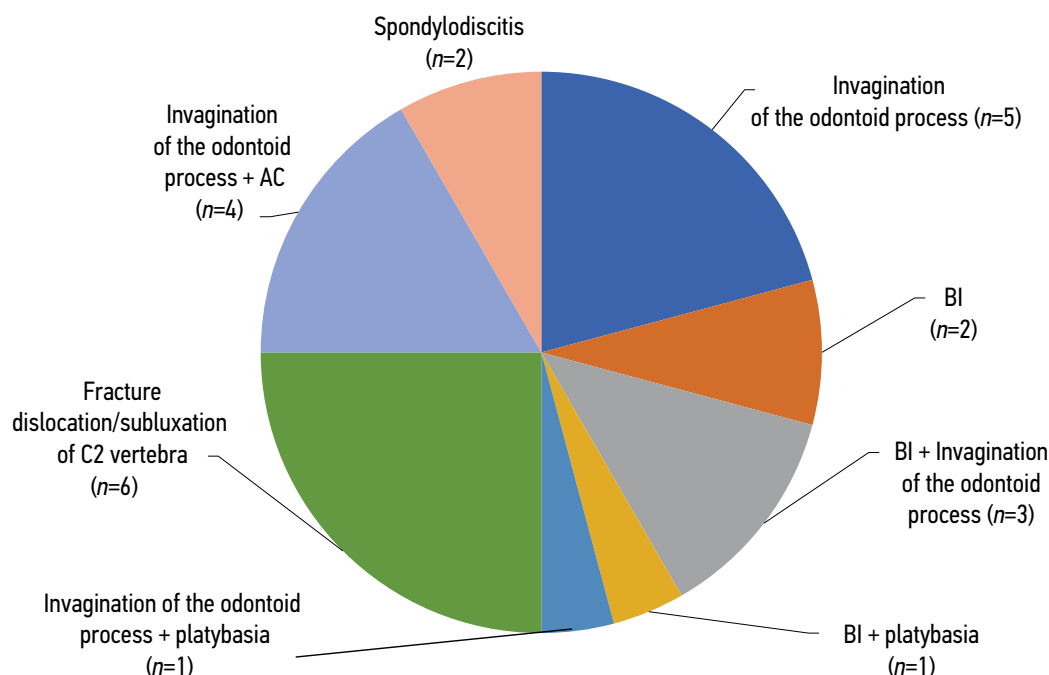


Fig. 1. Distribution of patients in the control group by nosology.

Note. BI, basilar impression, AK, Arnold–Chiari anomaly.

Table 2. Clinical features of diseases

Symptom	Endoscopic transnasal odontoidectomy, n (%)	Transoral microsurgical odontoidectomy, n (%)
Tetraparesis	2 (40)	16 (66,7)
Hemiparesis	0	3 (12,5)
Headache	4 (80)	16 (66,7)
Cerebellar ataxy	1 (20)	9 (37,5)
Conduction sensory abnormalities	5 (100)	20 (83,3)
Bulbar disorders	1 (20)	4 (16,7)
Impaired control of pelvic organs	0	1 (4,2)

complications, and characteristics of patient management in the postoperative period were analyzed.

Among the patients of the group 1, there were four women and one man aged 22–60 years (median age, 51 years). The control group included 12 men and 12 women aged 11–60 years (median age, 33.5 years). The difference in the distribution of patients by gender was not statistically significant ($p > 0.05$, Fisher's exact test).

The clinical presentation of diseases of the study participants is presented in Table 2.

In group 1, surgeries were performed using endoscopic techniques described in numerous studies [73–77]. In group 2, a classical transoral approach was employed, which is also widely presented in the literature. This approach includes such stages as the installation of a mouth expander, dissection of the soft palate, dissection of the posterior pharyngeal wall along the midline, skeletonization of the clivus, C_1 and C_{II} vertebrae, trepanation of the anterior semi-ring of the C_1 vertebra, trepanation and removal of the odontoid process, and layer-by-layer wound closure [78–81].

In two patients from group 1 and in seven patients from group 2, the surgery was two-staged. The first stage involved posterior stabilization (occipitospindylosis (OSD)), followed by the main stage of the intervention after the patient was turned over. The removal of the odontoid process in both groups included the installation of a lumbar drain when necessary, placing the patient in a supine position for transoral approach and in a semi-sitting position for transnasal approach, and performing the appropriate approach. During the preparation for odontoidectomy, two patients were found to have initial CVJ instability: one case involved fracture dislocation of the odontoid process, and the other case involved odontoid process invagination with an unsuccessful attempt of posterior stabilization due to infectious complications.

Primary study results

Analysis of the results of endoscopic transnasal odontoidectomy

The results of surgical treatment were evaluated based on a retrospective analysis of the case histories of five

patients whose odontoid process of the C_{II} vertebra was removed endoscopically transnasally (clinical case in Fig. 2).

Preoperative CVJ instability was not observed in any of the cases. Stabilization (OSD with the Vertex system) was performed in two patients, 1 and 3 months before the main stage of treatment. In two other patients, stabilization was performed simultaneously, as part of a two-stage surgical treatment. One of them (diagnosed with basilar impression, invagination of the odontoid process, syringomyelic cyst at the level of C_{III} to Th_{III} vertebrae) underwent posterior decompression of the CVJ level during posterior stabilization. In one patient (diagnosed with intussusception of the odontoid process, Chiari anomaly type 1), CVJ was not stabilized. Despite the lack of assimilation of the C_1 vertebra with the skull, and after 3 months of wearing a Philadelphia collar, the CVJ stabilization was registered.

In three out of five patients, a tracheostomy was placed before surgery. In one of the patients, a transoral approach was initially planned, but due to the stiffness of the mandibular joint, a transnasal approach was performed instead. In two cases, decannulation was performed within an average of 7 days (8 and 6 days), and, accordingly, oral nutrition was started on the days 8 and 2 after the surgery. Decannulation was not performed during hospitalization in one patient, due to the appearance of bulbar disorders. In the remaining two patients, mechanical ventilation of the lungs was performed orotracheally, and tracheostomy is not required during the postoperative period. Oral nutrition for these patients was started on the first day after surgery. The average time to start oral nutrition was 3 days after the surgery.

The average duration of odontoidectomy was 320 ± 72.5 min. In four cases, trepanation of the lower clivus was performed to expand the approach zone. In these cases, the apex of the odontoid process was located behind the lower clivus. In two cases, trepanation of the upper sections of the C_{II} vertebra body was also performed to enhance the convenience of visualization during trepanation of the upper sections of the odontoid process, which enabled to hold the endoscope below the drill and control the underlying structures. In all cases, it was possible to perform a complete resection of the odontoid process and visualize a thinned, pulsating underlying dura mater (DM), which confirmed

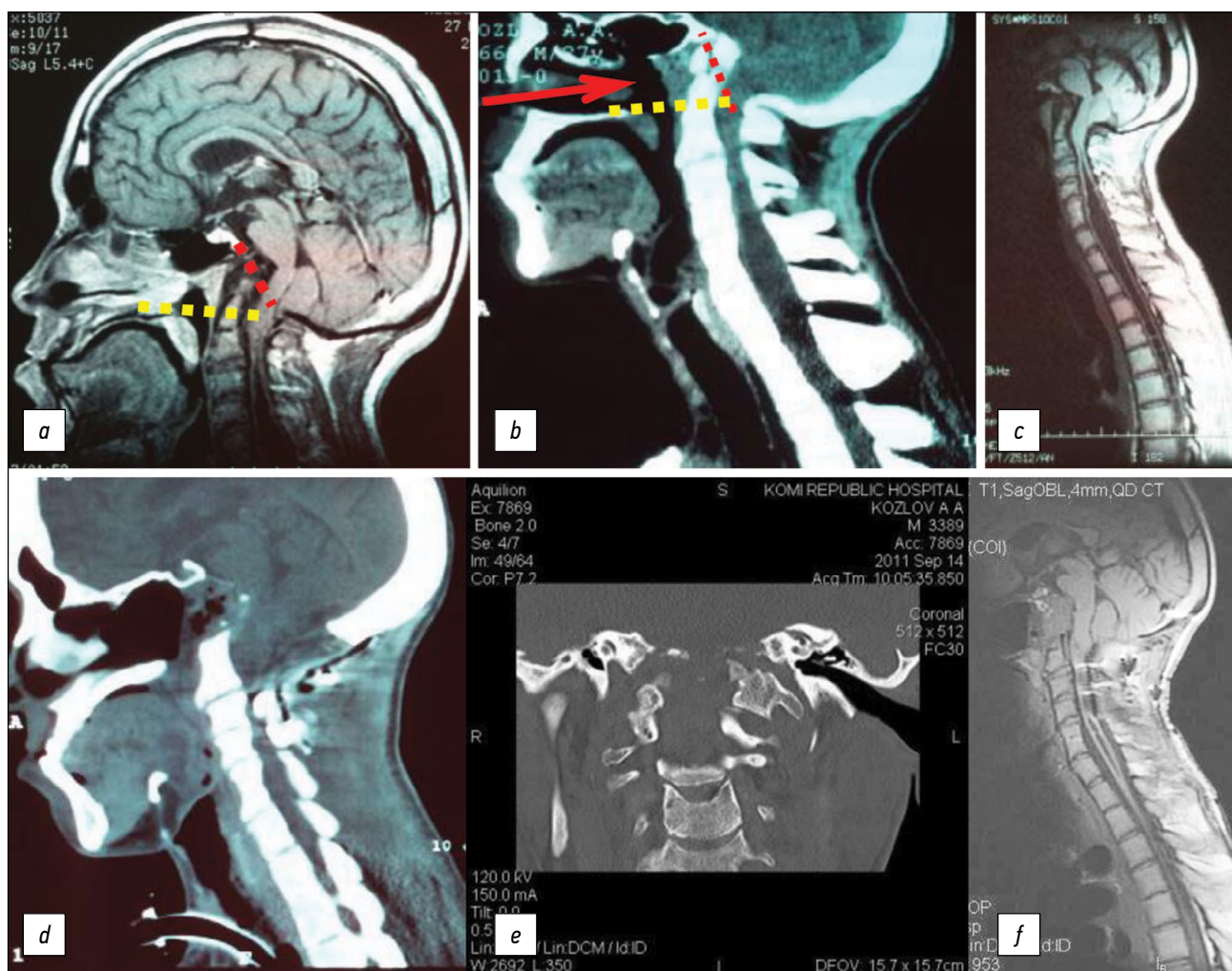


Fig. 2. Neuroimaging studies of patient K., 27 years old, before and after surgery.

Note. *a* — magnetic resonance imaging (MRI) before surgery. *b* — spiral computed tomography (SCT) before surgery. Invagination of the C_{II} vertebra odontoid compression of the medulla oblongata is determined. The red dotted line is the line of the plane of McRae's foramen magnum. The yellow dotted line indicates the Chamberlain line. The red arrow indicates the direction of access. The operating angle is 25° . *c* — MRI before surgery, syringomyelic cyst C_{III} – Th_{VII} . In the clinical picture — headache, hemiparesis 4 points. *d* — SCT 7 days after the operation. *e* — SCT 3 months after surgery. *f* — MRI of the head and neck in the sagittal projection in T_1 mode. Decompression of the medulla oblongata and spinal cord, almost complete regression of the giant syringomyelic cyst.

the complete decompression of the stem structures at the intraoperative stage of treatment.

In two cases (the first two surgeries), at the last stages of the odontoid process removal, point damage to the DM was registered with the development of intraoperative cerebrospinal fluid leakage. Plastic surgery was performed with TachoComb and fibrin thrombin glue. However, in one of these cases, on the fourth day after the surgery, nasal cerebrospinal fluid leak and meningitis developed. As a result, a revision surgery was performed with layer-by-layer plastic surgery of the defect with autofascia and autofat. Damage to the main vessels was not observed in any of the cases. The average blood loss was 300 ml. The inclusion of the stabilization stage in the surgery increased blood loss by 500 ml.

In the range of complications, the development of pneumonia was also registered in one case after surgery.

Clinical symptom assessment was performed at the time of patient discharge. Positive changes were noted in two patients with initial tetraparesis, as they experienced a complete restoration of strength in the limbs. In one patient without initial motor impairment, deterioration was noted with the development of tetraparesis up to four points. In three out of four patients with cranialgia after surgery, regression of headache was recorded, while in one patient, no dynamics was registered. The only patient with ataxy showed regression of unsteady gait after surgery. All patients with sensory abnormalities had their regression in the early postoperative period (Fig. 3). A patient with Arnold–Chiari anomaly in the early postoperative period (day 7 after surgery) had a partial redislocation from the cerebellar tonsils of 19–15 mm and further redislocation up to 7 mm during 3 months of follow-up.

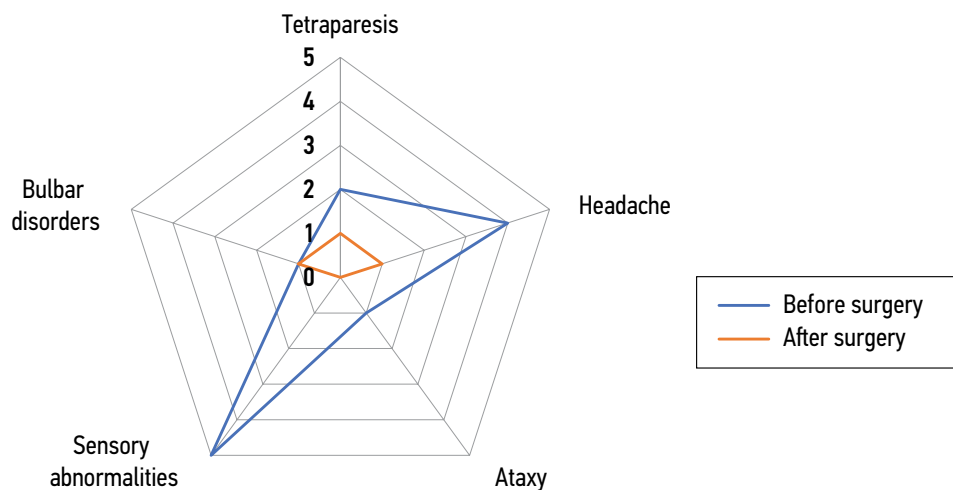


Fig. 3. Symptoms dynamics after surgery in the main group of patients (according to the number of patients).

The median duration of hospital stay after odontoidectomy was 12 days \pm 18.9 (7–52 days). The longest hospital stay was 52 days in a patient with postoperative cerebrospinal fluid leakage and meningitis.

Analysis of the results of microsurgical transoral odontoidectomy

The results of surgical treatment were evaluated based on a retrospective analysis of the case histories of 24 patients whose odontoid process of the C_{II} vertebra was removed microsurgically transorally.

In 11 patients, the stabilizing surgery was performed single-staged. Among them, eight patients underwent OSD as stage 1 of the surgery, while in three patients, the stage 2 (anterior stabilization using an individual stabilizing system) was performed immediately after the removal of the odontoid process. In seven patients, stabilization was performed on average within a year prior to the main stage of surgical treatment. Additionally, in three cases, OSD was performed within 2 weeks after odontoidectomy. OSD was performed using the Vertex hook system in 11 cases, with the DM screw system in four cases, and with the Summit system in two cases. In one patient diagnosed with an invaginated odontoid process of the C_{II} vertebra, CVJ stabilization was not performed, despite the absence of assimilation of the C_I vertebra with the skull, and after 6 months of wearing a Philadelphia collar, the CVJ stabilization was recorded. In seven cases, OSD was accompanied by laminectomy at the C_I – C_{II} level.

A tracheostome was made in all patients prior to surgery. On average, decannulation was performed 11 days after surgery. The mean surgery time was 400 min, and the median duration of odontoidectomy was 380 min ([320; 450]). The OSD as stage 1 prolonged the surgery by 525 min (median [480; 550]).

In five cases, trepanation of the lower parts of the clivus was performed to expand the approach zone. These cases

involved situations where the apex of the odontoid process was behind the lower part of the clivus. Additionally, trepanation of the C_{II} vertebral body was performed in all cases. Complete resection of the odontoid process was achieved in 21 cases. In one case, dorsal cortical plastic surgery of the odontoid process was left; however, decompression of the stem structures was achieved. In another case, only half of the odontoid process was removed, which required repeated surgery, after which the odontoid process was completely removed. Furthermore, in one case, due to an orientation error in the surgical wound, instead of the odontoid process, trepanation of the anterior parts of the occipital bone condyle was performed (the error from the midline was 4 mm), and as a result, the patient underwent repeated surgery the next day, and the odontoid process was completely removed.

In two cases, at the last stages of the odontoid process removal, the DM damage and intraoperative cerebrospinal fluid leakage were noted. In case 1, plastic repair with TachoComb was performed. In case 2, plastic repair with TachoComb, autofat, and autofascia was performed. None of the patients developed meningitis or cerebrospinal fluid leakage in the postoperative period. In case 1, pneumonia developed after surgery.

In 15 cases, oral nutrition was started 3–4 days before decannulation. In four cases, the start of oral nutrition coincided with the day of decannulation. In the remaining three cases, due to bulbar disorders, oral nutrition was initiated 7–10 days after decannulation. In two cases, decannulation was not performed during hospitalization due to persistent bulbar disorders. The average time to start oral nutrition was 8.3 days.

In any case, damage to the main vessels was not registered. The average blood loss in patients who underwent posterior stabilization simultaneously with odontoidectomy was 1,040 ml. In patients who did not undergo stabilization or who underwent simultaneous anterior stabilization, the average blood loss was 416 ml.

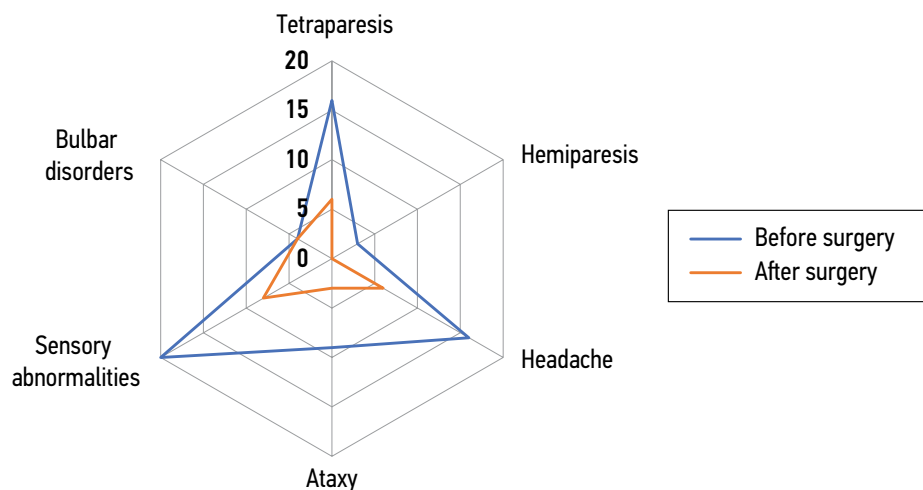


Fig. 4. Symptoms dynamics after surgery in the control group of patients (according to the number of patients).

Assessment of clinical symptoms was performed at the time of discharge of the patient from the hospital. In 10 out of 16 patients with initial tetraparesis, positive changes were noted in the form of increased strength in the limbs. None of the patients without initial motor impairment ($n=5$) had any of these in the postoperative period. All patients with initial hemiparesis ($n=3$) also showed improvement in the form of increased strength in the limbs. In 10 out of 16 patients with preoperative cranialgia, it regressed after surgery, while in six patients; it remained at the same level. Six out of nine patients had regression of ataxy.

In 12 out of 20 patients, regression of sensory abnormalities in the postoperative period was registered. In one out of four patients with bulbar disorders, improvement was registered. In two patients, the disorder degree persisted at the preoperative level, and in one case, it aggravated. In one patient, bulbar disorders occurred after surgery but regressed by the day 26 of the postoperative period. The changes in the clinical presentation over time are presented in Fig. 4.

The median duration of hospital stay after odontoidectomy was 18 days (11.5; 28.5). The longest hospital stay was 55 days in a female patient with a triple suture dehiscence on the posterior wall of the oropharynx in the postoperative period (clinical example in Fig. 5). Female patient N, aged 13, was admitted to the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery. MRI and CT revealed platybasia, an invaginated odontoid process with compression of the stem structures (Fig. 5). In the neurological status, there was spastic tetraparesis (four points), bulbar disorders, and ataxy.

Adverse events

The incidence of surgical complications (cerebrospinal fluid leak, meningitis, and wound dehiscence) was not statistically significantly higher in the main group (20%) than in the control group (5%; $p > 0.05$; Fisher's exact test; Table 3).

DISCUSSION

Discussion of the main study result

This study focused on the analysis of surgical treatment outcomes in patients with invaginated odontoid process, which compressed stem structures. The main indication for surgical treatment of pathological formations of the ventral CVJ, including in the presence of an invaginated odontoid process, is the compression of the brain stem and upper cervical segments of the spinal cord [82]. If the compression of the stem structures can be reduced by distraction, then posterior stabilization after distraction can only be performed, while stabilization provides a long-term effect of distraction [32, 83]. In cases of impossibility of distraction and progression of neurological symptoms, decompression of the stem structures and stabilization of the upper cervical segments of the spine are indicated [84]. Various approaches have been proposed for the treatment of such pathological processes, including transoral and transnasal endoscopic approaches [2, 10, 85–87].

With endoscopic transnasal approach, the surgical field is limited by the nasal and palatine bones, through which two lines are drawn, namely, the nasopalatine line proposed by A. Kassam (the line connecting the rhinion with the posterior edge of the hard palate), and the nasoclival line proposed by A. Shkarubo (the line connecting the rhinion and the lower clivus), resulting in a triangular shape of the surgical corridor [74, 88]. This corridor provides approach to the entire ventral CVJ in the median plane [10, 83]. In order to expand the approach zone in the caudal direction, trepanation of the posterior hard palate [2], its thinning to increase the excursion of the instruments [59], or a transseptal approach with trepanation of the posterior sections of the nasal septum [40] are used. On the sides, the surgical field is limited by the Eustachian tubes, medial pterygoid processes and paraclival sections of the internal carotid arteries. Orientation is possible using both neuronavigation and intraoperative CT/MRI [29].

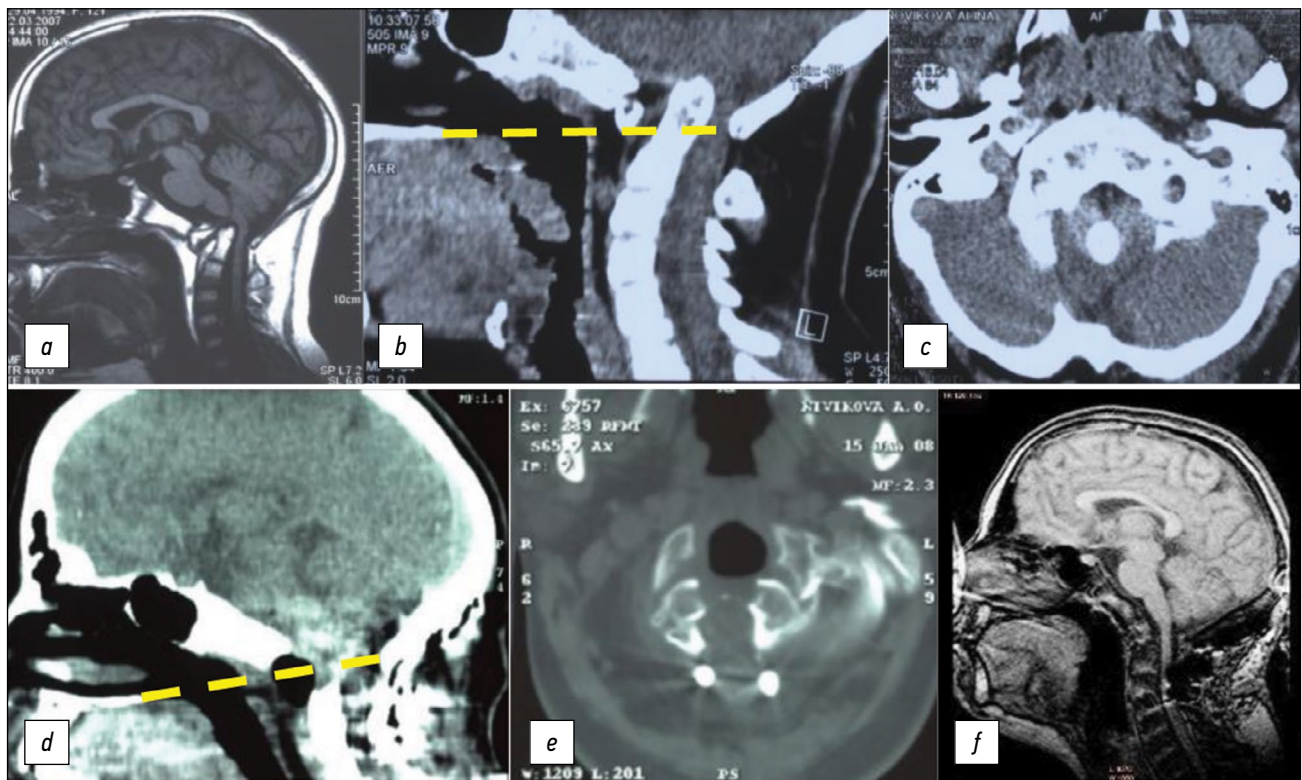


Fig. 5. Neuroimaging studies of patient N., 13 years old, before and after surgery.

Note. *a* — MRI in T₁ mode in the sagittal projection. *b* — SCT in the sagittal projection. *c* — SCT in axial projection. Platybasia, invagination of the odontoid is determined. The yellow dotted line is the Chamberlain line. The clinical presentation — a violation of swallowing, speech, weakness in the limbs, unsteadiness and instability when walking. *d* — SCT immediately after surgery (transoral odontoidectomy) in the axial projection. *e* — SCT immediately after the operation in the sagittal projection. *f* — MRI 2 years after surgery in the sagittal projection. There is decompression of the anterior spinal cord. The yellow dotted line is the Chamberlain line. On the 14th day after the operation, the sutures were removed from the posterior pharyngeal wall. The tracheostomy was removed on the 23rd day after the intervention. She was transferred to independent nutrition on the 23rd day after the operation (before that, nutrition was carried out through a nasogastric tube). In the neurological status: regression of tetraparesis, bulbar disorders. On the 43rd day after the intervention, the patient was discharged in a satisfactory condition.

Table 3. Surgical treatment complications

Complication	Main group, <i>n</i> (%)	Control group, <i>n</i> (%)
Cerebrospinal fluid leak	1 (20)	0 (0)
Meningitis	1 (20)	0 (0)
Wound dehiscence on the posterior pharynx	0 (0)	2 (8.3)
Pneumonia	1 (20)	1 (4.1)

According to the literature, the average rate of regression of neurological symptoms after transnasal odontoidectomy is 94% compared with 90% after transoral surgery [89]. It is important to note that there are no reported cases in the literature where neurological status worsened after endoscopic transnasal odontoidectomy, whereas the incidence of status worsening after transoral odontoidectomy is 0.9% [89]. In one case in this series, the emergence of tetraparesis motor disorders, more pronounced in the legs, was noted.

Since all patients in both groups achieved complete decompression of the stem structures, there was no significant difference in the dynamics of the clinical presentation between the groups. The most frequent symptoms, such as headache, motor and sensory abnormalities, regressed with

a comparable frequency in both groups. This indicates the effectiveness of the technique applied and corresponds to the literature data, highlighting the efficiency of the actual anterior decompression [23, 24, 46, 90, and 91].

Due to the fact that transnasal approach to the odontoid process of the C_{II} vertebra is performed through a small incision in the nasopharynx, the influence of saliva and bacteria on the wound is reduced compared with transoral approach, which, accordingly, reduces the risk of infectious complications [23, 37, and 92]. Another advantage compared with transoral approach is the top-down approach trajectory, which allows better control of the stages of trepanation of bone structures and visualization of the ligamentous apparatus of the tooth from a more convenient position [16].

An important advantage of the transnasal approach is the absence of the need to install a tracheostomy, despite the literature suggesting its possible necessity in the postoperative period (due to transient velo-pharyngeal insufficiency or bulbar disorders), with a reported frequency of 2–3% [25, 72, 89]. This significantly differs from the rate among patients operated on transorally (26.3%) [93]. In the postoperative period in the group 1, there was no need to install a tracheostomy in any case, and patients who had it installed before the surgery underwent the decannulation procedure at the standard time, and oral nutrition for the patients of the main group was started at an earlier time, which was due, among other things, to a lower risk of wound infection and absence of risk of suture dehiscence on the soft palate and posterior pharyngeal wall, the incidence of which was 8.3% in group 2. According to the literature, the incidence of suture dehiscence averages 2% [89]. An equally important factor in the early start of oral nutrition is the lower (up to 6% according to the literature) probability of velo-pharyngeal insufficiency in patients after endoscopic transnasal odontoidectomy with the development of nasal voice and reflux of food into the nasal cavity, which is due to a lower concentration of pharyngeal plexus fibers in the incision area with endoscopic transnasal approach and absence of need to dissect the soft palate [9, 25, 89, 91]. In the study group, no such complications were registered after transnasal odontoidectomy in any case.

Complications

Transnasal endoscopic odontoidectomy is a new method, with several hundred surgeries described. Consequently, the question of possible intraoperative complications and postoperative complications becomes quite relevant. Like any surgery, the main possible intraoperative complication is bleeding. In none of the groups of our study, there was an injury to the great vessel, with a 2% incidence of such complications described in the literature [89]. However, the potential risk of such problems always exists, and it is always more difficult to achieve hemostasis in the conditions of endoscopic approach compared with the microsurgical technique used in transoral surgery. First of all, this is due to the lack of the possibility of full-fledged bimanual work. Nevertheless, the use of modern hemostatic agents and instruments designed for endoscopic endonasal surgery, including diamond burs and bipolar coagulation, as well as warm irrigation, allows for hemostasis [94]. It is also noteworthy that the level of blood loss observed in the study groups was comparable, which demonstrates that the transnasal endoscopic approach can be used on a par with microsurgical transoral approach. One of the possible complications that can be expected in the postoperative period is nasal hemorrhage, which occurs in 2% of cases [60, 62, 90, 95]. Similar to the approach to the sinus of the sphenoid bone, bleeding most often occurs from the

branches of the sphenopalatine artery, and the only option for stopping it is wound revision and vessel coagulation. No such complications were noted in the series of cases analyzed.

Another possible complication is intraoperative cerebrospinal fluid leak, which in the case of odontoidectomy occurs due to the DM thinning in the site of the invaginated odontoid process and dense adhesion of the cortical plate to the DM, which is why it is most often noted at the very final stages of odontoidectomy. Despite the plastic surgery, there is always a risk of cerebrospinal fluid leakage in the postoperative period, which we recorded in one out of five (20%) patients of the study group, and which is comparable with literature data, where the frequency of such complications is approximately 2–20% (in an average of 6%), while the incidence of meningitis is on average 4% [28, 49, 54, 60, 89]. Such a high incidence is associated with the peculiarities of reconstruction of the osteodural defect in the CVJ area and clivus due to the size of the defects, the pronounced flow of cerebrospinal fluid, the absence of supporting structures, and the influence of gravity [92, 96]. In transoral surgery of the invaginated odontoid process, the incidence of cerebrospinal fluid leakage averages 1%, as well as that of meningitis, which is due to layer-by-layer suturing of the posterior wall of the nasopharynx and the possibility of more delicate exposure of the cortical plate of the odontoid process, which, accordingly, reduces the risk of injury to the DM [89]. The literature presents various techniques for repairing similar DM defects [1, 20, 23, 26, and 37]. The main methods of plastic surgery of a bone-dural defect in this area are a combination of methods of free transplantation (fat and fascia) and pedicled flaps. The “triple F” (fat, fascia, and flap) technique is mainly used [94, 97, 98]. Currently, as a rule, plastic repair is applied using a mucoperiosteal graft from the nasal septum and a graft formed from the posterior pharyngeal wall with or without autofat and autofascia. It is also possible to suture the posterior pharyngeal wall, which, of course, is more convenient to perform under conditions of microsurgical transoral approach.

According to the literature, extracranial complications after transoral odontoidectomy are most often cardiac and pulmonological ones, which is mainly associated with tracheostomy and initial respiratory disorders [89, 99]. In the series described by us, similar complications were also registered in the form of pneumonia, which occurred in one case from each group of patients.

Stabilization of the craniovertebral junction

It is generally accepted that the removal of the anterior semi-ring of vertebra C₁ and the odontoid process of vertebra C_{II} leads to instability of the atlanto-axial articulation, requiring internal or external fixation [72, 75, and 100]. Menezes and VanGilder noted in their work that 72% of 72 operated patients after odontoidectomy developed

postoperative CVJ instability, which required posterior stabilization in a series of their patients (72 patients) [101]. The same data were also provided by Dickman on the experience of treating 28 patients, where in 70% of cases, stabilizing surgeries were required after resection of the odontoid process [102, 103].

In the absolute majority of cases, standard OSD is performed either before anterior decompression or after it [15, 26, 29, 37, and 104]. In some cases, C_I-C_{II} fixation is performed [20, 27, and 31]. At the same time, Chang et al. in a retrospective series of patients who underwent anterior odontoidectomy and various options for posterior stabilization (OSD with C_I-C_{II}-C_{III} fixation, OSD with C_{II}-C_{III} fixation, that of C_I-C_{II} only), using their algorithm (a triangle including the lower clivus point, posteroinferior point of the C_{II} vertebral body and the point of the odontoid process closest to the trunk), noted that the best decompression results are achieved in those who undergo occipitocervical stabilization with the inclusion of C_I-C_{II} segments [105].

An analysis of literature reveals the development of anterior stabilization methods that are not inferior in their effectiveness to the posterior one, which enables to perform the single-staged surgery, without turning over [103, 106–109]. A technique for anterior stabilization of the CVJ using a bone autograft has also been described [110]. To avoid the CVJ destabilization after odontoidectomy, some authors suggest removing the odontoid process without resection of the anterior semi-ring of the C_I vertebra by intraoperative repositioning of the head [41, 46, and 59]. Stabilization can also be omitted during fusion of the posterior semi-ring of the C_I vertebra and the occipital bone [32].

Study limitations

- Impossibility to trace catamnesis in all patients due to their unavailability
- No randomization of approach choice
- Large time scatter between the start and end of the enrollment of patients

CONCLUSION

Currently, the endoscopic transnasal approach is gradually replacing the transoral approach in a number of patients who require anterior odontoidectomy. At the same time, the analysis of literature data highlights the development of this technique, considering an increasing number of aspects of surgical treatment, including optimization of the size of the surgical field, attempts to perform C_I-preserving surgeries, and determination of a sufficient amount of trepanation of bone structures. However, unequivocal indications for the use of transoral or transnasal approach are not currently defined. Such indicators as nasopalatal and nasoclival lines are used,

but in most cases, the choice of approach depends on the equipment of the clinic and the skills of the surgeon. Nevertheless, the analysis of literature over the past 20 years shows a gradual shift in the emphasis of surgical treatment of patients with basilar impression toward minimally invasive techniques that can reduce the incidence of postoperative complications, shorten the patient's stay in the hospital and reduce the frequency of stabilizing surgeries, which can significantly improve the quality of life of patients due to the absence of impaired mobility of the cervical spine. In our opinion, a promising field could be the development and implementation of a method for simultaneous anterior stabilization during endoscopic transnasal odontoidectomy using autografts or allomaterials.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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.Н. Шкарубо, А.Г. Назаренко, А.А. Кулешов, Н.А. Коновалов — концепция и дизайн исследования, редактирование рукописи; И.В. Чернов, И.В. Андреев — сбор и обработка материала, написание текста рукописи; И.Н. Лисянский — сбор и обработка материала, статистический анализ данных; М.Е. Синельников — написание текста рукописи.

Author's contribution. A.N. Shkarubo, A.G. Nazarenko, A.A. Kuleshov, N.A. Konovalov — concept and design of research, editing of the manuscript; I.V. Chernov, I.V. Andreev — collection and processing of material, writing the text of the manuscript; I.N. Lisyansky — collection and processing of material, statistical analysis of data; M.E. Sinelnikov — writing the text of the manuscript. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

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

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. Pacca P., Tardivo V., Pecorari G., et al. The Endoscopic Endonasal Approach to Craniovertebral Junction Pathologies: Surgical Skills and Anatomical Study // *Acta Neurochir Suppl.* 2019. N 125. P. 25–36. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_5
2. Ponce-Gómez J.A., Ortega-Porcayo L.A., Soriano-Barón H.E., et al. Evolution from microscopic transoral to endoscopic endonasal odontoidectomy // *Neurosurg Focus.* 2014. Vol. 37, N 4. P. E15. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS14301
3. Tubbs R.S., Hallock J.D., Radcliff V., et al. Ligaments of the craniocervical junction // *J Neurosurg Spine.* 2011. Vol. 14, N 6. P. 697–709. doi: 10.3171/2011.1.SPINE10612
4. Liao C., Visocchi M., Zhang W., et al. The Relationship Between Basilar Invagination and Chiari Malformation Type I: A Narrative Review // *Acta Neurochir Suppl.* 2019. N 125. P. 111–118. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_16
5. Vangilder J.C., Menezes A.H. Craniovertebral junction abnormalities // *Clin Neurosurg.* 1983. N 30. P. 514–530. doi: 10.1093/neurosurgery/30.cn_suppl_1.514
6. Menezes A.H. Craniovertebral junction database analysis: incidence, classification, presentation, and treatment algorithms // *Child's Nerv Syst.* 2008. Vol. 24, N 10. P. 1101–1118. doi: 10.1007/s00381-008-0605-9
7. Naderi S., Crawford N.R., Melton M.S., et al. Biomechanical analysis of cranial settling after transoral odontoidectomy // *Neurosurg Focus.* 1999. Vol. 6, N 6. P. E9. doi: 10.3171/foc.1999.6.6.10
8. Cavallo L.M., Cappabianca P., Messina A., et al. The extended endoscopic endonasal approach to the clivus and cranio-vertebral junction: anatomical study // *Child's Nerv Syst.* 2007. Vol. 23, N 6. P. 665–671. doi: 10.1007/s00381-007-0332-7
9. Perrini P., Benedetto N., Di Lorenzo N. Transoral approach to extradural non-neoplastic lesions of the craniovertebral junction // *Acta Neurochir (Wien).* 2014. Vol. 156, N 6. P. 1231–1236. doi: 10.1007/s00701-014-2057-1
10. Kassam A.B., Snyderman C., Gardner P., et al. The Expanded Endonasal Approach: A Fully Endoscopic Transnasal Approach and Resection of the Odontoid Process: Technical Case Report // *Oper Neurosurg.* 2005. Vol. 57, N 1, Suppl. P. E213. Discussion E213. doi: 10.1227/01.NEU.0000163687.64774.E4
11. Шкарубо А.Н., Коновалов Н.А., Зеленков П.В., и др. Эндоскопическое эндоназальное удаление инвагинированного зубовидного отростка С2 позвонка // *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко.* 2015. Т. 79, № 5. С. 82–90. doi: 10.17116/neiro201579582-90
12. Jho H.D., Ha H.G. Endoscopic Endonasal Skull Base Surgery: Part 3 — The Clivus and Posterior Fossa // *Minim Invasive Neurosurg.* 2004. Vol. 47, N 1. P. 16–23. doi: 10.1055/s-2004-818347
13. Kshetry V.R., Thorp B.D., Shriver M.F., et al. Endoscopic Approaches to the Craniovertebral Junction // *Otolaryngol Clin North Am.* 2016. Vol. 49, N 1. P. 213–226. doi: 10.1016/j.otc.2015.08.003
14. Laufer I., Greenfield J.P., Anand V.K., et al. Endonasal endoscopic resection of the odontoid process in a nonachondroplastic dwarf with juvenile rheumatoid arthritis: feasibility of the approach and utility of the intraoperative Iso-C three-dimensional navigation // *J Neurosurg Spine.* 2008. Vol. 8, N 4. P. 376–380. doi: 10.3171/SPI/2008/8/4/376
15. Zwagerman N.T., Tormenti M.J., Tempel Z.J., et al. Endoscopic endonasal resection of the odontoid process: clinical outcomes in 34 adults // *J Neurosurg.* 2018. Vol. 128, N 3. P. 923–931. doi: 10.3171/2016.11.JNS16637
16. Aldahak N., Richter B., Bemora J.S., et al. The endoscopic endonasal approach to cranio-cervical junction: the complete panel // *Pan Afr Med J.* 2017. N 27. P. 277. doi: 10.11604/pamj.2017.27.277.12220
17. Simal-Julián J.A., Miranda-Lloret P., Sanchis-Martín M.R., et al. Endonasal Odontoidectomy in Basilar Invagination // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S14–S15. doi: 10.1055/s-0040-1714406
18. Zoia C., Bongetta D., Luzzi S. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S10–S11. doi: 10.1055/s-0040-1714409
19. Falco J.J., Solares C.A., Reyes C. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S8–S9. doi: 10.1055/s-0040-1705161
20. Heller R.S., Glaspy T., Mhaskar R., et al. Endoscopic Endonasal Versus Transoral Odontoidectomy for Non-Neoplastic Craniovertebral Junction Disease: A Case Series // *Oper Neurosurg (Hagerstown).* 2021. Vol. 21, N 6. P. 380–385. doi: 10.1093/ons/opab303
21. Algattas H.N., Okonkwo D.O., Snyderman C., et al. Staged Repositioning in Endoscopic Endonasal Odontoidectomy Maximizes Decompression While Allowing Preservation of the C1 Anterior Arch: A Technical Note // *World Neurosurg.* 2021. N 151. P. 118–123. doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.105
22. Liu J.K., Dodson V.N., Zhao K., Eloy J.A. Endoscopic Endonasal Transclival Odontoidectomy for Basilar Invagination: Operative Video and Technical Nuances // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S16–S18. doi: 10.1055/s-0040-1715522
23. London N.R., Mohyeldin A., Carrau R.L., Prevedello D.M. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy with Nasopharyngeal Flap Reconstruction // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S12–S13. doi: 10.1055/s-0040-1714408
24. Veiceschi P., Pozzi F., Restelli F., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy Preserving Atlantoaxial Stability: a Pediatric Case // *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2021. N 82, Suppl 1. P. S2–S3. doi: 10.1055/s-0039-3402797
25. Husain Q., Kim M.H., Hussain I., et al. Endoscopic endonasal approaches to the craniovertebral junction: The Otolaryngologist's perspective // *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2020. Vol. 6, N 2. P. 94–99. doi: 10.1016/j.wjorl.2020.01.001
26. Grose E., Moldovan I.D., Kilty S., et al. Clinical Outcomes of Endoscopic Endonasal Odontoidectomy: A Single-Center Experience // *World Neurosurg.* 2020. N 137. P. e406–e415. doi: 10.1016/j.wneu.2020.01.219
27. Butenschoen V.M., Wostrack M., Meyer B., Gempt J. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy for Ventral Decompression of the Craniovertebral Junction: Surgical Technique and Clinical Outcome in a Case Series of 19 Patients // *Oper Neurosurg (Hagerstown).* 2020. Vol. 20, N 1. P. 24–31. doi: 10.1093/ons/opaa331
28. Yeh M.-Y., Huang W.-C., Wu J.-C., et al. Suture Repair in Endoscopic Surgery for Craniovertebral Junction // *Neurospine.* 2019. Vol. 16, N 2. P. 257–266. doi: 10.14245/ns.1938174.087
29. Ogiwara T., Miyaoka Y., Nakamura T., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy in the Hybrid Operating Room // *World Neurosurg.* 2019. N 131. P. 137–140. doi: 10.1016/j.wneu.2019.07.197
30. Alalade A.F., Ogando-Rivas E., Forbes J., et al. A Dual Approach for the Management of Complex Craniovertebral Junction Abnormalities: Endoscopic Endonasal Odontoidectomy and Posterior

- Decompression with Fusion // *World Neurosurg* X. 2019. N 2. P. 100010. doi: 10.1016/j.wnsx.2019.100010
- 31.** Pacca P., Marengo N., Di Perna G., et al. Endoscopic Endonasal Approach for Urgent Decompression of Craniovertebral Junction in Syringobulbia // *World Neurosurg*. 2019. N 130. P. 499–505. doi: 10.1016/j.wneu.2019.07.004
- 32.** Vitali M., Canevari F.R., Cattalani A., et al. Stability-Sparing Endoscopic Endonasal Odontoidectomy in a Malformative Craniovertebral Junction: Case Report and Biomechanical Considerations // *Acta Neurochir Suppl*. 2019. N 125. P. 229–233. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_32
- 33.** Abbritti R.V., Esposito F., Angileri F.F., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy and Posterior Fusion in a Single-Stage Surgery: Description of Surgical Technique and Outcome // *Acta Neurochir Suppl*. 2019. N 125. P. 197–207. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_29
- 34.** Ottenhausen M., Alalade A.F., Rumalla K., et al. Quality of Life After Combined Endonasal Endoscopic Odontoidectomy and Posterior Suboccipital Decompression and Fusion // *World Neurosurg*. 2018. N 116. P. e571–e576. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.041
- 35.** Grin A., Lvov I., Godkov I., et al. Endoscopic endonasal resection of the odontoid process in a patient with chronic injury of the C1 transverse ligament // *Asian J Neurosurg*. 2018. Vol. 13, N 4. P. 1179. doi: 10.4103/ajns.AJNS_366_16
- 36.** Aldea S., Brauge D., Gaillard S.. How I do it: Endoscopic endonasal approach for odontoid resection // *Neurochirurgie*. 2018. Vol. 64, N 3. P. 194–197. doi: 10.1016/j.neuchi.2017.12.005
- 37.** Tang D., Roxbury C., D'Anza B., et al. Technical notes on the endoscopic endonasal approach to the craniovertebral junction for odontoidectomy // *Am J Rhinol Allergy*. 2018. Vol. 32, N 2. P. 85–86. doi: 10.1177/1945892418762659
- 38.** Hussain I., Schwartz T.H., Greenfield J.P. Endoscopic Endonasal Approach to the Upper Cervical Spine for Decompression of the Cervicomedullary Junction Following Occipitocervical Fusion // *Clin Spine Surg*. 2018. Vol. 31, N 7. P. 285–292. doi: 10.1097/BSD.0000000000000620
- 39.** Herrera R., Rojas H., Estramian A., et al. Adult Grisel Syndrome and Cervical Skull instability. Transnasal endoscopic odontoidectomy and occipito-cervical fusion. Case report and literature review // *Surg Neurol Int*. 2018. N 9, Suppl 1. P. S8–S15. doi: 10.4103/sni.sni_281_17
- 40.** Rossini Z., Milani D., Nicolosi F., et al. Endoscopic Transseptal Approach with Posterior Nasal Spine Removal: A Wide Surgical Corridor to the Craniovertebral Junction and Odontoid: Technical Note and Case Series // *World Neurosurg*. 2018. N 110. P. 373–385. doi: 10.1016/j.wneu.2017.11.153
- 41.** Iacoangeli M., Nasi D., Colasanti R., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy with Anterior C1 Arch Preservation in Rheumatoid Arthritis: Long-Term Follow-Up and Further Technical Improvement by Anterior Endoscopic C1-C2 Screw Fixation and Fusion // *World Neurosurg*. 2017. N 107. P. 820–829. doi: 10.1016/j.wneu.2017.08.063
- 42.** Singh H., Rote S., Jada A., et al. Endoscopic endonasal odontoid resection with real-time intraoperative image-guided computed tomography: report of 4 cases // *J Neurosurg*. 2018. Vol. 128, N 5. P. 1486–1491. doi: 10.3171/2017.1.JNS162601
- 43.** Sexton M.A., Abcejo A.S., Pasternak J.J. Comparison of Anesthetic Management and Outcomes in Patients Having Either Transnasal or Transoral Endoscopic Odontoid Process Surgery // *J Neurosurg Anesthesiol*. 2018. Vol. 30, N 2. P. 179–183. doi: 10.1097/ANA.0000000000000420
- 44.** Chibbaro S., Cebula H., Aldea S., et al. Endonasal Endoscopic Odontoidectomy in Ventral Diseases of the Craniocervical Junction: Results of a Multicenter Experience // *World Neurosurg*, 2017. N 106. P. 382–393. doi: 10.1016/j.wneu.2017.06.148
- 45.** Zenga F., Pacca P., Tardivo V., et al. Endoscopic Endonasal Approach to the Odontoid Pathologies // *World Neurosurg*. 2016. N 89. P. 394–403. doi: 10.1016/j.wneu.2016.02.011
- 46.** Zenga F., Marengo N., Pacca P., et al. C1 anterior arch preservation in transnasal odontoidectomy using three-dimensional endoscope: A case report // *Surg Neurol Int*. 2015. N 6. P. 192. doi: 10.4103/2152-7806.172696
- 47.** Burns T., Mindea S., Pendharkar A., et al. Endoscopic Transnasal Approach for Urgent Decompression of the Craniocervical Junction in Acute Skull Base Osteomyelitis // *J Neurol Surg Rep*. 2015. Vol. 76, N 1. P. e37–e42. doi: 10.1055/s-0034-1395492
- 48.** Zoli M., Mazzatenta D., Valluzzi A., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy // *Neurosurg Clin N Am*. 2015. Vol. 26, N 3. P. 427–436. doi: 10.1016/j.nec.2015.03.002
- 49.** Kahilogullari G., Meco C., Zaimoglu M., et al. Pneumocephalus after endoscopic odontoidectomy in a pediatric patient: the lesson learned // *Child's Nerv Syst*. 2015. Vol. 31, N 9. P. 1595–1599. doi: 10.1007/s00381-015-2740-4
- 50.** La Corte E., Aldana P.R., Ferrolì P., et al. The rhinopalatine line as a reliable predictor of the inferior extent of endonasal odontoidectomies // *Neurosurg Focus*. 2015. Vol. 38, N 4. P. E16. doi: 10.3171/2015.1.FOCUS14777
- 51.** Chaudhry N.S., Ozpinar A., Bi W.L., et al. Basilar Invagination: Case Report and Literature Review // *World Neurosurg*. 2015. N 83. P. 1180.e7–1180.e11. doi: 10.1016/j.wneu.2015.02.007
- 52.** Goldschlager T., Härtl R., Greenfield J.P., et al. The endoscopic endonasal approach to the odontoid and its impact on early extubation and feeding // *J Neurosurg*. 2015. Vol. 122, N 3. P. 511–518. doi: 10.3171/2014.9.JNS14733
- 53.** Duntze J., Eap C., Kleiber J.-C., et al. Advantages and limitations of endoscopic endonasal odontoidectomy. A series of nine cases // *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014. Vol. 100, N 7. P. 775–778. doi: 10.1016/j.otsr.2014.07.017
- 54.** Yen Y.-S., Chang P.-Y., Huang W.-C., et al. Endoscopic transnasal odontoidectomy without resection of nasal turbinates: clinical outcomes of 13 patients // *J Neurosurg Spine*. 2014. Vol. 21, N 6. P. 929–937. doi: 10.3171/2014.8.SPINE13504
- 55.** Choudhri O., Mindea S.A., Feroze A., et al. Experience with intraoperative navigation and imaging during endoscopic transnasal spinal approaches to the foramen magnum and odontoid // *Neurosurg Focus*. 2014. Vol. 36, N 3. P. E4. doi: 10.3171/2014.1.FOCUS13533
- 56.** Mazzatenta D., Zoli M., Mascari C., et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014. Vol. 39, N 10. P. 846–853. doi: 10.1097/BRS.0000000000000271
- 57.** Nagpal T. Transnasal endoscopic removal of malformation of the odontoid process in craniovertebral anomaly: a case report // *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg*. 2013. Vol. 23, N 2. P. 123–126. doi: 10.5606/kbbihtisas.2013.80958
- 58.** Zenga F., Villaret A., Fontanella M., Nicolai P. Endoscopic transnasal odontoidectomy using ultrasonic bone curette: Technical case report // *Neurol India*. 2013. Vol. 61, N 1. P. 69–72. doi: 10.4103/0028-3886.108015
- 59.** Iacoangeli M., Gladi M., Alvaro L., et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy with anterior C1 arch preservation in elderly patients affected by rheumatoid arthritis // *Spine J*. 2013. Vol. 13, N 5. P. 542–548. doi: 10.1016/j.spinee.2013.01.043

60. Yu Y., Wang X., Zhang X., et al. Endoscopic transnasal odontoidectomy to treat basilar invagination with congenital osseous malformations // *Eur Spine J.* 2013. Vol. 22, N 5. P. 1127–1136. doi: 10.1007/s00586-012-2605-4
61. Rawal R.B., Shah R.N., Zanation A.M. Endonasal odontoidectomy for basilar impression and brainstem compression due to radiation fibrosis // *Laryngoscope.* 2013. Vol. 123, N 3. P. 584–587. doi: 10.1002/lary.23677
62. Patel A.J., Boatey J., Muns J., et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy in a child with chronic type 3 atlantoaxial rotatory fixation: case report and literature review // *Child's Nerv Syst.* 2012. Vol. 28, N 11. P. 1971–1975. doi: 10.1007/s00381-012-1818-5
63. Gladi M., Iacoangeli M., Specchia N., et al. Endoscopic transnasal odontoid resection to decompress the bulbo-medullary junction: a reliable anterior minimally invasive technique without posterior fusion // *Eur Spine J.* 2012. N 21, Suppl 1. P. S55–S60. doi: 10.1007/s00586-012-2220-4
64. Grammatica A., Bonali M., Ruscitti F., et al. Transnasal endoscopic removal of malformation of the odontoid process in a patient with type I Arnold-Chiari malformation: a case report // *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2011. Vol. 31, N 4. P. 248–252.
65. Cornelius J.F., Kania R., Bostelmann R., et al. Transnasal endoscopic odontoidectomy after occipito-cervical fusion during the same operative setting — technical note // *Neurosurg Rev.* 2011. Vol. 34, N 1. P. 115–121. doi: 10.1007/s10143-010-0295-0
66. Scholtes F., Signorelli F., McLaughlin N., et al. Endoscopic Endonasal Resection of the Odontoid Process as a Standalone Decompressive Procedure for Basilar Invagination in Chiari Type I Malformation // *Minim Invasive Neurosurg.* 2011. Vol. 54, N 4. P. 179–182. doi: 10.1055/s-0031-1283168
67. El-Sayed I.H., Wu J.-C., Dhillon N., et al. The Importance of Platybasia and the Palatine Line in Patient Selection for Endonasal Surgery of the Craniocervical Junction: A Radiographic Study of 12 Patients // *World Neurosurg.* 2011. N 76. P. 183–188. doi: 10.1016/j.wneu.2011.02.018
68. Gempt J., Lehmborg J., Grams A.E., et al. Endoscopic transnasal resection of the odontoid: case series and clinical course // *Eur Spine J.* 2011. Vol. 20, N 4. P. 661–666. doi: 10.1007/s00586-010-1629-x
69. Shkarubo A.N., Chernov I.V., Andreev D.N., et al. Expanded endoscopic transnasal odontoidectomy and posterior stabilization: a combined approach // *J Neurosurg Sci.* 2022. Vol. 66, N 6. P. 551–559. doi: 10.23736/S0390-5616.20.05014-6
70. Magrini S., Pasquini E., Mazzatenta D., et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy in a patient affected by down syndrome // *Neurosurgery.* 2008. Vol. 63, N 2. P. E373–E374. Discussion E374. doi: 10.1227/01.NEU.0000315285.84524.74
71. Wu J.-C., Huang W.-C., Cheng H., et al. Endoscopic Transnasal Transclival Odontoidectomy: A New Approach to Decompression: Technical Case Report // *Neurosurgery.* 2008. Vol. 63, N 1, Suppl 1. P. ONSE92–ONSE94. Discussion ONSE94. doi: 10.1227/01.NEU.0000313115.51071.D5
72. Nayak J.V., Gardner P.A., Vescan A.D., et al. Experience with the Expanded Endonasal Approach for Resection of the Odontoid Process in Rheumatoid Disease // *Am J Rhinol.* 2007. Vol. 21, N 5. P. 601–606. doi: 10.2500/ajr.2007.21.3089
73. Kassam A., Snyderman C.H., Mintz A., et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part I. Crista galli to the sella turcica // *J Neurosurg.* 2005. Vol. 19, N 1. P. 1–12. doi: 10.3171/foc.2005.19.1.5
74. Kassam A., Snyderman C.H., Mintz A., et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part II. Posterior clinoids to the foramen magnum // *Neurosurg Focus.* 2005. Vol. 19, N 1. P. E4.
75. Jho H.D., Ha H.G. Endoscopic Endonasal Skull Base Surgery: Part 2 — The Cavernous Sinus // *Minim Invasive Neurosurg.* 2004. Vol. 47, N 1. P. 9–15. doi: 10.1055/s-2004-818346
76. Charalampaki P., Ayyad A., Kockro R.A., Perneczky A. Surgical complications after endoscopic transsphenoidal pituitary surgery // *J Clin Neurosci.* 2009. Vol. 16, N 6. P. 786–789. doi: 10.1016/j.jocn.2008.09.002
77. Yamada S., Yamada S.M., Hirohata T., et al. Endoscopic Extracapsular Removal of Pituitary Adenoma: The Importance of Pretreatment of an Adjacent Unruptured Internal Carotid Artery Aneurysm // *Case Rep Neurol Med.* 2012. N 2012. P. 891847. doi: 10.1155/2012/891847
78. Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V., et al. Transoral Decompression and Stabilization of the Upper Cervical Segments of the Spine Using Custom-Made Implants in Various Pathologic Conditions of the Craniocervical Junction // *World Neurosurg.* 2018. N 109. P. e155–e163. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.124
79. Yang J., Jia Q., Peng D., et al. Surgical treatment of upper cervical spine metastases: a retrospective study of 39 cases // *World J Surg Oncol.* 2017. Vol. 15, N 1. P. 21. doi: 10.1186/s12957-016-1085-0
80. Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V., Vetrile M.S. Transoral Decompression and Anterior Stabilization of Atlantoaxial Joint in Patients with Basilar Impression and Chiari Malformation Type I: A Technical Report of 2 Clinical Cases // *World Neurosurg.* 2017. N 102. P. 181–190. doi: 10.1016/j.wneu.2017.02.113
81. Choi D., Crockard H.A. Evolution of Transoral Surgery // *Neurosurgery.* 2013. Vol. 73, N 2. P. 296–304. doi: 10.1227/01.neu.0000430324.24623.10
82. Jhawar S., Nunez M., Pacca P., et al. Craniocervical junction 360°: A combined microscopic and endoscopic anatomical study // *J Craniocervical Junction Spine.* 2016. Vol. 7, N 4. P. 204–216. doi: 10.4103/0974-8237.193270
83. de Almeida J.R., Zanation A.M., Snyderman C.H., et al. Defining the nasopalatine line: The limit for endonasal surgery of the spine // *Laryngoscope.* 2009. Vol. 119, N 2. P. 239–244. doi: 10.1002/lary.20108
84. Crockard H.A. The transoral approach to the base of the brain and upper cervical cord // *Ann R Coll Surg Engl.* 1985. Vol. 67, N 5. P. 321–325.
85. Dasenbrock H.H., Clarke M.J., Bydon A., et al. Endoscopic Image-Guided Transcervical Odontoidectomy // *Neurosurgery.* 2012. Vol. 70, N 2. P. 351–360. Discussion 359–360. doi: 10.1227/NEU.0b013e318230e59a
86. Sundaresan N., Galicich J.H., Lane J.M., Greenberg H.S. Treatment of odontoid fractures in cancer patients // *J Neurosurg.* 1981. Vol. 54, N 2. P. 187–192. doi: 10.3171/jns.1981.54.2.0187
87. Iyer R.R., Grimmer J.F., Brockmeyer D.L. Endoscopic transnasal/transoral odontoid resection in children: results of a combined neurosurgical and otolaryngological protocolized, institutional approach // *J Neurosurg Pediatr.* 2021. P. 1–8. doi: 10.3171/2020.12.PEDS20729
88. Shkarubo A.N., Nikolenko V.N., Chernov I.V., et al. Anatomical Aspects of the Transnasal Endoscopic Access to the Craniocervical Junction // *World Neurosurg.* 2020. N 133. P. e293–e302. doi: 10.1016/j.wneu.2019.09.011
89. Shriver M.F., Kshetry V.R., Sindwani R., et al. Transoral and transnasal odontoidectomy complications: A systematic review and

meta-analysis // *Clin Neurol Neurosurg*. 2016. N 148. P. 121–129. doi: 10.1016/j.clineuro.2016.07.019

90. Hankinson T.C., Grunstein E., Gardner P., et al. Transnasal odontoid resection followed by posterior decompression and occipitocervical fusion in children with Chiari malformation Type I and ventral brainstem compression // *J Neurosurg Pediatr*. 2010. Vol. 5, N 6. P. 549–553. doi: 10.3171/2010.2.PEDS09362

91. Van Abel K.M., Mallory G.W., Kasperbauer J.L., et al. Transnasal odontoid resection: is there an anatomic explanation for differing swallowing outcomes? // *Neurosurg Focus*. 2014. Vol. 37, N 4. P. E16. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS14338

92. Locatelli D., Karligkiotis A., Turri-Zanoni M., et al. Endoscopic Endonasal Approaches for Treatment of Craniovertebral Junction Tumours // *Acta Neurochir Suppl*. 2019. N 125. P. 209–224. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_30

93. Landeiro J.A., Boechat S., Christoph Dde H., et al. Transoral approach to the craniovertebral junction // *Arq Neuropsiquiatr*. 2007. Vol. 65, N 4B. P. 1166–1171. doi: 10.1590/S0004-282X2007000700014

94. Visocchi M., Signorelli F., Liao C., et al. Endoscopic Endonasal Approach for Craniovertebral Junction Pathologic Conditions: Myth and Truth in Clinical Series and Personal Experience // *World Neurosurg*. 2017. N 101. P. 122–129. doi: 10.1016/j.wneu.2017.01.099

95. Lee A., Sommer D., Reddy K., et al. Endoscopic Transnasal Approach to the Craniocervical Junction // *Skull Base*. 2010. Vol. 20, N 3. P. 199–205. doi: 10.1055/s-0029-1246220

96. Leng L.Z., Brown S., Anand V.K., Schwartz T.H. «Gasket-seal» Watertight Closure in Minimal-access Endoscopic Cranial Base Surgery // *Oper Neurosurg*. 2008. Vol. 62, N 5, Suppl 2. P. ONS342–ONS343. Discussion ONS343. doi: 10.1227/01.neu.0000326017.84315.1f

97. Morales-Valero S.F., Serchi E., Zoli M., et al. Endoscopic endonasal approach for craniovertebral junction pathology: a review of the literature // *Neurosurg Focus*. 2015. Vol. 38, N 4. P. E15. doi: 10.3171/2015.1.FOCUS14831

98. Fang C.H., Friedman R., Schild S.D., et al. Purely endoscopic endonasal surgery of the craniovertebral junction: A systematic review // *Int Forum Allergy Rhinol*. 2015. Vol. 5, N 8. P. 754–760. doi: 10.1002/alr.21537

99. Pandia M., Rath G., Bithal P., et al. Post-operative pulmonary complications in patients undergoing transoral odontoidectomy and posterior fixation for craniovertebral junction anomalies // *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2013. Vol. 29, N 2. P. 200–204. doi: 10.4103/0970-9185.111720

100. Leng L.Z., Anand V.K., Hartl R., Schwartz T.H. Endonasal Endoscopic Resection of an Os Odontoideum to Decompress the Cervicomedullary Junction // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009. Vol. 34, N 4. P. E139–E143. doi: 10.1097/BRS.0b013e31818e344d

101. Menezes A.H., VanGilder J.C. Transoral-transpharyngeal approach to the anterior craniocervical junction // *J Neurosurg*. 1988. Vol. 69, N 6. P. 895–903. doi: 10.3171/jns.1988.69.6.0895

102. Dickman C.A., Locantoro J., Fessler R.G. The influence of transoral odontoid resection on stability of the craniovertebral junction // *J Neurosurg*. 1992. Vol. 77, N 4. P. 525–530. doi: 10.3171/jns.1992.77.4.0525

103. Kerschbaumer F., Kandziora F., Klein C., et al. Transoral Decompression, Anterior Plate Fixation, and Posterior Wire Fusion for Irreducible Atlantoaxial Kyphosis in Rheumatoid Arthritis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000. Vol. 25, N 20. P. 2708–2715. doi: 10.1097/00007632-200010150-00029

104. Brito J.N.P.O., Santos B.A.D., Nascimento I.F., et al. Basilar invagination associated with chiari malformation type I: A literature review // *Clinics (Sao Paulo)*. 2019. N 74. P. e653. doi: 10.6061/clinics/2019/e653

105. Chang P.-Y., Yen Y.-S., Wu J.-C., et al. The importance of atlantoaxial fixation after odontoidectomy // *J Neurosurg Spine*. 2016. Vol. 24, N 2. P. 300–308. doi: 10.3171/2015.5.SPINE141249

106. Ahmed R., Traynelis V.C., Menezes A.H. Fusions at the craniovertebral junction // *Child's Nerv Syst*. 2008. Vol. 24, N 10. P. 1209–1224. doi: 10.1007/s00381-008-0607-7

107. Grob D., Jeanneret B., Aebi M., Markwalder T. Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation // *J Bone Joint Surg Br*. 1991. Vol. 73, N 6. P. 972–976. doi: 10.1302/0301-620X.73B6.1955447

108. Zhang B., Liu H., Cai X., et al. Biomechanical Comparison of Modified TARP Technique Versus Modified Goel Technique for the Treatment of Basilar Invagination // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016. Vol. 41, N 8. P. E459–E466. doi: 10.1097/BRS.0000000000001297

109. Li X., Wu Z., Xia H., et al. The development and evaluation of individualized templates to assist transoral C2 articular mass or transpedicular screw placement in TARP-IV procedures: adult cadaver specimen study // *Clinics (Sao Paulo)*. 2014. Vol. 69, N 11. P. 750–757. doi: 10.6061/clinics/2014(11)08

110. Shkarubo A.N., Chernov I.V., Andreev D.N. Transoral Removal of Ventrally Located Meningiomas of the Craniovertebral Junction // *World Neurosurg*. 2018. S1878-8750(18)32926-7. doi: 10.1016/j.wneu.2018.12.103

REFERENCES

1. Pacca P, Tardivo V, Pecorari G, et al. The Endoscopic Endonasal Approach to Craniovertebral Junction Pathologies: Surgical Skills and Anatomical Study. *Acta Neurochir Suppl*. 2019;125:25–36. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_5

2. Ponce-Gómez JA, Ortega-Porcayo LA, Soriano-Barón HE, et al. Evolution from microscopic transoral to endoscopic endonasal odontoidectomy. *Neurosurg Focus*. 2014;37(4):E15. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS14301

3. Tubbs RS, Hallock JD, Radcliff V, et al. Ligaments of the craniocervical junction. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(6):697–709. doi: 10.3171/2011.1.SPINE10612

4. Liao C, Visocchi M, Zhang W, et al. The Relationship Between Basilar Invagination and Chiari Malformation Type I: A Narrative Review. *Acta Neurochir Suppl*. 2019;125:111–118. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_16

5. Vangilder JC, Menezes AH. Craniovertebral junction abnormalities. *Clin Neurosurg*. 1983;30:514–530. doi: 10.1093/neurosurgery/30.cn_suppl_1.514

6. Menezes AH. Craniovertebral junction database analysis: incidence, classification, presentation, and treatment algorithms. *Child's Nerv Syst*. 2008;24(10):1101–1118. doi: 10.1007/s00381-008-0605-9

7. Naderi S, Crawford NR, Melton MS, et al. Biomechanical analysis of cranial settling after transoral odontoidectomy. *Neurosurg Focus*. 1999;6(6):E9. doi: 10.3171/foc.1999.6.6.10

8. Cavallo LM, Cappabianca P, Messina A, et al. The extended endoscopic endonasal approach to the clivus and cranio-vertebral junction: anatomical study. *Child's Nerv Syst*. 2007;23(6):665–671. doi: 10.1007/s00381-007-0332-7

9. Perrini P, Benedetto N, Di Lorenzo N. Transoral approach to extradural non-neoplastic lesions of the craniovertebral junction. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014;156(6):1231–1236. doi: 10.1007/s00701-014-2057-1
10. Kassam AB, Snyderman C, Gardner P, et al. The Expanded Endonasal Approach: A Fully Endoscopic Transnasal Approach and Resection of the Odontoid Process: Technical Case Report. *Oper Neurosurg*. 2005;57(1 Suppl):E213;discussion E213. doi: 10.1227/01.NEU.0000163687.64774.E4
11. Shkarubo AN, Kononov NA, Zelenkov PV, et al. Endoscopic endonasal removal of the invaginated odontoid process of the C2 vertebra. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni NN Burdenko* 2015;79(5):82–90. doi: 10.17116/neiro201579582-90
12. Jho HD, Ha HG. Endoscopic Endonasal Skull Base Surgery: Part 3 — The Clivus and Posterior Fossa. *Minim Invasive Neurosurg*. 2004;47(1):16–23. doi: 10.1055/s-2004-818347
13. Kshetry VR, Thorp BD, Shriver MF, et al. Endoscopic Approaches to the Craniovertebral Junction. *Otolaryngol Clin North Am*. 2016;49(1):213–226. doi: 10.1016/j.otc.2015.08.003
14. Laufer I, Greenfield JP, Anand VK, et al. Endonasal endoscopic resection of the odontoid process in a nonachondroplastic dwarf with juvenile rheumatoid arthritis: feasibility of the approach and utility of the intraoperative Iso-C three-dimensional navigation. *J Neurosurg Spine*. 2008;8(4):376–380. doi: 10.3171/SPI/2008/8/4/376
15. Zwagerman NT, Tormenti MJ, Tempel ZJ, et al. Endoscopic endonasal resection of the odontoid process: clinical outcomes in 34 adults. *J Neurosurg*. 2018;128(3):923–931. doi: 10.3171/2016.11.JNS16637
16. Aldahak N, Richter B, Bemora JS, et al. The endoscopic endonasal approach to cranio-cervical junction: the complete panel. *Pan Afr Med J*. 2017;27:277. doi: 10.11604/pamj.2017.27.277.12220
17. Simal-Julián JA, Miranda-Lloret P, Sanchis-Martín MR, et al. Endonasal Odontoidectomy in Basilar Invagination. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S14–S15. doi: 10.1055/s-0040-1714406
18. Zoia C, Bongetta D, Luzzi S. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S10–S11. doi: 10.1055/s-0040-1714409
19. Falco JJ, Solares CA, Reyes C. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S8–S9. doi: 10.1055/s-0040-1705161
20. Heller RS, Glaspy T, Mhaskar R, et al. Endoscopic Endonasal Versus Transoral Odontoidectomy for Non-Neoplastic Craniovertebral Junction Disease: A Case Series. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2021;21(6):380–385. doi: 10.1093/ons/opab303
21. Algattas HN, Okonkwo DO, Snyderman C, et al. Staged Repositioning in Endoscopic Endonasal Odontoidectomy Maximizes Decompression While Allowing Preservation of the C1 Anterior Arch: A Technical Note. *World Neurosurg*. 2021;151:118–123. doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.105
22. Liu JK, Dodson VN, Zhao K, Eloy JA. Endoscopic Endonasal Transclival Odontoidectomy for Basilar Invagination: Operative Video and Technical Nuances. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S16–S18. doi: 10.1055/s-0040-1715522
23. London NR, Mohyeldin A, Carrau RL, Prevedello DM. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy with Nasopharyngeal Flap Reconstruction. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S12–S13. doi: 10.1055/s-0040-1714408
24. Veiceschi P, Pozzi F, Restelli F, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy Preserving Atlantoaxial Stability: a Pediatric Case. *J Neurol Surg Part B Skull Base*. 2021;82(Suppl 1):S2–S3. doi: 10.1055/s-0039-3402797
25. Husain Q, Kim MH, Hussain I, et al. Endoscopic endonasal approaches to the craniovertebral junction: The Otolaryngologist's perspective. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2020;6(2):94–99. doi: 10.1016/j.wjorl.2020.01.001
26. Grose E, Moldovan ID, Kilty S, et al. Clinical Outcomes of Endoscopic Endonasal Odontoidectomy: A Single-Center Experience. *World Neurosurg*. 2020;137:e406–e415. doi: 10.1016/j.wneu.2020.01.219
27. Butenschoen VM, Wostrack M, Meyer B, Gempt J. Endoscopic Transnasal Odontoidectomy for Ventral Decompression of the Craniovertebral Junction: Surgical Technique and Clinical Outcome in a Case Series of 19 Patients. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2020;20(1):24–31. doi: 10.1093/ons/opaa331
28. Yeh M-Y, Huang W-C, Wu J-C, et al. Suture Repair in Endoscopic Surgery for Craniovertebral Junction. *Neurospine*. 2019;16(2):257–266. doi: 10.14245/ns.1938174.087
29. Ogiwara T, Miyaoka Y, Nakamura T, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy in the Hybrid Operating Room. *World Neurosurg*. 2019;131:137–140. doi: 10.1016/j.wneu.2019.07.197
30. Alalade AF, Ogando-Rivas E, Forbes J, et al. A Dual Approach for the Management of Complex Craniovertebral Junction Abnormalities: Endoscopic Endonasal Odontoidectomy and Posterior Decompression with Fusion. *World Neurosurg X*. 2019;2:100010. doi: 10.1016/j.wnsx.2019.100010
31. Pacca P, Marengo N, Di Perna G, et al. Endoscopic Endonasal Approach for Urgent Decompression of Craniovertebral Junction in Syringobulbia. *World Neurosurg*. 2019;130:499–505. doi: 10.1016/j.wneu.2019.07.004
32. Vitali M, Canevari FR, Cattalani A, et al. Stability-Sparing Endoscopic Endonasal Odontoidectomy in a Malformative Craniovertebral Junction: Case Report and Biomechanical Considerations. *Acta Neurochir Suppl*. 2019;125:229–233. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_32
33. Abbritti RV, Esposito F, Angileri FF, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy and Posterior Fusion in a Single-Stage Surgery: Description of Surgical Technique and Outcome. *Acta Neurochir Suppl*. 2019;125:197–207. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_29
34. Ottenhausen M, Alalade AF, Rumalla K, et al. Quality of Life After Combined Endonasal Endoscopic Odontoidectomy and Posterior Suboccipital Decompression and Fusion. *World Neurosurg*. 2018;116:e571–e576. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.041
35. Grin A, Lvov I, Godkov I, et al. Endoscopic endonasal resection of the odontoid process in a patient with chronic injury of the C1 transverse ligament. *Asian J Neurosurg*. 2018;13(4):1179. doi: 10.4103/ajns.AJNS_366_16
36. Aldea S, Brauge D, Gaillard S. How I do it: Endoscopic endonasal approach for odontoid resection. *Neurochirurgie*. 2018;64(3):194–197. doi: 10.1016/j.neuchi.2017.12.005
37. Tang D, Roxbury C, D'Anza B, et al. Technical notes on the endoscopic endonasal approach to the craniovertebral junction for odontoidectomy. *Am J Rhinol Allergy*. 2018;32(2):85–86. doi: 10.1177/1945892418762659
38. Hussain I, Schwartz TH, Greenfield JP. Endoscopic Endonasal Approach to the Upper Cervical Spine for Decompression of the Cervicomedullary Junction Following Occipitocervical Fusion. *Clin Spine Surg*. 2018;31(7):285–292. doi: 10.1097/BSD.0000000000000620

39. Herrera R, Rojas H, Estramian A, et al. Adult Grisel Syndrome and Cervical Skull instability. Transnasal endoscopic odontoidectomy and occipito-cervical fusion. Case report and literature review. *Surg Neurol Int*. 2018;9(Suppl 1):S8–S15. (In Spanish). doi: 10.4103/sni.sni_281_17
40. Rossini Z, Milani D, Nicolosi F, et al. Endoscopic Transseptal Approach with Posterior Nasal Spine Removal: A Wide Surgical Corridor to the Craniovertebral Junction and Odontoid: Technical Note and Case Series. *World Neurosurg*. 2018;110:373–385. doi: 10.1016/j.wneu.2017.11.153
41. Iacoangeli M, Nasi D, Colasanti R, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy with Anterior C1 Arch Preservation in Rheumatoid Arthritis: Long-Term Follow-Up and Further Technical Improvement by Anterior Endoscopic C1–C2 Screw Fixation and Fusion. *World Neurosurg*. 2017;107:820–829. doi: 10.1016/j.wneu.2017.08.063
42. Singh H, Rote S, Jada A, et al. Endoscopic endonasal odontoid resection with real-time intraoperative image-guided computed tomography: report of 4 cases. *J Neurosurg*. 2018;128(5):1486–1491. doi: 10.3171/2017.1.JNS162601
43. Sexton MA, Abcejo AS, Pasternak JJ. Comparison of Anesthetic Management and Outcomes in Patients Having Either Transnasal or Transoral Endoscopic Odontoid Process Surgery. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2018;30(2):179–183. doi: 10.1097/ANA.0000000000000420
44. Chibbaro S, Cebula H, Aldea S, et al. Endonasal Endoscopic Odontoidectomy in Ventral Diseases of the Craniocervical Junction: Results of a Multicenter Experience. *World Neurosurg*. 2017;106:382–393. doi: 10.1016/j.wneu.2017.06.148
45. Zenga F, Pacca P, Tardivo V, et al. Endoscopic Endonasal Approach to the Odontoid Pathologies. *World Neurosurg*. 2016;89:394–403. doi: 10.1016/j.wneu.2016.02.011
46. Zenga F, Marengo N, Pacca P, et al. C1 anterior arch preservation in transnasal odontoidectomy using three-dimensional endoscope: A case report. *Surg Neurol Int*. 2015;6:192. doi: 10.4103/2152-7806.172696
47. Burns T, Mindea S, Pendharkar A, et al. Endoscopic Transnasal Approach for Urgent Decompression of the Craniocervical Junction in Acute Skull Base Osteomyelitis. *J Neurol Surg Rep*. 2015;76(1):e37–e42. doi: 10.1055/s-0034-1395492
48. Zoli M, Mazzatenta D, Valluzzi A, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy. *Neurosurg Clin N Am*. 2015;26(3):427–436. doi: 10.1016/j.nec.2015.03.002
49. Kahilogullari G, Meco C, Zaimoglu M, et al. Pneumocephalus after endoscopic odontoidectomy in a pediatric patient: the lesson learned. *Child's Nerv Syst*. 2015;31(9):1595–1599. doi: 10.1007/s00381-015-2740-4
50. La Corte E, Aldana PR, Ferrolli P, et al. The rhinopalatine line as a reliable predictor of the inferior extent of endonasal odontoidectomies. *Neurosurg Focus*. 2015;38(4):E16. doi: 10.3171/2015.1.FOCUS14777
51. Chaudhry NS, Ozpinar A, Bi WL, et al. Basilar Invagination: Case Report and Literature Review. *World Neurosurg*. 2015;83:1180.e7–1180.e11. doi: 10.1016/j.wneu.2015.02.007
52. Goldschlager T, Härtl R, Greenfield JP, et al. The endoscopic endonasal approach to the odontoid and its impact on early extubation and feeding. *J Neurosurg*. 2015;122(3):511–518. doi: 10.3171/2014.9.JNS14733
53. Duntze J, Eap C, Kleiber J-C, et al. Advantages and limitations of endoscopic endonasal odontoidectomy. A series of nine cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(7):775–778. doi: 10.1016/j.otsr.2014.07.017
54. Yen Y-S, Chang P-Y, Huang W-C, et al. Endoscopic transnasal odontoidectomy without resection of nasal turbinates: clinical outcomes of 13 patients. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(6):929–937. doi: 10.3171/2014.8.SPINE13504
55. Choudhri O, Mindea SA, Feroze A, et al. Experience with intraoperative navigation and imaging during endoscopic transnasal spinal approaches to the foramen magnum and odontoid. *Neurosurg Focus*. 2014;36(3):E4. doi: 10.3171/2014.1.FOCUS13533
56. Mazzatenta D, Zoli M, Mascari C, et al. Endoscopic Endonasal Odontoidectomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(10):846–853. doi: 10.1097/BRS.0000000000000271
57. Nagpal T. Transnasal endoscopic removal of malformation of the odontoid process in craniovertebral anomaly: a case report. *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg*. 2013;23(2):123–126. doi: 10.5606/kbbihtisas.2013.80958
58. Zenga F, Villaret A, Fontanella M, Nicolai P. Endoscopic transnasal odontoidectomy using ultrasonic bone curette: Technical case report. *Neurol India*. 2013;61(1):69–72. doi: 10.4103/0028-3886.108015
59. Iacoangeli M, Gladi M, Alvaro L, et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy with anterior C1 arch preservation in elderly patients affected by rheumatoid arthritis. *Spine J*. 2013;13(5):542–548. doi: 10.1016/j.spinee.2013.01.043
60. Yu Y, Wang X, Zhang X, et al. Endoscopic transnasal odontoidectomy to treat basilar invagination with congenital osseous malformations. *Eur Spine J*. 2013;22(5):1127–1136. doi: 10.1007/s00586-012-2605-4
61. Rawal RB, Shah RN, Zanation AM. Endonasal odontoidectomy for basilar impression and brainstem compression due to radiation fibrosis. *Laryngoscope*. 2013;123(3):584–587. doi: 10.1002/lary.23677
62. Patel AJ, Boatey J, Muns J, et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy in a child with chronic type 3 atlantoaxial rotatory fixation: case report and literature review. *Child's Nerv Syst*. 2012;28(11):1971–1975. doi: 10.1007/s00381-012-1818-5
63. Gladi M, Iacoangeli M, Specchia N, et al. Endoscopic transnasal odontoid resection to decompress the bulbo-medullary junction: a reliable anterior minimally invasive technique without posterior fusion. *Eur Spine J*. 2012;21(Suppl 1):S55–S60. doi: 10.1007/s00586-012-2220-4
64. Grammatica A, Bonali M, Ruscitti F, et al. Transnasal endoscopic removal of malformation of the odontoid process in a patient with type I Arnold-Chiari malformation: a case report. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2011;31(4):248–252.
65. Cornelius JF, Kania R, Bostelmann R, et al. Transnasal endoscopic odontoidectomy after occipito-cervical fusion during the same operative setting — technical note. *Neurosurg Rev*. 2011;34(1):115–121. doi: 10.1007/s10143-010-0295-0
66. Scholtes F, Signorelli F, McLaughlin N, et al. Endoscopic Endonasal Resection of the Odontoid Process as a Standalone Decompressive Procedure for Basilar Invagination in Chiari Type I Malformation. *Minim Invasive Neurosurg*. 2011;54(4):179–182. doi: 10.1055/s-0031-1283168
67. El-Sayed IH, Wu J-C, Dhillon N, et al. The Importance of Platybasia and the Palatine Line in Patient Selection for Endonasal Surgery of the Craniocervical Junction: A Radiographic Study of 12 Patients. *World Neurosurg*. 2011;76:183–188. doi: 10.1016/j.wneu.2011.02.018
68. Gempt J, Lehmberg J, Grams AE, et al. Endoscopic transnasal resection of the odontoid: case series and clinical course. *Eur Spine J*. 2011;20(4):661–666. doi: 10.1007/s00586-010-1629-x

69. Shkarubo AN, Chernov IV, Andreev DN, et al. Expanded endoscopic transnasal odontoidectomy and posterior stabilization: a combined approach. *J Neurosurg Sci.* 2022;66(6):551–559. doi: 10.23736/S0390-5616.20.05014-6
70. Magrini S, Pasquini E, Mazzatenta D, et al. Endoscopic endonasal odontoidectomy in a patient affected by down syndrome. *Neurosurgery.* 2008;63(2):E373–E374;discussion E374. doi: 10.1227/01.NEU.0000315285.84524.74
71. Wu J-C, Huang W-C, Cheng H, et al. Endoscopic Transnasal Transclival Odontoidectomy: A New Approach to Decompression: Technical Case Report. *Neurosurgery.* 2008;63(1 Suppl 1):ONSE92–ONSE94;discussion ONSE94. doi: 10.1227/01.NEU.0000313115.51071.D5
72. Nayak JV, Gardner PA, Vescan AD, et al. Experience with the Expanded Endonasal Approach for Resection of the Odontoid Process in Rheumatoid Disease. *Am J Rhinol.* 2007;21(5):601–606. doi: 10.2500/ajr.2007.21.3089
73. Kassam A, Snyderman CH, Mintz A, et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part I. Crista galli to the sella turcica. *J Neurosurg.* 2005;19(1):1–12. doi: 10.3171/foc.2005.19.1.5
74. Kassam A, Snyderman CH, Mintz A, et al. Expanded endonasal approach: the rostrocaudal axis. Part II. Posterior clinoids to the foramen magnum. *Neurosurg Focus.* 2005;19(1):E4.
75. Jho HD, Ha HG. Endoscopic Endonasal Skull Base Surgery: Part 2 — The Cavernous Sinus. *Minim Invasive Neurosurg.* 2004;47(1):9–15. doi: 10.1055/s-2004-818346
76. Charalampaki P, Ayyad A, Kockro RA, Perneczky A. Surgical complications after endoscopic transsphenoidal pituitary surgery. *J Clin Neurosci.* 2009;16(6):786–789. doi: 10.1016/j.jocn.2008.09.002
77. Yamada S, Yamada SM, Hirohata T, et al. Endoscopic Extracapsular Removal of Pituitary Adenoma: The Importance of Pretreatment of an Adjacent Unruptured Internal Carotid Artery Aneurysm. *Case Rep Neurol Med.* 2012;2012:891847. doi: 10.1155/2012/891847
78. Shkarubo AN, Kuleshov AA, Chernov IV, et al. Transoral Decompression and Stabilization of the Upper Cervical Segments of the Spine Using Custom-Made Implants in Various Pathologic Conditions of the Craniovertebral Junction. *World Neurosurg.* 2018;109:e155–e163. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.124
79. Yang J, Jia Q, Peng D, et al. Surgical treatment of upper cervical spine metastases: a retrospective study of 39 cases. *World J Surg Oncol.* 2017;15(1):21. doi: 10.1186/s12957-016-1085-0
80. Shkarubo AN, Kuleshov AA, Chernov IV, Vetrile MS. Transoral Decompression and Anterior Stabilization of Atlantoaxial Joint in Patients with Basilar Impression and Chiari Malformation Type I: A Technical Report of 2 Clinical Cases. *World Neurosurg.* 2017;102:181–190. doi: 10.1016/j.wneu.2017.02.113
81. Choi D, Crockard HA. Evolution of Transoral Surgery. *Neurosurgery.* 2013;73(2):296–304. doi: 10.1227/01.neu.0000430324.24623.10
82. Jhavar S, Nunez M, Pacca P, et al. Craniovertebral junction 360°: A combined microscopic and endoscopic anatomical study. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2016;7(4):204–216. doi: 10.4103/0974-8237.193270
83. de Almeida JR, Zanation AM, Snyderman CH, et al. Defining the nasopalatine line: The limit for endonasal surgery of the spine. *Laryngoscope.* 2009;119(2):239–244. doi: 10.1002/lary.20108
84. Crockard HA. The transoral approach to the base of the brain and upper cervical cord. *Ann R Coll Surg Engl.* 1985;67(5):321–325.
85. Dasenbrock HH, Clarke MJ, Bydon A, et al. Endoscopic Image-Guided Transcervical Odontoidectomy. *Neurosurgery.* 2012;70(2):351–360;discussion 359–360. doi: 10.1227/NEU.0b013e318230e59a
86. Sundaresan N, Galicich JH, Lane JM, Greenberg HS. Treatment of odontoid fractures in cancer patients. *J Neurosurg.* 1981;54(2):187–192. doi: 10.3171/jns.1981.54.2.0187
87. Iyer RR, Grimmer JF, Brockmeyer DL. Endoscopic transnasal/transoral odontoid resection in children: results of a combined neurosurgical and otolaryngological protocolized, institutional approach. *J Neurosurg Pediatr.* 2021:1–8. doi: 10.3171/2020.12.PEDS20729
88. Shkarubo AN, Nikolenko VN, Chernov IV, et al. Anatomical Aspects of the Transnasal Endoscopic Access to the Craniovertebral Junction. *World Neurosurg.* 2020;133:e293–e302. doi: 10.1016/j.wneu.2019.09.011
89. Shriver MF, Kshetry VR, Sindwani R, et al. Transoral and transnasal odontoidectomy complications: A systematic review and meta-analysis. *Clin Neurol Neurosurg.* 2016;148:121–129. doi: 10.1016/j.clineuro.2016.07.019
90. Hankinson TC, Grunstein E, Gardner P, et al. Transnasal odontoid resection followed by posterior decompression and occipitocervical fusion in children with Chiari malformation Type I and ventral brainstem compression. *J Neurosurg Pediatr.* 2010;5(6):549–553. doi: 10.3171/2010.2.PEDS09362
91. Van Abel KM, Mallory GW, Kasperbauer JL, et al. Transnasal odontoid resection: is there an anatomic explanation for differing swallowing outcomes? *Neurosurg Focus.* 2014;37(4):E16. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS14338
92. Locatelli D, Karligkiotis A, Turri-Zanoni M, et al. Endoscopic Endonasal Approaches for Treatment of Craniovertebral Junction Tumours. *Acta Neurochir Suppl.* 2019;125:209–224. doi: 10.1007/978-3-319-62515-7_30
93. Landeiro JA, Boechat S, Christoph Dde H, et al. Transoral approach to the craniovertebral junction. *Arq Neuropsiquiatr.* 2007;65(4B):1166–1171. doi: 10.1590/S0004-282X2007000700014
94. Visocchi M, Signorelli F, Liao C, et al. Endoscopic Endonasal Approach for Craniovertebral Junction Pathologic Conditions: Myth and Truth in Clinical Series and Personal Experience. *World Neurosurg.* 2017;101:122–129. doi: 10.1016/j.wneu.2017.01.099
95. Lee A, Sommer D, Reddy K, et al. Endoscopic Transnasal Approach to the Craniocervical Junction. *Skull Base.* 2010;20(3):199–205. doi: 10.1055/s-0029-1246220
96. Leng LZ, Brown S, Anand VK, Schwartz TH. «Gasket-seal» Watertight Closure in Minimal-access Endoscopic Cranial Base Surgery. *Oper Neurosurg.* 2008;62(5 Suppl 2):ONS342–ONS343;discussion ONSE343. doi: 10.1227/01.neu.0000326017.84315.1f
97. Morales-Valero SF, Serchi E, Zoli M, et al. Endoscopic endonasal approach for craniovertebral junction pathology: a review of the literature. *Neurosurg Focus.* 2015;38(4):E15. doi: 10.3171/2015.1.FOCUS14831
98. Fang CH, Friedman R, Schild SD, et al. Purely endoscopic endonasal surgery of the craniovertebral junction: A systematic review. *Int Forum Allergy Rhinol.* 2015;5(8):754–760. doi: 10.1002/alr.21537
99. Pandia M, Rath G, Bithal P, et al. Post-operative pulmonary complications in patients undergoing transoral odontoidectomy and posterior fixation for craniovertebral junction anomalies. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2013;29(2):200–204. doi: 10.4103/0970-9185.111720
100. Leng LZ, Anand VK, Hartl R, Schwartz TH. Endonasal Endoscopic Resection of an Os Odontoideum to Decompress the

Cervicomedullary Junction. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(4):E139–E143. doi: 10.1097/BRS.0b013e31818e344d

101. Menezes AH, VanGilder JC. Transoral-transpharyngeal approach to the anterior craniocervical junction. *J Neurosurg*. 1988;69(6):895–903. doi: 10.3171/jns.1988.69.6.0895

102. Dickman CA, Locantoro J, Fessler RG. The influence of transoral odontoid resection on stability of the craniocervical junction. *J Neurosurg*. 1992;77(4):525–530. doi: 10.3171/jns.1992.77.4.0525

103. Kerschbaumer F, Kandziora F, Klein C, et al. Transoral Decompression, Anterior Plate Fixation, and Posterior Wire Fusion for Irreducible Atlantoaxial Kyphosis in Rheumatoid Arthritis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(20):2708–2715. doi: 10.1097/00007632-200010150-00029

104. Brito JNPO, Santos BAD, Nascimento IF, et al. Basilar invagination associated with chiari malformation type I: A literature review. *Clinics (Sao Paulo)*. 2019;74:e653. doi: 10.6061/clinics/2019/e653

105. Chang P-Y, Yen Y-S, Wu J-C, et al. The importance of atlantoaxial fixation after odontoidectomy. *J Neurosurg Spine*. 2016;24(2):300–308. doi: 10.3171/2015.5.SPINE141249

106. Ahmed R, Traynelis VC, Menezes AH. Fusions at the craniocervical junction. *Child's Nerv Syst*. 2008;24(10):1209–1224. doi: 10.1007/s00381-008-0607-7

107. Grob D, Jeanneret B, Aebi M, Markwalder T. Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(6):972–976. doi: 10.1302/0301-620X.73B6.1955447

108. Zhang B, Liu H, Cai X, et al. Biomechanical Comparison of Modified TARP Technique Versus Modified Goel Technique for the Treatment of Basilar Invagination. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(8):E459–E66. doi: 10.1097/BRS.0000000000001297

109. Li X, Wu Z, Xia H, et al. The development and evaluation of individualized templates to assist transoral C2 articular mass or transpedicular screw placement in TARP-IV procedures: adult cadaver specimen study. *Clinics (Sao Paulo)*. 2014;69(11):750–757. doi: 10.6061/clinics/2014(11)08

110. Shkarubo AN, Chernov IV, Andreev DN. Transoral Removal of Ventrally Located Meningiomas of the Craniocervical Junction. *World Neurosurg*. 2018;S1878-8750(18)32926-7. doi: 10.1016/j.wneu.2018.12.103

ОБ АВТОРАХ

Шкарубо Алексей Николаевич, д.м.н.,

врач-нейрохирург;

ORCID: 0000-0003-3445-3115;

eLibrary SPIN: 3420-3394; e-mail: ashkarubo@nsi.ru

Назаренко Антон Герасимович, д.м.н., профессор РАН,

врач травматолог-ортопед;

ORCID: 0000-0003-1314-2887;

eLibrary SPIN: 1402-5186; e-mail: cito@cito-priorov.ru

* **Чернов Илья Валерьевич**, к.м.н.,

врач-нейрохирург;

адрес: Россия, 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16;

ORCID: 0000-0002-9789-3452;

eLibrary SPIN: 3550-1153; e-mail: ichernov@nsi.ru

Андреев Дмитрий Николаевич, к.м.н.,

врач-нейрохирург;

ORCID: 0000-0001-5473-4905;

eLibrary SPIN: 8516-7994; e-mail: dandreev@nsi.ru

Кулешов Александр Алексеевич, д.м.н.,

врач травматолог-ортопед;

eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: Cito-spine@mail.ru

Коновалов Николай Александрович, д.м.н.,

член-корреспондент РАН, врач-нейрохирург;

ORCID: 0000-0003-0824-1848;

eLibrary SPIN: 9436-3719; e-mail: NAKonovlov@nsi.ru

Лисянский Игорь Николаевич, к.м.н.,

врач травматолог-ортопед;

eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

Синельников Михаил Егорович, к.м.н.,

врач-онколог;

ORCID: 0000-0002-0862-6011;

eLibrary SPIN: 6341-0943; e-mail: snlnkv15@icloud.com

AUTHORS INFO

Aleksey N. Shkarubo, MD, Dr. Sci. (Med.),

neurosurgeon;

ORCID: 0000-0003-3445-3115;

eLibrary SPIN: 3420-3394; e-mail: ashkarubo@nsi.ru

Anton G. Nazarenko, MD, Dr. Sci. (Med.), professor of RAS,

traumatologist-orthopedist;

ORCID: 0000-0003-1314-2887;

eLibrary SPIN: 1402-5186; e-mail: cito@cito-priorov.ru

* **Ilya V. Chernov**, MD, Cand. Sci. (Med.),

neurosurgeon;

address: 16 Tverskaya-Yamskaya Str., 125047, Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-9789-3452;

eLibrary SPIN: 3550-1153; e-mail: ichernov@nsi.ru

Dmitriy N. Andreev, MD, Cand. Sci. (Med.),

neurosurgeon;

ORCID: 0000-0001-5473-4905;

eLibrary SPIN: 8516-7994; e-mail: dandreev@nsi.ru

Aleksandr A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;

eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: Cito-spine@mail.ru

Nikolay A. Konovlov, MD, Dr. Sci. (Med.),

corresponding member of RAS, neurosurgeon;

ORCID: 0000-0003-0824-1848;

eLibrary SPIN: 9436-3719; e-mail: NAKonovlov@nsi.ru

Igor N. Lisiansky, MD, Cand. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;

eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

Mikhail E. Sinelnikov, MD, Cand. Sci. (Med.),

oncologist;

ORCID: 0000-0002-0862-6011;

eLibrary SPIN: 6341-0943; e-mail: snlnkv15@icloud.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto340878>

Регистрация и анализ осложнений в нейрохирургической клинике: проспективное наблюдательное исследование

Д.Ю. Усачёв¹, А.Г. Назаренко², Н.А. Коновалов¹, С.В. Тяншин¹, О.И. Шарипов¹,
М.А. Шульц¹, Г.В. Данилов¹

¹ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва, Российская Федерация;

² НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На сегодняшний день в медицине, в том числе в нейрохирургии, системное управление рисками для улучшения качества лечения является одной из наиболее актуальных задач. К ключевым индикаторам качества лечения в нейрохирургии относят характеристики его исходов, структуру и число осложнений.

Цель. Сформулировать наиболее краткое и в то же время полноценное определение понятия «осложнение» и разработать классификационную схему, позволяющую в максимальной степени учитывать осложнения у нейрохирургических пациентов.

Материалы и методы. Определение нейрохирургического осложнения было сформулировано как любое нежелательное непреднамеренное отклонение от идеального течения процесса лечения пациента с нейрохирургической патологией. В исследование были включены пациенты, оперированные по поводу нейрохирургической патологии в Центре нейрохирургии (Москва) с января 2019 по декабрь 2020 года. Для регистрации неблагоприятных событий была создана электронная база данных, куда вносили информацию обо всех нейрохирургических осложнениях.

Результаты. На основании анализа ежегодных отчётов лечебных и диагностических подразделений усреднённая частота развития осложнений составила 25–29 на 1000 операций (2,5–2,9%). Изучение нейрохирургических осложнений позволило структурировать общие параметры, имеющие ключевое значение для регистрации и анализа нейрохирургических осложнений, и сформулировать оригинальную классификационную схему, использование которой даёт возможность учесть большинство позиций, связанных с развитием осложнений и, соответственно, их анализом.

Заключение. На основании анализа данных литературы, серии дискуссий внутри сообщества нейрохирургов и собственного опыта мы предложили определение термина «нейрохирургическое осложнение» и подход к регистрации осложнений. С помощью разработанной классификационной схемы возможно получить объективные данные и проводить доказательный анализ, позволяющий оценить осложнения как результат применения системы контроля качества лечения путём получения максимально полного объёма данных об осложнениях в нейрохирургической клинике.

Ключевые слова: нейрохирургические осложнения; классификация осложнений; классификационная схема осложнений; неблагоприятные события.

Как цитировать:

Усачёв Д.Ю., Назаренко А.Г., Коновалов Н.А., Тяншин С.В., Шарипов О.И., Шульц М.А., Данилов Г.В. Регистрация и анализ осложнений в нейрохирургической клинике: проспективное наблюдательное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 63–75. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto340878>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto340878>

Registration and analysis of complications in the neurosurgical clinic

Dmitriy Yu. Usachev¹, Anton G. Nazarenko², Nikolay A. Konovalov¹,
Sergey V. Tanyashin¹, Oleg I. Sharipov¹, Maria A. Shults¹, Gleb V. Danilov¹

¹ Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, Moscow, Russia;

² Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, in medicine, including neurosurgery, systemic risk management to improve treatment quality is one of the most urgent tasks. The key indicators of treatment quality in neurosurgery are the characteristics of its outcomes, structure, and number of complications.

OBJECTIVE: To formulate the most concise and complete definition of “complication” and develop a classification scheme that allows the maximum consideration of complications in patients with neurosurgical problems.

MATERIALS AND METHODS: A neurosurgical complication was defined as any unwanted, unintended deviation from the ideal course of the treatment process for a patient with neurosurgical pathology. The study included patients operated on for neurosurgical pathology at the Center for Neurosurgery (Moscow) from January 2019 to December 2020. To record all complications, an electronic database was created, where information about all neurosurgical complications was entered.

RESULTS. Based on the analysis of annual reports of medical and diagnostic departments, the average incidence of complications was 25–29 per 1000 operations (2.5–2.9%). The study of neurosurgical complications made it possible to determine the general parameters that are of key importance for the registration and analysis of neurosurgical complications and formulate an original classification scheme, and its use makes it possible to consider most of the factors associated with complications and, accordingly, their analysis.

CONCLUSION: In the literature analysis, a series of discussions within the neurosurgical community, and our experience, we proposed a definition of «neurosurgical complication» and an approach to registering complications. With the help of the proposed classification scheme, we could obtain objective data and conduct evidence-based analysis, which makes it possible to evaluate complications using a treatment quality control system by obtaining the most complete amount of data on complications in a neurosurgical clinic.

Keywords: neurosurgical complications; classification of complications; classification scheme of complications; adverse events

To cite this article:

Usachev DY, Nazarenko AG, Konovalov NA, Tanyashin SV, Sharipov OI, Shults MA, Danilov GV. Registration and analysis of complications in the neurosurgical clinic. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):63–75. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto340878>

Received: 21.04.2023

Accepted: 05.05.2023

Published: 31.05.2023

BACKGROUND

Systemic risk management to improve the quality of treatment is one of the most urgent tasks in medicine, especially in neurosurgery. The key indicators of the quality of treatment in neurosurgery include the characteristics of its outcomes and the structure and number of complications. The advantages of using a single structured approach for analyzing these indicators are obvious. These advantages are due to the ability to impartially assess the probability of complications when using different surgical technologies, the ability to compare various surgical technologies in terms of the incidence of complications, the ability to create a reasonable prognosis for the development of complications, the ability to have a rational discussion with the patient about the risks and outcomes of treatment, the ability to conduct a comparative analysis of the treatment results in various clinics, entities, and regions, and the ability to generate one of the key sections of the specialized (neurosurgical) register.

In the registration and analysis of neurosurgical complications, the lack of unified terminological concepts approved by the professional community is the most significant problem. Currently, the concept of "complication" in neurosurgery has no clear definition, which gives rise to discussions about what is considered a complication of surgical treatment and what is its consequence. These inconsistencies do not allow an unequivocal comparison of adverse outcomes, complications, and consequences of surgical treatment [1].

Nowadays, it is practically impossible to comparatively analyze complications at different time intervals in one or more medical institutions due to the lack of a unified standardized system for registering complications. Furthermore, it is important to consider almost exclusively postoperative complications or complications directly related to surgical intervention when assessing the outcomes and quality of treatment, while complications can also potentially be associated with diagnostic procedures, pharmacotherapy, and the unfavorable course of concomitant diseases. Additionally, although the proportion of these complications is significantly less, they contribute to the efficiency of the diagnostic and treatment process, whether it is the preoperative period, the time of the immediate surgical procedure, or the postoperative course in the early and long-term periods.

These factors often lead to a situation where professionals underestimate the significance of a complication or deny its presence, using nonspecific terms such as "mild" or "primary" when describing an adverse event.

Thus, this study aimed to formulate the most concise and complete definition of the concept of "complication" and to develop a classification scheme that can be used to consider complications in neurosurgical patients to the fullest extent.

An analysis of the literature enabled us to identify a significant number of studies that contributed to the study

of the problem of surgical complications and, at the same time, a wide variety of terminological concepts that define complications. Sokol and Wilson considered a complication as "any unwanted, unintended, and direct result of a surgery, affecting the patient, which would not have occurred if the surgery course had been as proper as could be reasonably expected." However, the authors admitted that the presentation of each adverse event as a complication is quite subjective [2].

Houkin et al. presented a different approach, discussed the term "adverse events," and characterized adverse events as any events that resulted in longer hospital stays than expected, all events requiring additional treatment, and all events leading to deficiency or deterioration (temporary or permanent) in patients, which occurred after the procedure, even if they were unavoidable due to the underlying disease. Thus, according to the authors, the designation of adverse events most probably corresponds to what we see through the patient's eyes [3]. In this regard, it is advisable to consider any adverse event as a complication without highlighting the possible "consequences" after neurosurgical care.

Martin et al. reported 10 criteria that should be considered in the report on complications, used to describe fully adverse events that occurred (Table 1) [4].

In the last decade, several complication classification schemes have been proposed for use in neurosurgery. However, they tended to focus on scoring specific complications [5]. In 1992, Clavien et al. published a classification of general surgery complications based on four gradations of their severity [6]. Terminologically, the authors divided all adverse events into complications, failure to achieve the treatment goal, and consequences. The authors defined "complication" as any unforeseen deviation from the normal course of the postoperative period, including asymptomatic complications such as arrhythmia or atelectasis. The authors considered "consequence" as a condition that inevitably arises after the surgery as a natural reaction (e.g., the inability to walk after amputation of the leg). Finally, "failure to achieve the goal of treatment" was defined as a condition where complications or adverse events did not occur, but the initial goal of the surgery (treatment) was not achieved (e.g., residual tumor after surgery). This work demonstrated an attempt to formally define the concept of "complication," highlighting it among other pathological conditions.

Later, Dindo et al. modified this classification by introducing a 5-level system with several sublevels, focusing primarily on the treatment type required when a complication occurs [7]. Furthermore, Lichterman defined "complication" in craniocerebral injury as "a pathological process secondary to the trauma of the brain and its covering. It is not always present but can occur under the influence of additional exogenous and endogenous factors" [8]. This definition can be considered applicable to other neurosurgical pathologies. However, since the pathophysiology of many complications has not been fully

Table 1. Criteria for describing the occurrence of an adverse event

Nº	Criteria	Requirements
1	Data collection	Pro- or retrospective nature of data collection
2	Duration of the follow-up period	The report describes the moment of the occurrence of complications (in the first 30 days after discharge or during the initial hospitalization)
3	Outpatient stage	Complications identified after discharge should be included in the analysis
4	Definition of complications	The report must contain at least one definition of a complication with its specific criteria
5	Lethal outcomes with causes indicated	The number of patients deceased in the postoperative period is recorded along with the cause of death
6	Incidence and total number of complications determined	The number of patients with complications and the total number of complications are recorded
7	Procedure (surgery)-specific complications included	
8	Complication severity assessment used	One of the classifications designed to assess the severity of complications (including major and minor) should be used
9	Data on the duration of hospitalization	The report contains information on the duration of stay in the clinic of patients with complications
10	Risk factors included in the analysis	Risk assessment (indicated tools for risk assessment)

studied, the problem of underestimating their consequences, even with the formal definition of complications, is significant for the patient and the clinic [1].

Furthermore, alternative approaches to the classification of complications have been reported. In 2001, Bonsanto et al. standardized common adverse postoperative events in neurosurgery and divided them into complicated postoperative period, neurosurgery-associated complications, and nonsurgical complications [9]. The authors adapted their complication classification system specifically for neurological diseases but could not account for the severity of each adverse outcome.

In 2009, Houkin et al. published the results of a study where adverse events were classified based on predictability and the possibility of their prevention [3]. In 2011, Landriel Ibañez et al., for the first time in neurosurgery, attempted to create a systemic specialized classification of complications. The authors defined any deviation from the normal course of the postoperative period within 30 days as a complication. They considered nonsurgical complications as adverse events not directly related to the surgery or surgical technique (e.g., pneumonia, gastrointestinal bleeding, and genitourinary system infections) [10]. However, this classification has not become widespread, and its potential universality has been subjected to evidence-based criticism in the professional community [1].

Furthermore, Gozal et al. proposed the classification of neurosurgical complications based on understanding the main causes of adverse events [5]. This complication scheme was developed based on the authors' previous work on morbidity in endovascular surgery. Adverse events were prospectively pooled for all neurosurgical procedures performed at their academic tertiary medical center over one year into five

subgroups: reading errors, procedural errors, technical errors, estimation errors, and critical events. A total of 115 neurosurgical complications were detected and analyzed during the study period. Almost 50% of the complications were critical, and technical errors accounted for approximately one-third of all complications. Among the neurosurgical specialties, the number of complications recorded in vascular neurosurgery was the highest (36.5%), followed by those in the spine and peripheral nerves (21.7%), neurooncology (14.8%), craniocerebral injuries (13.9%), general neurosurgery (12.2%), and functional neurosurgery (0.9%).

MATERIALS AND METHODS

Study design

This was a prospective observational study.

Eligibility criteria and conditions

All patients hospitalized at the Center for Neurosurgery (Moscow) from January 2019 to December 2020 who had adverse events during hospitalization and in the postoperative period were included in this study.

Methods for assessing target indicators

Up to 10 thousand surgeries in all fields of neurosurgery are performed annually at the N. N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, which makes the center a unique place for registration, structuring, and analysis of neurosurgical complications.

A neurosurgical complication was defined as any adverse unintended deviation from the ideal course of the treatment process for a patient with neurosurgical pathology. A

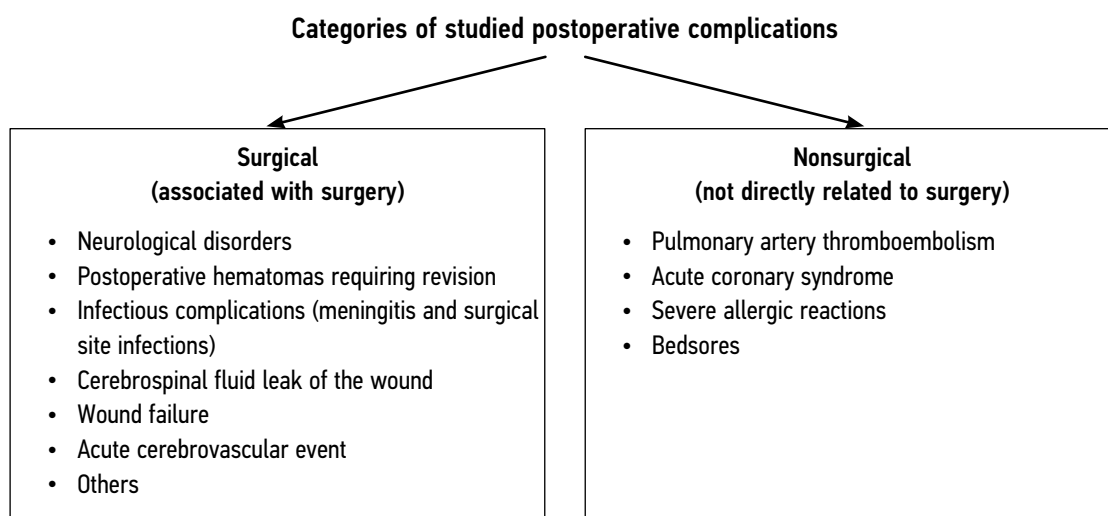


Fig. 1. Primary categories of studied complications

database was created to register complications, where employees entered all adverse events that occurred in the departments. At the initial stage, obvious adverse events arising during treatment were selected for registration, which were classified as surgical and nonsurgical (Fig. 1).

The staged implementation of the system for registering and analyzing complications included creation of a working group for assessment and analysis of complications, studying previous experience in registering complications, identification of the main groups of complications, and creation of a database on the web platform ("redcap"); collection and processing of data and identification of the advantages and disadvantages of the approach; preparation of reports, discussion of results, and forming their presentation; development of a definition and classification scheme for neurosurgical complications; and informatization.

Statistical analysis

Data collection was performed using a specialized clinical data management system REDCap. Quantitative indicators were analyzed using descriptive statistics tools. The distributions of categorical variables were presented as percentages, and those of continuous quantitative variables were presented as average values. Statistical hypothesis testing for differences between groups with and without complications was performed using the nonparametric Mann–Whitney test for continuous quantitative variables and the χ^2 test and Fisher's exact test for categorical variables. However, their results are not presented in this paper due to the small number of cases in the group of complications, the heterogeneity of their structure, and the impossibility of providing an acceptable statistical power of tests. Thus, we presented only point estimates.

RESULTS AND DISCUSSION

Study object

Patients with neurosurgical pathology who had complications during treatment were included in this study.

Primary study outcomes

The analysis of annual reports of medical and diagnostic units from 2019 to 2020 showed that the average complication rate was 25–29 per 1,000 surgeries (2.5%–2.9%). The ratio of the incidence of the main types of registered complications is shown in Fig. 2. The largest proportion of complications was represented by infectious processes (associated or nonassociated with surgical intervention), an increase in neurologic deficit, postoperative bleeding (hematoma), and cerebrospinal fluid leak.

Indirect signs of a complicated course were also considered when analyzing adverse events, which were

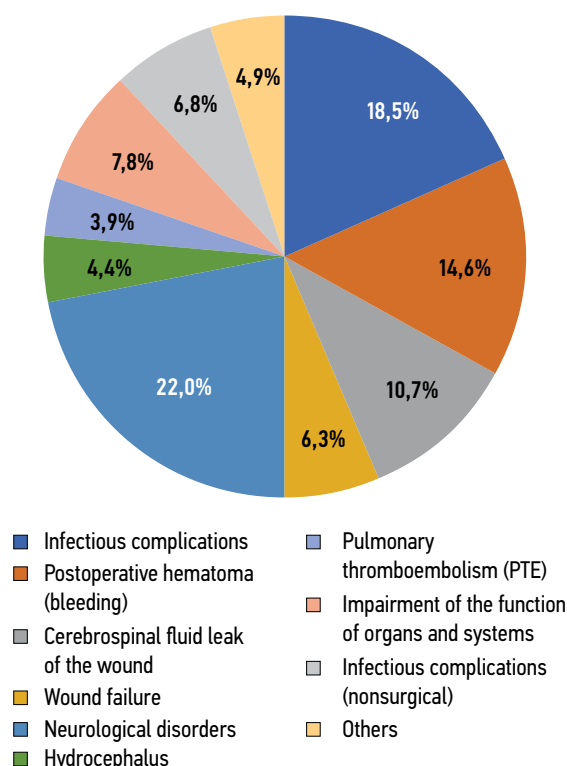


Fig. 2. The frequency ratio of the main types of complications studied.

Note. n/o — postoperative, ТЭЛА — pulmonary embolism.

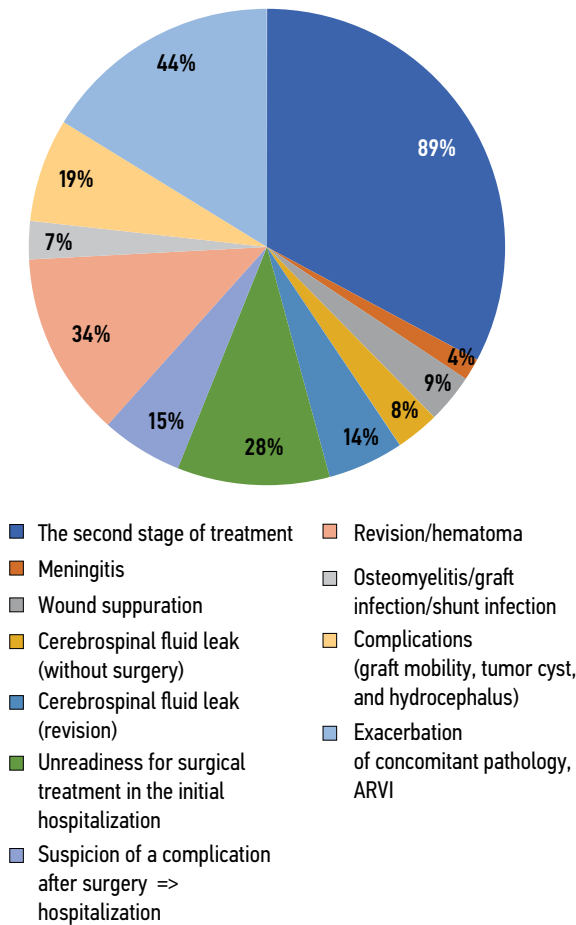


Fig. 3. Ratio of leading causes of readmissions.
 Note. OPBI is an acute respiratory viral infection.

characterized, in particular, by the duration of the patient's stay in the hospital, repeated hospitalizations within 30 days (Fig. 3), and unscheduled transfers to the resuscitation and

intensive care unit (ICU). The proportion of surgical patients with a longer hospital stay than planned was 28.9%–30.9%, and the proportion of patients with repeated hospitalizations was 2.9%–3.3%.

Unscheduled transfer from the clinical department to the ICU was one of the important indicators of the complicated course of the disease. In different years, this figure was 1.53%–1.69%. The most common causes of unscheduled transfers included depression of consciousness, neurologic deficit, intractable fluctuations in blood pressure, convulsive syndrome of varying severity, and inflammatory complications (meningitis, abscesses, and sepsis). The ratio of the frequency of the main reasons for transfers to the ICU is shown in Fig. 4.

The analysis of the above factors enabled us to structure the general parameters that are of key importance for the registration and analysis of neurosurgical complications. Neurosurgical complications can be defined as any adverse unintended deviation from the ideal course of the treatment process for a patient with neurosurgical pathology. This definition is quite brief but enables us to avoid conditional assumptions, such as the definition “an adverse, unintended and direct result of a surgery that affected the patient, which would not have happened if the surgery had been as good as possible,” and has a sufficient degree of universality, in contrast to the definition “a pathological process secondary to the trauma of the brain and its covering. It is not always present but can occur under the influence of additional exogenous and endogenous factors” [1, 2, 8].

A preliminary analysis of the registered complications showed that, for a complete assessment of them from the viewpoint of quality and safety of the medical activity, it is not sufficient to consider only postoperative complications

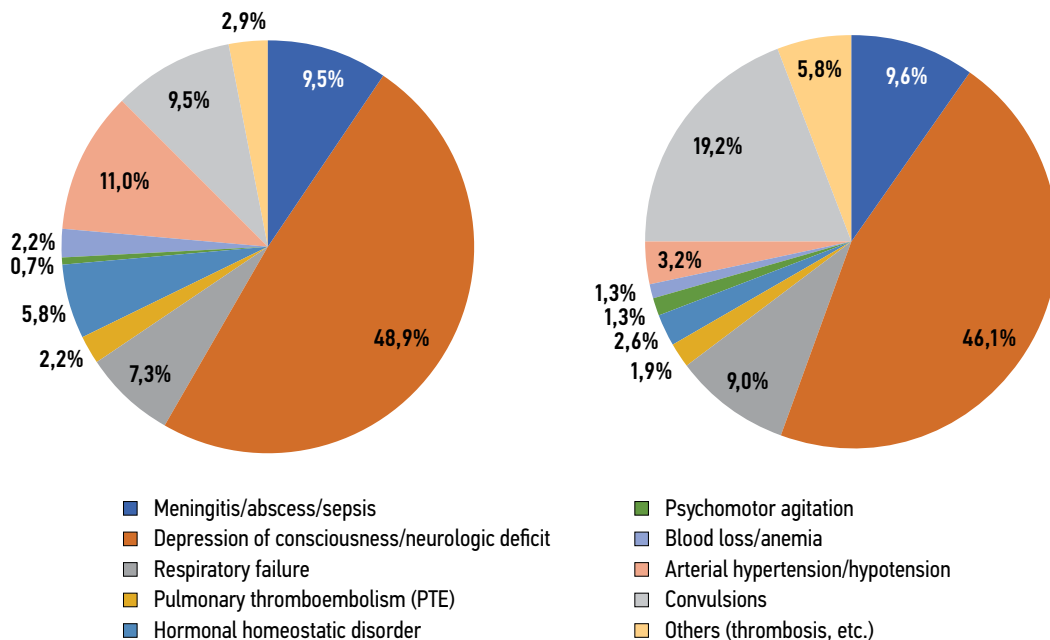


Fig. 4. The frequency ratio of the main causes of transfers to the ICU.
 Note. ТЭЛА — pulmonary embolism.

or complications associated with a surgical procedure. The treatment process starts from the establishment of the primary diagnosis, which is currently performed mainly at the prehospital stage. Furthermore, in terms of time parameters, the patient passes through a series of successive stages: the prehospital stage, the preoperative period, the surgical intervention stage, and the postoperative period, including the early and late time periods. Complications can develop at each treatment stage, although the probability of their development and the frequency of registration are different. Additionally, each treatment stage is accompanied by a set of required planned or unscheduled invasive or noninvasive diagnostic procedures and therapeutic measures, which, in addition to the surgery itself, include other therapeutic methods, in particular pharmacotherapy, minor surgical procedures, and in some cases, radiation treatment or other methods. All these therapeutic effects can also be accompanied by the development of complications, which differ depending on the main method, and their complete list can be very extensive [1].

Surgical intervention is not limited exclusively to the main neurosurgical support but includes several anesthetic procedures (intubation, mechanical ventilation of the lungs, and regional or local anesthesia) and additional actions or manipulations (punctures of central or peripheral vessels, catheter insertion, venesection, and others), each of which may be the cause of certain adverse effects or complications.

A developed complication of varying severity has or may have an impact of varying degrees of significance on the course of the underlying process or concomitant disease,

which may require a change in the standard treatment regimen and the use of additional techniques, including surgical interventions or their repetition, which may require the use of various forms (emergency or elective) and types (outpatient or inpatient) of medical care depending on the nature and the severity of complications.

When analyzing and structuring complications, the result of its development is one of the most important indicators, which is characterized by varying degrees of harm to the patient's health and life-threatening or fatal outcomes. Finally, it is necessary to provide a list of various diseases or pathological conditions that can lead to an adverse or unintentional deviation from the ideal treatment course to simplify the registration of complications. The list of these diseases includes the main organs and systems of the body and considers both pathogenetically similar and intercurrent conditions. The summation of all the listed factors and conditions enabled us to formulate an original classification scheme, making it possible to consider most of the positions associated with the development of complications and, accordingly, their analysis. A general view of the classification scheme is shown in Fig. 5.

This scheme seems unnecessarily complex and overloaded with unequal factors. However, considering the current level of digitalization and the state of the art of medical information systems, it involves the use of individual items in digital form by adding coding, which enables us to obtain a unique code for each patient in case of an appropriate directory and computer processing, considering the presence of a specific factor for each section of the classification, as

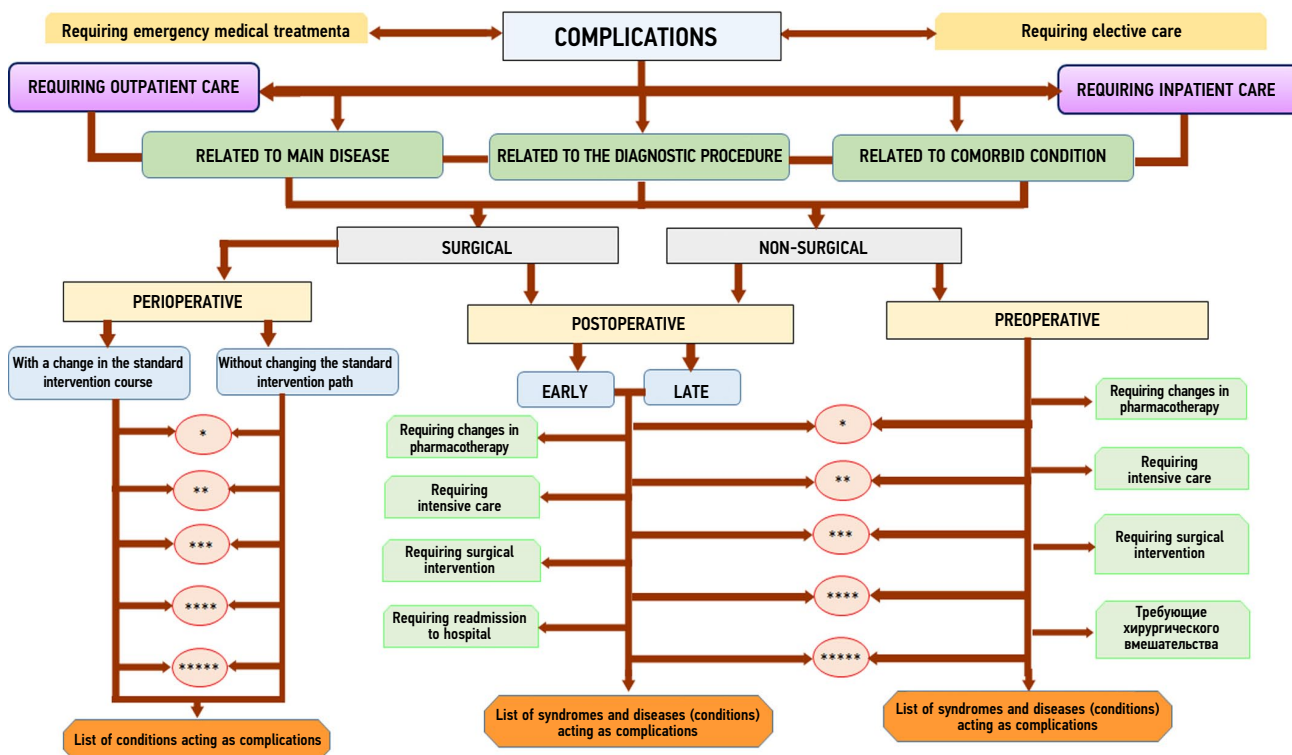


Fig. 5. Classification scheme for neurosurgical complications.

well as encrypting and decrypting this code during computer processing. The proposed coding of temporary, pathogenetic, therapeutic, organizational, and resulting factors in the analysis of complications is shown in Tables 2 and 3.

CONCLUSION

The analysis of the literature revealed a series of discussions in the neurosurgical community. Based on our own

Table 2. The list of factors that need to be taken into account in the development of complications, and their coding

Category designation	Type of complication
<i>According to the surgical intervention</i>	
I	Surgical (indicating the intervention/procedure code*)
II	Nonsurgical
<i>According to the time of occurrence and development</i>	
A	Preoperative
Б	Intraoperative
B	Postoperative early [#]
Г	Postoperative late ^{##}
<i>According to the degree of harm to health</i>	
*	Temporary harm to health requiring supplementary treatment
**	Temporary harm to health requiring hospitalization or its prolongation
***	Permanent harm to health
****	Life-threatening condition requiring resuscitation
*****	Death
<i>According to the association with the pathological process</i>	
α	Associated with underlying diseases
β	Associated with comorbidities
γ	Related to the diagnostic procedure
δ	Iatrogenic
<i>According to the required type of medical care</i>	
AMB	Requiring outpatient treatment
HOS	Requiring inpatient care
<i>According to the required form of medical care</i>	
EM	Requiring emergency medical assistance
PL	Requiring routine medical care
<i>According to the nature of changes in the plan (scheme) of the treatment process</i>	
1	Requiring changes in the standard course of surgical intervention
2	Not requiring changes in the standard course of surgical intervention
3	Requiring a change in the pharmacotherapy regimen
4	Requiring intensive therapy
5	Requiring surgical procedures
6	Requiring surgical intervention
7	Requiring repeated surgical intervention
8	Requiring readmission

Note. * — code of intervention (manipulation) in accordance with the order of the Ministry of Health of Russia N 804n of October 13, 2017 «On approval of the range of medical services», # — early postoperative complications (the first 7 days after surgery), ## — late postoperative complications (later than 7 days after surgery).

Table 3. List of conditions considered as complications in the neurosurgical clinic

Primary coding	Systemic lesions or group of complications	Secondary coding	List of syndromes and diseases (conditions)
a_	Nervous system		
		a1	Edema and swelling of the brain
		a2	Hemorrhagic stroke
		a_3	Ischemic stroke
		a_4	Transient ischemic attack
		a_5	Hemorrhage into the tumor
		a_6	Hematoma in the tumor bed
		a_7	Subdural hematoma
		a_8	Subdural hematoma
		a_9	Hydrocephalus
		a_10	Cerebrospinal fluid leak
		a_11	Meningitis
		a_12	Epileptic syndrome
		a_13	Emergence or increase in neurologic deficit, which was not predicted before surgery
		a_13.1	Transient disorders
		a_13.2	Persistent disorders
		a_14	Positional neuritis of the peripheral nerve
		...	
b_	Cardiovascular system		
		b_1	Acute coronary syndrome (myocardial ischemia)
		b_2	Myocardial infarction
		b_3	Stenosis or thrombosis of the main artery
		b_	Stenosis or thrombosis of the peripheral artery(s)
		b_4	Central vein thrombosis
		b_5	Thrombosis of peripheral veins
		...	
c_	Respiratory system		
		c_1	Nasal hemorrhage
		c_2	Tongue necrosis
		c_3	Tracheoesophageal fistula
		c_4	Lung atelectasis
		c_5	Pneumothorax
		c_6	Hydrothorax
		c_7	Pleurisy
d_	Digestive system		
		d_1	Bleeding from the esophagus veins
		d_2	Gastric hemorrhage
		d_3	Intestinal bleeding
		d_4	Perforation of the stomach (duodenum)
		d_5	Intestinal perforation
		d_6	Intestinal obstruction
		d_7	Acute biliary tract obstruction
		d_8	Acute (toxic) hepatitis

Table 3. Table ending

Primary coding	Systemic lesions or group of complications	Secondary coding	List of syndromes and diseases (conditions)
		d_7	Hepatic insufficiency
		...	
e_	Urinary system		
		e_1	Pyelonephritis
		e_2	Cystitis
		e_3	Acute urinary retention
		e_4	Injury of the urethra
		e_5	Renal failure
		e_6	Anuria
		...	
f_	Endocrine system		
		f_1	Electrolyte metabolism disorder
		f_2	Diabetes insipidus
		f_3	Decompensation of diabetes mellitus
		f_4	Adrenal insufficiency
		...	
g_	Sensory system		
		g_1	Positional trauma of the eye bulb
		g_2	Sympathetic inflammation of the eye bulb
		g_3	Visual impairment
		g_1	Necrosis of the concha of the auricle
		g_2	Hypacusia (anacusia)
		g_3	Hyposmia (anosmia)
		...	
h_	Immune system		
		h_1	Local allergic reactions
		h_2	Quincke's edema
		h_3	Bronchospasm
		h_4	Anaphylactic shock
		h_5	Graft (implant) rejection
i_	Complex of soft tissues and bone structures		
		i_1	Soft tissue necrosis
		i_2	External hemorrhage from soft tissues
		i_2	Hemorrhage from soft tissues with hematoma formation
		i_4	Positional soft tissue compression
		i_5	Soft tissue burn
		i_6	Osteomyelitis
		i_7	Bone graft resorption
		...	
k_	General complications		
		k_1	Sepsis
		k_2	Multiple organ failure
		...	

experience, we proposed a definition of the term “neurosurgical complication” and an approach to registering complications. A classification scheme was proposed to systematize the data on registered complications, which considers most of the factors in the development of complications in the neurosurgical clinic. One of the advantages of the proposed classification is the unification of recorded complications to obtain objective data and conduct evidence-based analysis, which enables us to evaluate complications because of the application of a treatment quality control system by obtaining a complete amount of data on complications in the neurosurgical clinic, regardless of the number of beds, region, amount of care provided, and its specialization. The system is not closed and can be supplemented, if necessary, with additional lines in any section. Furthermore, the expected possibility of its use in a medical information system based on relevant reference information makes the process of registering complications and their subsequent analysis much less labor-consuming.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усачев Д.Ю., Назаренко А.Г., Шиманский В.Н., и др. Мониторинг послеоперационных осложнений в нейрохирургической клинике // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2020. № 1. С. 40–45.
2. Sokol D.K., Wilson J. What is a surgical complication? // *World J Surg.* 2008. Vol. 32, N 6. P. 942–944. doi: 10.1007/s00268-008-9471-6
3. Houkin K., Baba T., Minamida Y., et al. Quantitative analysis of adverse events in neurosurgery // *Neurosurgery.* 2009. Vol. 65, N 3. P. 587–594. Discussion 594. doi: 10.1227/01.NEU.0000350860.59902.68
4. Martin R.C. 2nd, Brennan M.F., Jaques D.P. Quality of complication reporting in the surgical literature // *Ann Surg.* 2002. Vol. 235, N 6. P. 803–813. doi: 10.1097/0000658-200206000-00007
5. Gozal Y.M., Aktüre E., Ravindra V.M., et al. Defining a new neurosurgical complication classification: lessons learned from a monthly Morbidity and Mortality conference // *J Neurosurg.* 2019. P. 1–5. doi: 10.3171/2018.9.JNS181004. Online ahead of print.

REFERENCES

1. Usachev DYu, Nazarenko AG, Shimansky VN, et al. Monitoring of postoperative complications in a neurosurgical clinic. *Kremlin Medicine Journal.* 2020;1:40–45. (In Russ).
2. Sokol DK, Wilson J. What is a surgical complication? *World J Surg.* 2008;32(6):942–924. doi: 10.1007/s00268-008-9471-6
3. Houkin K, Baba T, Minamida Y, et al. Quantitative analysis of adverse events in neurosurgery. *Neurosurgery.* 2009;65(3):587–594;discussion 594. doi: 10.1227/01.NEU.0000350860.59902.68
4. Martin RC 2nd, Brennan MF, Jaques DP. Quality of complication reporting in the surgical literature. *Ann Surg.* 2002;235(6):803–813. doi: 10.1097/0000658-200206000-00007

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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).

Author’s contribution. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

6. Clavien P.A., Sanabria J.R., Strasberg S.M. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy // *Surgery.* 1992. Vol. 111, N 5. P. 518–526.
7. Dindo D., Demartines N., Clavien P.A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey // *Ann Surg.* 2004. Vol. 240, N 2. P. 205–213. doi: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae
8. Лихтерман Л.Б., Потапов А.А., Клевно В.А., и др. Последствия черепно-мозговой травмы // Судебная медицина. 2016. Т. 2, № 4. С. 4–20. doi: 10.19048/2411-8729-2016-2-4-4-20
9. Bonsanto M.M., Hamer J., Tronnier V., Kunze S. A complication conference for internal quality control at the Neurosurgical Department of the University of Heidelberg // *Acta Neurochir Suppl.* 2001. N 78. P. 139–145. doi: 10.1007/978-3-7091-6237-8_26
10. Landriel Ibañez F.A., Hem S., Ajler P., et al. A new classification of complications in neurosurgery // *World Neurosurg.* 2011. Vol. 75, N 5–6. P. 709–715. Discussion 604–611. doi: 10.1016/j.wneu.2010.11.010

5. Gozal YM, Aktüre E, Ravindra VM, et al. Defining a new neurosurgical complication classification: lessons learned from a monthly Morbidity and Mortality conference. *J Neurosurg.* 2019;1–5. doi: 10.3171/2018.9.JNS181004. Online ahead of print.
6. Clavien PA, Sanabria JR, Strasberg SM. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy. *Surgery.* 1992;111(5):518–526.
7. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg.* 2004;240(2):205–213. doi: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae

8. Lihтерman LB, Potapov AA, Klevno VA, et al. Aftereffects of head injury. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2016;2(4):4–20. (In Russ). doi: 10.19048/2411-8729-2016-2-4-4-20
9. Bonsanto MM, Hamer J, Tronnier V, Kunze S. A complication conference for internal quality control at the Neurosurgical

- Department of the University of Heidelberg. *Acta Neurochir Suppl*. 2001;78:139–145. doi: 10.1007/978-3-7091-6237-8_26
10. Landriel Ibañez FA, Hem S, Ajler P, et al. A new classification of complications in neurosurgery. *World Neurosurg*. 2011;75(5–6):709–715;discussion 604–611. doi: 10.1016/j.wneu.2010.11.010

ОБ АВТОРАХ

Усачёв Дмитрий Юрьевич, д.м.н., проф., академик РАН, врач-нейрохирург, директор ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко»;
ORCID: 0000-0002-9811-9442;
eLibrary SPIN: 6618-0420;
e-mail: DUsachev@nsi.ru

Назаренко Антон Герасимович, д.м.н., профессор РАН, врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0003-1314-2887;
eLibrary SPIN: 1402-5186;
e-mail: nazarenkoag@cito-priorov.ru

Коновалов Николай Александрович, д.м.н., член-корреспондент РАН, врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0003-0824-1848;
eLibrary SPIN: 9436-3719;
e-mail: NAKonovалov@nsi.ru

Тяняшин Сергей Владимирович, д.м.н., врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0001-8351-5074;
eLibrary SPIN: 5490-1820;
e-mail: STanyashin@nsi.ru

* **Шарипов Олег Ильдарович**, к.м.н., врач-нейрохирург;
адрес: Россия, 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16;
ORCID: 0000-0003-3777-5662;
eLibrary SPIN: 3279-0844;
e-mail: osharipov@nsi.ru

Шульц Мария Андреевна, к.м.н., врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0002-1727-5102;
eLibrary SPIN: 4250-6871;
e-mail: MShults@nsi.ru

Данилов Глеб Валерьевич, к.м.н., учёный секретарь;
ORCID: 0000-0003-1442-5993;
eLibrary SPIN: 4140-8998;
e-mail: gdanilov@nsi.ru

AUTHORS INFO

Dmitriy Yu. Usachev, MD, Dr. Sci. (Med.), Academician of RAS, neurosurgeon, director;
ORCID: 0000-0002-9811-9442;
eLibrary SPIN: 6618-0420;
e-mail: DUsachev@nsi.ru

Anton G. Nazarenko, MD, Dr. Sci. (Med.), professor of RAS, traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0003-1314-2887;
eLibrary SPIN: 1402-5186;
e-mail: nazarenkoag@cito-priorov.ru

Nikolay A. Konovалov, MD, Dr. Sci. (Med.), corresponding member of RAS, neurosurgeon;
ORCID: 0000-0003-0824-1848;
eLibrary SPIN: 9436-3719;
e-mail: NAKonovалov@nsi.ru

Sergey V. Tanyashin, MD, Dr. Sci. (Med.), neurosurgeon;
ORCID: 0000-0001-8351-5074;
eLibrary SPIN: 5490-1820;
e-mail: STanyashin@nsi.ru

* **Oleg I. Sharipov**, MD, Cand. Sci. (Med.), neurosurgeon;
address: 16 Tverskaya-Yamskaya Str., 125047, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-3777-5662;
eLibrary SPIN: 3279-0844;
e-mail: osharipov@nsi.ru

Maria A. Shults, MD, Cand. Sci. (Med.), neurosurgeon;
ORCID: 0000-0002-1727-5102;
eLibrary SPIN: 4250-6871;
e-mail: MShults@nsi.ru

Gleb V. Danilov, MD, Cand. Sci. (Med.), Academic Secretary;
ORCID: 0000-0003-1442-5993;
eLibrary SPIN: 4140-8998;
e-mail: gdanilov@nsi.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322858>

Дифференциальная диагностика очаговых изменений позвоночника с использованием стандартного и радиомического анализа: ретроспективное исследование

Н.И. Сергеев, П.М. Котляров, В.А. Солодкий

Российский научный центр рентгенорадиологии, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. При обнаружении очаговых изменений в костях врач-рентгенолог должен исключить или подтвердить наличие метастатического характера поражения. Хотя семиотика метастатических и неонкологических изменений по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) достаточно известна, на практике могут встречаться различные сочетания сигнальных характеристик, отражающие течение хронических параллельных процессов, значительно затрудняющих интерпретацию. Использование методов компьютерного анализа изображений имеет большие перспективы и способно повысить диагностическую точность стандартных методов визуализации.

Цель. Повысить точность диагностики рентгенологических заключений очаговых изменений позвоночника с помощью дополнительной оценки изображений алгоритмами компьютерного анализа.

Материалы и методы. Обследованы 30 пациентов, 15 из которых — с метастатическими изменениями в костях вследствие рака молочной железы и ещё 15 — с очаговыми изменениями в костях неонкологической природы. Компьютерный анализ очаговых изменений тел позвонков проведён по T₁ВИ, T₂ВИ, STIR МРТ-последовательностям. Для компьютерного анализа использовали оператор сложности изображения Арцела, гистограммное распределение яркостей.

Результаты. Установлены основные дифференциальные показатели для гемангиомы, условно-нормальных участков костного мозга и метастатических очагов. Оператор сложности изображений Арцела для гемангиомы составил ~0,07, для метастазов (mts) — ~0,05, для позвонка — ~0,04. Гистограммный оператор яркостей для гемангиомы составил ~1,12, для mts — ~0,94. Отличие показателей между собой оказалось равным около 20–25% между гемангиомой и костным мозгом и 35% — между mts и костным мозгом, что позволяет эффективно использовать перечисленные показатели вместе с другими маркерами.

Заключение. Полученные в работе с помощью радиомического анализа критерии дифференциальной диагностики показали значимые различия между очаговыми изменениями в позвонках различной этиологии. С математической точки зрения они носят рекомендательный характер, а в центре системы принятия решений остаётся врач с его опытом.

Ключевые слова: метастазы в кости; онкология; магнитно-резонансная томография; радиомика.

Как цитировать:

Сергеев Н.И., Котляров П.М., Солодкий В.А. Дифференциальная диагностика очаговых изменений позвоночника с использованием стандартного и радиомического анализа: ретроспективное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322858>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322858>

Differential diagnosis of focal changes in the spine using standard and radiomic analysis

Nikolay I. Sergeev, Petr M. Kotlyarov, Vladimir A. Solodky

Russian Scientific Center of Roentgenradiology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: If focal changes in the bones are detected, the radiologist must exclude or confirm the presence of a metastatic lesion. Although the semiotics of metastatic and non-oncological changes according to magnetic resonance imaging (MRI) data is well known, in practice, there may be various combinations of their characteristics that are influenced by other chronic diseases and parallel processes, which significantly complicate interpretation. The use of computer image analysis methods has great prospects and can improve the diagnostic accuracy of standard imaging methods.

OBJECTIVE: To improve the accuracy of diagnosing radiographic findings of focal changes in the spine using additional image evaluation by computer analysis algorithms.

MATERIALS AND METHODS: Thirty patients were examined, and 15 of them had metastatic bone lesions from breast cancer, and 15 had focal changes in the spine of a non-oncological nature. Computer analysis of focal changes in the vertebral bodies was conducted according to T₁WI, T₂WI, and STIR MRI sequences. For the computer analysis, the operator of the complexity of the image Arzela and histogram distribution of brightness were used.

RESULTS: The main differential indicators for hemangioma, conditionally normal areas of the bone marrow, and metastatic foci have been established. The Arzela data image complexity operator was approximately 0.07 for hemangioma, approximately 0.05 for metastases (mts), and approximately 0.04 for vertebrae. The brightness histogram operator was approximately 1.12 for haemangioma and approximately 0.94 for mts. Regarding the difference between indicators, the difference is 20%–25%, between hemangioma and bone marrow and 35% between mts and bone marrow, which make it possible to effectively use these indicators together with other markers.

CONCLUSION: The criteria for differential diagnosis obtained using radiomic analysis showed significant differences between focal changes in the vertebrae of various etiologies. From a mathematical point of view, they are advisory, and the doctor with experience remains at the center of the decision-making system.

Keywords: bone metastases; oncology; MRI; radiomics.

To cite this article:

Sergeev NI, Kotlyarov PM, Solodky VA. Differential diagnosis of focal changes in the spine using standard and radiomic analysis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):77–85. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322858>

Received: 12.04.2023

Accepted: 26.04.2023

Published: 07.06.2023

BACKGROUND

Bone metastases have been reported to occur in approximately 40% of patients with cancer, with varying incidences depending on the primary tumor type and location [1]. Contemporary medical imaging methods, such as multislice computed tomography, magnetic resonance imaging (MRI), and positron emission tomography, have high diagnostic efficiency. However, the variability in the course of bone metastases determines the advantages and disadvantages inherent in each method [2, 3]. Modern image analysis algorithms aim to improve the interpretation of the obtained research results. Patients' conditions can be described in various ways and with varying degrees of detail based on MRI images using different methods, such as pixel-by-pixel analysis of images for various pathologies and modalities [4, 5]. Here, several methods can be selected, which are mainly reduced to certain statistics, namely, brightness statistics, histograms, and distribution of pixel groups (i.e., texture). Because of such large variability in values, despite attempts to systematize and unify the approach, at this stage, many different methods of analysis often provide contradictory or doubtful results [6]. Gradually, with the improvement in the methods of recognizing an object (disease), an increasing number of signs are included, leading to direct recognition of objects by a person or a neural network [7, 8].

Therefore, this study aimed to improve the accuracy of diagnostic radiographic findings of focal changes in the spine using an additional image evaluation by computer analysis algorithms.

MATERIALS AND METHODS

Study design

This was a single-center retrospective study. A total of 30 patients were included in this study. MRI data of the patients with focal changes in the spine were independently analyzed by two radiologists with >10 years of experience. If the conclusions of the radiologists coincided, the results of the images were divided into three groups (hemangiomas, metastasis, and normal bone marrow), after which they were subjected to radiomic analysis with the identification of features characteristic of each group.

Terms and conditions

MRI images were retrospectively analyzed on the workstation "PO Vidar" (Russia). Images were analyzed using the specialized software "Radiomica Applata" (Germany). MRI examinations were performed using standard protocols approved by the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology (Moscow).

Methods for assessing target indicators

Research methods

The diagnostic algorithm used MRI from devices from various manufacturers (Aera, Siemens, Germany; Atlas,

Canon, Japan) with a magnetic field strength of 1.5 T. All patients with cancer underwent bone scintigraphy within the examination protocol. All studies were independently evaluated by two radiologists with >10 years of experience to increase the significance.

Analysis methods

The key MRI sequence for radiomic analysis was T_2 -weighted images, and T_1 -weighted images and short tau inversion recovery (STIR) were used as auxiliary ones. After image normalization, a pixel-by-pixel analysis was performed with an assessment of the shape and an analysis of the histograms of the image brightness distribution [9]. When using these algorithms, sufficient homogeneity of the object is considered an important parameter. However, this requirement is strong but not always appropriate for many applications. Thus, as it should be in diagnostics, especially in differential diagnostics, additional information about the object should be included while limiting applicability [10].

On the desktop of "Radiomica Applata" (Germany, a proprietary design of IT researchers), the object under study was isolated in the histogram mode, which displays the frequency of occurrence of brightness graphically in the grayscale and enables setting the upper and lower threshold values. For example, when analyzing a hemangioma, if the corresponding brightness window is taken on the histogram, poorly distinguishable objects of a homogeneous structure can be selected (Fig. 1).

As the next extension of the object description, angiogenesis of breast cancer (BC) metastases was used, which has an additional property, namely, a chaotic pathological growth of the vascular network, compared with normal tissue. This determines the image complexity, where the object appears to be more chaotic, i.e., less complex than another, if the sum of boundaries of the parts of its components is less than that of the other under the same measurement conditions. The sum of the boundaries is calculated by the action of the gradient operator on the image under study, that is, a function of pairs of pixels (Arzela operator).

For shape recognition and the use of other modalities, neural networks with the architecture of a multilayer perceptron were used with an input vector of 100×100 [11]. The examples described do not require an analysis of the separability of the set of training images (Fig. 2).

In other cases, a self-learning Kohonen network was used for this purpose. The following groups of main images were taken to train the networks:

- Hemangioma.
- Normal tissue.
- Metastases.

Spondylolisthesis and areas of fatty degeneration in the vertebrae or the so-called fat deposits, namely, local focal changes with a high-fat content in the presence of intact bone marrow, were used as additional groups.

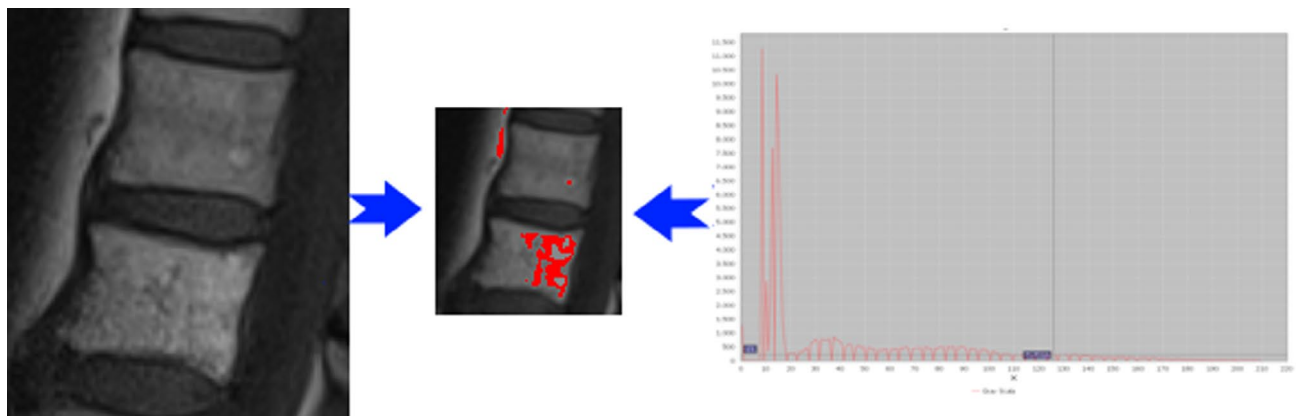


Fig. 1. T₁ tse sag-hemangioma, highlighted with a window on the brightness histogram, which is shown on the right side of the figure.

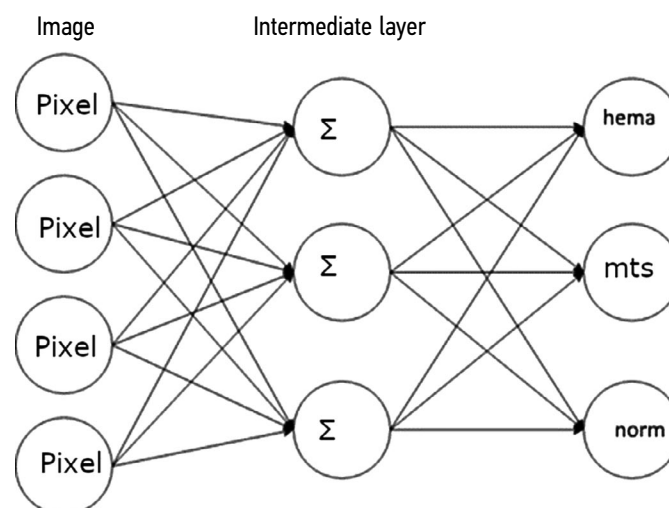


Fig. 2. Multilayer perceptron for recognition in T₂.

Note (here and in Fig. 3). hema — hemangioma, mts — metastasis, norm — normal tissue.

Ethical considerations

Ethical approval was waived due to the retrospective nature of the study.

RESULTS

Participants


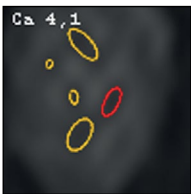





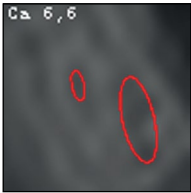


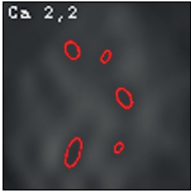


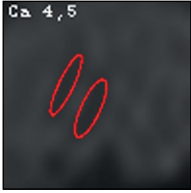
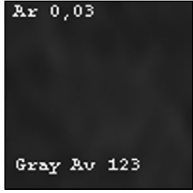

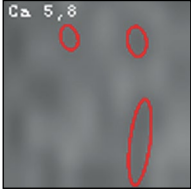

The results of the examination of 30 patients with focal changes in the vertebral bodies of the thoracic and lumbar spine were included in this study. Of the 30 patients, 15 had morphologically verified BC with metastatic focal changes in the bones, and 15 did not have a morphologically confirmed diagnosis of a malignant neoplasm, and they were examined due to nonspecific complaints of “pain or discomfort in the spine.” The most diagnostically indicative foci were used in the study. In this category of patients, hemangiomas of the vertebral bodies ($n=7$) and areas of subchondral edema in the vertebral bodies ($n=5$, 3 of them had spondylodiscitis) were determined. Furthermore, for comparison, areas of local delimited fatty degeneration of the bone marrow were

analyzed ($n=5$), and areas of unchanged vertebrae were measured in five patients. A total of 40 measurements were made in this study.

Primary results

The values of the ratios of light, medium, and dark intensities were obtained when analyzing the intensities in the studied objects. Dark sites were defined as microfoci or the so-called calderas. The ratio of the average brightness of an object (hemangioma, metastasis, or an area of conditionally unaltered bone marrow) to the brightness of the surrounding bone tissue of the vertebral body in grayscale was chosen as a “histogram” assessment. Table 1 shows the radiomic analysis results of hemangiomas. Table 2 shows the analysis of BC metastatic foci with the closest possible clinical characteristics. In the table, microfoci with brightness significantly higher than the average in the region of interest were marked in yellow, those with signal isointense (ISO) to the environment were marked in red, and areas with reduced intensity compared with the average were marked in green.

Table 1. Results of radiomic analysis of hemangiomas depending on the operators used in T₂WI sag mode


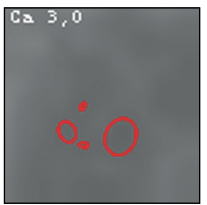


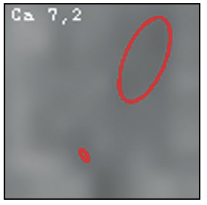


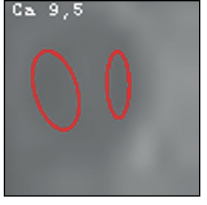


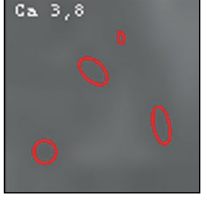

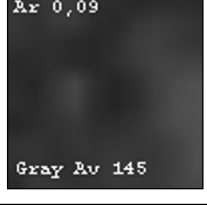
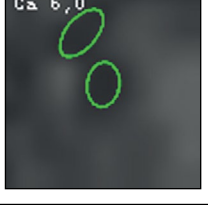

Description of Rol	Arzela Rol	Rol caldera	Arzela data image of the surroundings	Rol/surroundings in gray
Hemangioma-1, T ₂ -sagittal				1.27
Hemangioma-1, T ₂ -sagittal, subtotal				1.16
Hemangioma-2, T ₂ -sagittal				1.16
Hemangioma, T ₂ -sagittal				1.11
Fatty degeneration, T ₂ -sagittal				1.07
Hemangioma-2, T ₂ -sagittal				1.17

The hemangioma manifested itself in increased brightness compared with normal tissue, with a ratio of 1.11:1.27 in the cases discussed, increased structuredness (multiple ISO microfoci), and increased complexity (Arzela) to normal tissue. Furthermore, cases of fatty degeneration were reported, the main difference of which, compared with hemangioma, was the environment. Our parameters (intensity statistics, pattern complexity, and the presence of microfoci, which might not be present) did not reflect the environment and imaging mode (e.g., fat suppression) and were thus only necessary but insufficient.

BC metastases appeared to be reduced in brightness compared with normal tissue on a T-weighted image with a ratio of approximately 0.9 (Table 2). Additionally,

a certain increase in image complexity was noted. The caldera was distinctly elevated and varied from ISO to darkened, which is expressed as a percentage of the total image area. The study results showed that the main differential indicators of hemangioma, conditionally normal areas of the bone marrow, and metastatic foci were established. The Arzela image complexity operator was approximately 0.07 for hemangiomas, approximately 0.05 for metastases, and approximately 0.04 for vertebrae. The histogram brightness operator was approximately 1.12 for hemangiomas and approximately 0.94 for metastases. The difference between the indicators was about 20%–25% between hemangiomas and bone marrow and 35% between metastases and bone marrow. Therefore, these

Table 2. Results of T₂WI radiomic analysis of breast cancer (PMЖ) metastases

BC metastasis 1				0.915
BC metastasis 2				0.965
BC metastasis 3				0.945
BC metastasis 4				0.88
BC metastasis				0.98

indicators can be effectively used together with other markers.

Figure 3 shows the result of object recognition from Fig. 1. The Arzela value was superior to that of the “normal” adjacent tissue (leftmost image), which is typical for a hemangioma. Additionally, the ratio of average intensity to “normal” tissue, equal to 1.15, was characteristic of hemangioma. The conditional probabilities of identifying the object were indicated, from which the hemangioma

was recognized, with a conditional probability of 0.9 in shape.

Furthermore, as a control measure, the same parameters in the STIR MRI sequence were analyzed, which is considered an important diagnostic component in the differential diagnosis of focal changes in the spine. Here, the hemangioma also manifested itself to be brighter than normal tissue, with a ratio between 1.02 and 1.24 in the cases under consideration. The increased structuredness and increased complexity of the

**Fig. 3.** The results of the analysis of hemangioma by the Artzel drawing complexity operator.

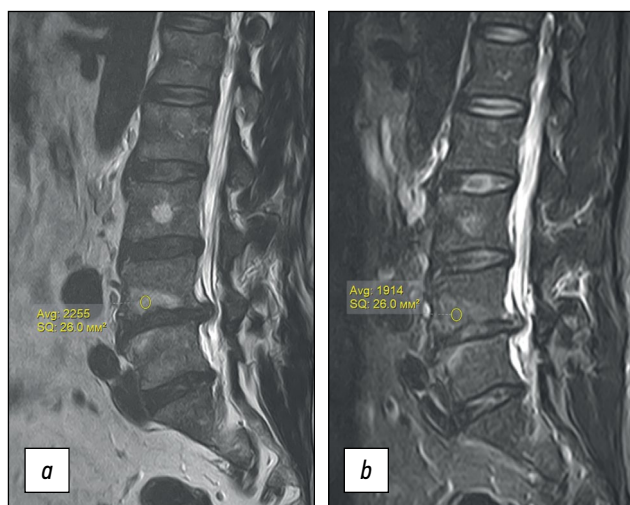


Fig. 4. MRI of the lumbar spine in the sagittal projection. T₂WI, degenerative-dystrophic changes in a patient without an oncological history. *a*) Zones of heterogeneous subcortical edema are determined in the bodies of the vertebrae L_{IV}, L_V against the background of a herniated disc. *b*) In the STIR mode, the severity of edema appears to be reduced in relation to T₂WI due to areas of fatty degeneration and subcortical sclerosis.

Arzela operator in relation to normal tissue were important established criteria.

The image analysis operators used did not reveal significant differences in the differential signs of the presented edema and vertebral fat deposit cases. This is probably due to parallel processes, where areas of fatty degeneration with a reduced signal in STIR and uneven zones of subcortical osteosclerosis are determined against the subcortical peritrabecular edema (Fig. 4).

DISCUSSION

Computer analysis methods of images, such as radiomics, texture analysis, and computer aid systems, have great prospects. Some solutions are already being used in practice, such as in screening for focal changes in the lungs, predicting the results of treatment of brain tumors, and direct evaluation of treatment efficiency of BC metastases [12–14]. Although this study demonstrated a rather high efficiency in distinguishing

between benign and malignant focal changes in the spine, this can be due to the fact that the clinical cases most typical from a radiographic point of view were analyzed in this study. In practice, several parallel chronic processes pose the greatest difficulty for radiologists in evaluating bones when changes can overlap. Improving the diagnostic efficiency of the method consists of cross-analysis of various sequences and operators and search for new radiomic image markers, which requires further research and a larger number of cases.

Some measurement errors may depend on the difference in image filters implemented on devices from different manufacturers. Thus, more cases and statistical analyses of the results obtained are needed to increase the significance of the results obtained.

CONCLUSION

The differential diagnostic criteria demonstrated in this study, including data obtained using neural networks, are necessary but insufficient from a mathematical point of view and are advisory in nature. Medical specialists with experience are still at the core of the decision-making system.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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).

Author's contribution. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Padalkar P., Tow B. Predictors of survival in surgically treated patients of spinal metastasis // *Indian J Orthop.* 2011. Vol. 45, N 4. P. 307–313. doi: 10.4103/0019-5413.82333
2. Сергеев Н.И., Фомин Д.К., Котляров П.М., Солодкий В.А. Сравнительное исследование возможностей ОФЭКТ/КТ и магнитно-резонансной томографии всего тела в диагностике костных метастазов // *Вестник Российского научного центра рентгено-радиологии.* 2015. Т. 15, № 3. С. 8.
3. Haraldsen A., Bluhme H., Røhl L., et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) and SPECT/low-dose computerized tomography did not increase sensitivity or specificity compared

to planar bone scintigraphy for detection of bone metastases in advanced breast cancer // *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016. Vol. 36, N 1. P. 40–46. doi: 10.1111/cpf.12191

4. Иозефи Д.Я., Сергеев Н.И., Солодкий В.А., Винидченко М.А. Возможности текстурного анализа изображений (коэффициента структурной гетерогенности и карт исчисляемого коэффициента диффузии) в дифференциальной диагностике метастатического поражения костей по данным магнитно-резонансной томографии // *Вестник Российского научного центра рентгено-радиологии.* 2022. Т. 22, № 3. С. 1–17.

5. Tian Z., Chen C., Fan Y., et al. Glioblastoma and Anaplastic Astrocytoma: Differentiation Using MRI Texture Analysis // *Front Oncol.* 2019. N 9. P. 876. doi: 10.3389/fonc.2019.00876
6. Литвин А.А., Буркин Д.А., Кропинов А.А., Парамзин Ф.Н. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор) // *Современные технологии в медицине.* 2021. Т. 13, № 2. С. 97–104. doi: 10.17691/stm2021.13.2.11
7. Özgül H.A., Akin I.B., Mutlu U., Balci A. Diagnostic value of machine learning-based computed tomography texture analysis for differentiating multiple myeloma from osteolytic metastatic bone lesions in the peripheral skeleton // *Skeletal Radiol.* 2023. doi: 10.1007/s00256-023-04333-4. Epub ahead of print.
8. Park H.J., Park B., Lee S.S. Radiomics and Deep Learning: Hepatic Applications // *Korean J Radiol.* 2020. Vol. 21, N 4. P. 387–401. doi: 10.3348/kjr.2019.0752
9. Shinohara R.T., Sweeney E.M., Goldsmith J., et al. Statistical normalization techniques for magnetic resonance imaging // *Neuroimage Clin.* 2014. N 6. P. 9–19. doi: 10.1016/j.nicl.2014.08.008
10. Pencheva T.D. Hochaufgelöste MRT zur Quantifizierung veränderter trabekulärer Knochen-Architektur bei Patientinnen mit

- und ohne Mammakarzinom und osteoporotischer Wirbelkörper-Fraktur: dissertation. München: Universitätsbibliothek der TU München, 2013. Available from: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1129206/1129206.pdf>. Accessed: 14.05.2023.
11. Steinhauer V., Steinhauer L. Neuroph and DL4J // *Java Magazine.* 2021. N 6. P. 79–82.
12. Морозов С.П., Кокина Д.Ю., Павлов Н.А., и др. Клинические аспекты применения искусственного интеллекта для интерпретации рентгенограмм органов грудной клетки // *Туберкулез и болезни легких.* 2021. Т. 99, № 4. С. 58–64. doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-4-58-64
13. Ye J., Huang H., Jiang W., et al. Tumor Grade and Overall Survival Prediction of Gliomas Using Radiomics // *Scientific Programming.* 2021. Vol. 2021. Article ID 9913466. doi: 10.1155/2021/9913466
14. Штайнграуэр В., Сергеев Н.И. Радиомика при раке молочной железы: использование глубокого машинного анализа МРТ-изображений метастатического поражения позвоночника // *Современные технологии в медицине.* 2022. Т. 14, № 2. С. 16. doi: 10.17691/stm2022.14.2.02

REFERENCES

1. Padalkar P, Tow B. Predictors of survival in surgically treated patients of spinal metastasis. *Indian J Orthop.* 2011;45(4):307–313. doi: 10.4103/0019-5413.82333
2. Sergeev NI, Fomin DK, Kotlyarov PM, Solodkiy VA. Comparative study of the possibilities of SPECT/CT and whole body MRI in the diagnosis of bone metastases. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology.* 2015;15(3):8. (In Russ).
3. Haraldsen A, Bluhme H, Röhl L, et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) and SPECT/low-dose computerized tomography did not increase sensitivity or specificity compared to planar bone scintigraphy for detection of bone metastases in advanced breast cancer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016;36(1):40–46. doi: 10.1111/cpf.12191
4. Iosefi DYa, Sergeev N, Solodkiy VA, Vinidchenko MA. Possibilities of textural analysis of images (structural heterogeneity coefficient and maps of the apparent diffusion coefficient) for differential diagnosis of metastatic bone lesions according to magnetic resonance imaging. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology.* 2022;22(3):1–17. (In Russ).
5. Tian Z, Chen C, Fan Y, et al. Glioblastoma and Anaplastic Astrocytoma: Differentiation Using MRI Texture Analysis. *Front Oncol.* 2019;9:876. doi: 10.3389/fonc.2019.00876
6. Litvin AA, Burkin DA, Kropinov AA, Paramzin FN. Radiomics and Digital Image Texture Analysis in Oncology (Review). *Sovrem Tekhnologii Med.* 2021;13(2):97–104. (In Russ). doi: 10.17691/stm2021.13.2.11
7. Özgül HA, Akin IB, Mutlu U, Balci A. Diagnostic value of machine learning-based computed tomography texture analysis for differentiating multiple myeloma from osteolytic metastatic bone lesions in the peripheral skeleton. *Skeletal Radiol.* 2023. doi: 10.1007/s00256-023-04333-4. Epub ahead of print.
8. Park HJ, Park B, Lee SS. Radiomics and Deep Learning: Hepatic Applications; *Korean J Radiol.* 2020;21(4):387–401. doi: 10.3348/kjr.2019.0752
9. Shinohara RT, Sweeney EM, Goldsmith J, et al. Statistical normalization techniques for magnetic resonance imaging. *Neuroimage Clin.* 2014;6:9–19. doi: 10.1016/j.nicl.2014.08.008
10. Pencheva TD. *Hochaufgelöste MRT zur Quantifizierung veränderter trabekulärer Knochen-Architektur bei Patientinnen mit und ohne Mammakarzinom und osteoporotischer Wirbelkörper-Fraktur* [dissertation]. München: Universitätsbibliothek der TU München, 2013. Available from: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1129206/1129206.pdf>. Accessed: 14.05.2023. (In German).
11. Steinhauer V, Steinhauer L. Neuroph and DL4J. *Java Magazine.* 2021;6:79–82.
12. Morozov SP, Kokina DYu, Pavlov NA, et al. Clinical aspects of using artificial intelligence for the interpretation of chest X-rays. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2021;99(4):58–64. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-4-58-64
13. Ye J, Huang H, Jiang W, et al. Tumor Grade and Overall Survival Prediction of Gliomas Using Radiomics. *Scientific Programming.* 2021;2021:9913466. doi: 10.1155/2021/9913466
14. Steinhauer V, Sergeev NI. Radiomics in Breast Cancer: In-Depth Machine Analysis of MR Images of Metastatic Spine Lesion. *Sovrem Tekhnologii Med.* 2022;14(2):16. doi: 10.17691/stm2022.14.2.02

ОБ АВТОРАХ

*** Сергеев Николай Иванович**, д.м.н.,
ведущий научный сотрудник;
адрес: Россия, 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86;
ORCID: 0000-0003-4147-1928;
eLibrary SPIN: 2408-6502;
e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Котляров Петр Михайлович, д.м.н., профессор;
ORCID: 0000-0003-1940-9175;
eLibrary SPIN: 1781-2199;
e-mail: marnad@list.ru

Солодкий Владимир Алексеевич, д.м.н., профессор,
академик РАН;
ORCID: 0000-0002-1641-6452;
eLibrary SPIN: 9556-6556;
e-mail: director@rncrr.ru

AUTHORS INFO

*** Nikolai I. Sergeev**, MD, Dr. Sci. (Med.),
leading researcher,
address: 86 Profsoyuznaya Str., 117485, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-4147-1928;
eLibrary SPIN: 2408-6502;
e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Petr M. Kotlyarov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-1940-9175;
eLibrary SPIN: 1781-2199;
e-mail: marnad@list.ru

Vladimir A. Solodkiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
Academician of RAS;
ORCID: 0000-0002-1641-6452;
eLibrary SPIN: 9556-6556;
e-mail: director@rncrr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321241>

Замещение обширных костных дефектов при ревизионной артропластике коленного сустава: клинические наблюдения

М.В. Гиркало, М.Н. Козадаев, И.Н. Щаницын, А.В. Деревянов, В.В. Островский

НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭК) является одной из самых распространённых ортопедических операций, однако ежегодно возрастающие объёмы ТЭК предсказуемо увеличивают и число ревизионных вмешательств. Основными показаниями к ревизионному тотальному эндопротезированию коленного сустава (реТЭК) служат асептическая нестабильность, параимплантарная инфекция, послеоперационные контрактуры, перипротезный перелом. Для метафизарной фиксации при реТЭК в арсенале хирургов-ортопедов имеются метафизарные втулки, реконструктивные конусы из трабекулярного металла, метафизарные конусы из коммерчески чистого титана.

Описание клинического случая. Проведены изучение и демонстрация реТЭК с применением метафизарных фиксаторов (втулок и конусов) по разработанному нами алгоритму. Выводы систематических обзоров и метаанализов, посвящённых этой проблеме, не позволяют с уверенностью говорить о преимуществе того или иного метафизарного фиксатора, таким образом, на сегодняшний день вопрос остаётся дискуссионным. В рамках нашей работы представлены клинические примеры, которые демонстрируют возможности предлагаемого алгоритма выбора типа метафизарной фиксации при реТЭК, позволяющего успешно выполнять пластику костных дефектов, добиваться корректной пространственной ориентации, достигать хороших клинических и функциональных результатов.

Заключение. Выводы демонстрируют, что новый алгоритм выбора типа метафизарного фиксатора позволяет осуществить правильный подбор замещающего импланта для обеспечения стабильной ротационной и аксиальной фиксации.

Ключевые слова: ревизионное эндопротезирование; коленный сустав; дефекты костей; алгоритм.

Как цитировать:

Гиркало М.В., Козадаев М.Н., Щаницын И.Н., Деревянов А.В., Островский В.В. Замещение обширных костных дефектов при ревизионной артропластике коленного сустава: клинические наблюдения // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 87–95. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321241>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321241>

Replacement of extensive bone defects in revision knee arthroplasty: Clinical cases

Mikhail V. Girkalo, Maksim N. Kozadaev, Ivan N. Shchanitsyn, Alexandr V. Derevyanov, Vladimir V. Ostrovskij

Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Total knee arthroplasty (TKA) is one of the most common orthopedic surgeries; however, the annual increase in the number of TKAs predictably increases the number of revision interventions. The key reasons for revision TKA (reTKA) are aseptic instability, paraimplant infection, postoperative contractures, and periprosthetic fractures. The metaphyseal fixation in reTKA is performed with metaphyseal sleeves, trabecular metal reconstructive cones, or metaphyseal cones made of pure titanium.

CLINICAL CASES DESCRIPTION: This study aimed to investigate and demonstrate the outcomes of reTKAs performed according to our algorithm with various metaphyseal fixators (sleeves and cones). Systematic reviews and meta-analyses do not allow claiming the advantage of one or another metaphyseal fixator with complete certainty, and this issue remains debatable. We report clinical cases that demonstrate the potential of the suggested algorithm for choosing a metaphyseal fixator in TKA, which ensures successful supplements of bone defects, correct spatial orientation, and good clinical and functional outcomes.

CONCLUSION: This study reveals that this new algorithm for choosing a metaphyseal fixator in reTKAs allows for the correct selection of a replacement implant to ensure stable rotational and axial fixation.

Keywords: revision arthroplasty; knee joint; bone defects; algorithm.

To cite this article:

Girkalo MV, Kozadaev MN, Shchanitsyn IN, Derevyanov AV, Ostrovskij VV. Replacement of extensive bone defects in revision knee arthroplasty: Clinical cases. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):87–95. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321241>

Received: 10.03.2023

Accepted: 19.04.2023

Published: 05.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) — одна из самых востребованных операций в ортопедии, в связи с чем закономерно увеличивается число ревизионных вмешательств, и ожидается их дальнейший прогрессивный рост [1, 2]. По прогнозам ряда авторов, к 2030 году ревизионных артропластик коленного сустава будет выполняться на 600% больше по сравнению с числом операций, проводящихся в настоящее время [3]. Клинический результат ТЭКС и первичная выживаемость эндопротеза являются относительно успешными и надёжными показателями [4], чего нельзя сказать о результатах ревизионных вмешательств, которые требуются более чем в 10% случаев после ТЭКС [5].

Причинами ревизионного тотального эндопротезирования коленного сустава (реТЭКС) выступают нестабильность, асептическое расшатывание, износ компонентов эндопротеза, перипротезный перелом и инфекция. При реТЭКС большие костные дефекты могут поставить под угрозу правильную ориентацию и фиксацию импланта. Таким образом, одним из основных принципов ревизионного эндопротезирования является эффективное решение задачи замещения дефицита костной ткани для прочной фиксации и корректной ориентации импланта. Необходимо отметить, что на сегодняшний день вопрос о выборе метода метафизарной фиксации остаётся открытым [6].

В настоящее время самый распространённый вид ревизионного эндопротезирования — это замена всех компонентов эндопротеза коленного сустава, однако хирургическая тактика при обширных дефектах костной ткани (типа 2 и 3 по классификации Anderson Orthopaedic Research Institute, AORI) всё ещё остаётся предметом дискуссий [7]. Эпифизарная зона при ревизионной хирургии либо повреждена костными дефектами, либо слишком слаба для первичной фиксации. Дополнительная фиксация в диафизе и метафизе была рекомендована в зональной концепции R. Morgan-Jones и соавт. [8]. Для достижения стабильности в метафизе предложены различные стратегии. Традиционно использовались алло- или ауто-трансплантаты. Использование структурных аллотрансплантатов в последние годы сократилось из-за большой частоты повторных ревизий в отсроченном периоде [6].

Показанием для использования метафизарных фиксаторов служат костные дефекты 2-го и 3-го типа по классификации AORI [9], однако особенности хирургической техники при использовании этих конструкций требуют тщательного выбора метафизарного фиксатора и подготовки к операции с учётом локализации и протяжённости дефекта. В настоящее время существует несколько типов метафизарных фиксаторов для реТЭКС: метафизарные втулки, реконструктивные конусы из трабекулярного металла, метафизарные конусы из коммерчески чистого титана (ASTM F-67 Tritanium). Втулки и конусы имеют ряд преимуществ перед аллотрансплантатами

для метафизарной фиксации, таких как более простая техника, отсутствие риска передачи вирусной или бактериальной инфекции, более короткая операция и, возможно, более прочная фиксация. Они могут быть связаны с аугментацией и/или костными трансплантатами [10]. Вышеизложенное предполагает разработку алгоритма выбора метафизарного фиксатора для обеспечения наилучшего результата без осложнений.

Цель работы состояла в том, чтобы изучить и продемонстрировать результаты реТЭКС с применением метафизарных фиксаторов (втулок и конусов) по предлагаемому нами алгоритму.

МЕТОДОЛОГИЯ

Одним из основных принципов реТЭКС является эффективное решение задачи замещения дефицита костной ткани для прочной фиксации и корректной ориентации импланта. Согласно данным специалистов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» (Санкт-Петербург), дефицит кости при реТЭКС имеет место у 94% пациентов [11]. Следует отметить, что степень выраженности дефицита костной ткани оказывает значительное влияние на качество фиксации эндопротеза и прогнозирование хорошего результата. Так, небольшие ограниченные дефекты могут быть замещены костным аллотрансплантатом или цементом, в то время как большие дефекты могут потребовать комбинации нескольких методов, включающих использование стержней, аугментов, втулок, конусов и костной пластики. Как показывает анализ, на исход реТЭКС оказывают влияние тип костного дефекта и способ его замещения, а также правильное выравнивание конечностей, восстановление линии сустава, точное позиционирование протеза, симметричная балансировка связок и адекватное движение сустава [12].

Авторы исследований, посвящённых использованию структурного аллотрансплантата при реТЭКС, сообщают о значительной частоте осложнений и повторных операциях, связанных с инфекцией (4–8%), несращением (0–4%), несостоятельностью и резорбцией трансплантата (8–23%) [9]; применение массивных структурных трансплантатов осложняется в 22–25% [13], импакционной костной пластики — в 14% [14], а металлических аугментов — в 8% случаев [15]. Частота осложнений, связанных с асептической нестабильностью ревизионных эндопротезов, сохраняется примерно на одном уровне, а накопленный многолетний опыт не демонстрирует явного преимущества какой-либо методики компенсации костных дефектов [16].

Использование метафизарных втулок и конусов принципиально меняет распределение нагрузок на кость, увеличивая загруженность метафизарной зоны большеберцовой и бедренной кости, при этом обеспечивая вторичную фиксацию компонентов эндопротеза за счёт вставания кости в трабекулы металла [17]. Импланты

из пористого металла существуют более 10 лет, и промежуточные результаты их применения уже опубликованы [18]. В последнее десятилетие наблюдается тенденция к увеличению объёма исследований и сдвигу в сторону изучения втулок и конусов [19]. Лишь в нескольких исследованиях авторы сравнивают результаты применения пористых имплантов с традиционными методами трансплантации [20].

Краткосрочные результаты использования метафизарных втулок при рЕТЭКС описаны в ряде исследований [21], а имеющиеся среднесрочные результаты свидетельствуют о хороших и отличных показателях выживаемости [22]. Р. Bytтеbier и соавт. в 2021 году опубликовали самый крупный систематический обзор и единственный метаанализ (77 статей, 4391 коленных суставов) ранних и среднесрочных клинических результатов применения втулок и конусов по сравнению с использованием различных вариантов костной пластики и структурных трансплантатов [7]. При сравнении всех пористых имплантов и всех графтов не было обнаружено значимых различий по выживаемости протеза через 5–10 лет. При сравнении выживаемости конусов и втулок для втулок отмечен меньший риск ревизии (отношение шансов, ОШ=1,72, 95% доверительный интервал, ДИ, 0,88–2,57), чем для конусов (ОШ=3,04, 95% ДИ 1,71–4,37).

Таким образом, выбор того или иного метода метафизарной фиксации остаётся дискуссионным [6], в связи с чем, изучив ближайшие и отдалённые результаты

реТЭКС с применением втулок и конусов и основываясь на собственном опыте, мы разработали и предложили алгоритм выбора типа метафизарного фиксатора при реТЭКС на основании классификации костных дефектов (AORI), оценки состояния костномозгового канала и результатов первичной пробной фиксации втулки (рис. 1) [23].

Задачей алгоритма является обеспечение правильности подбора метафизарных фиксаторов с учётом технологий их имплантации и используемого для неё инструментария при снижении риска возникновения интраоперационных осложнений, связанных с техникой выполнения оперативных приёмов.

При выборе типа метафизарного фиксатора большое значение имеет форма костномозгового канала. Дело в том, что метафизарные втулки типа DePuy соединяются с бедренным и большеберцовым компонентами эндопротеза посредством посадки на конус и не требуют обязательного использования интрамедуллярного стержня. Периодически встречаются пациенты, имеющие деформацию костномозгового канала по причине неправильно сросшегося перелома. Это обстоятельство требует дополнительного вмешательства в виде корригирующей остеотомии с остеосинтезом в случае выраженной осевой деформации либо использования ревизионной системы без интрамедуллярного стержня. В связи с этим предложенный алгоритм подразумевает использование метафизарных втулок при деформации костного канала.

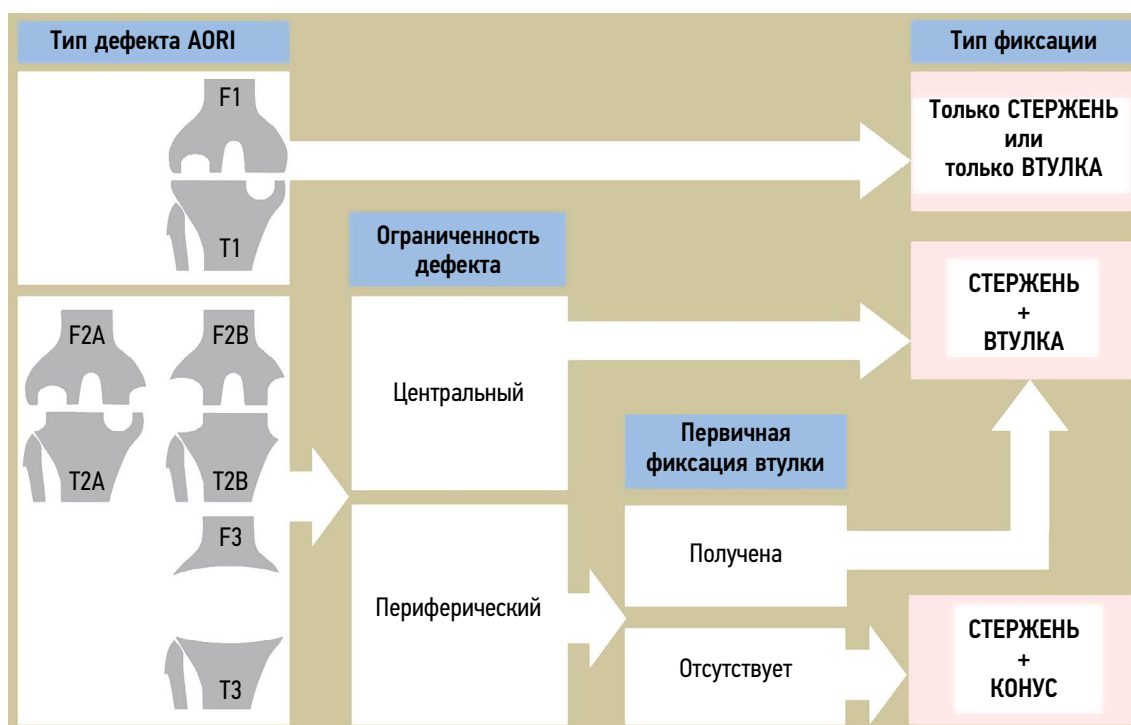


Рис. 1. Алгоритм выбора типа метафизарного фиксатора при ревизионном эндопротезировании коленного сустава на основании классификации костных дефектов (AORI), ограниченности дефекта и результатов первичной пробной фиксации втулки.

Fig. 1. Algorithm for choosing the type of metaphyseal fixator in revision knee arthroplasty based on AORI bone defect classification, the defect area, and the outcomes of the initial test fixation of the sleeve.

Представленные ниже клинические примеры демонстрируют актуальность предлагаемого алгоритма выбора типа метафизарной фиксации при рЕТЭКС, обеспечивающего успешную реализацию пространственной ориентации, пластики костных дефектов, а также достижение хороших клинических и функциональных результатов.

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

Пример 1

При оказании помощи пациенту Ч., возраст 62 года, поступившему на 2-й этап лечения перипротезной инфекции в НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии (НИИТОН, Саратов), на рентгенографии был обнаружен неправильно сросшийся перелом бедренной кости, что создавало потенциальные сложности для установки интрамедуллярного стержня (рис. 2).

Согласно предложенному алгоритму, было принято решение использовать метафизарную втулку. При обработке метафизарной части кости выявили дефект типа F1/T2B (ограниченный центральный дефект) по AORI, в связи с чем приняли решение использовать метафизарный фиксатор типа втулки DePuy; при обработке рашпилями удавалось получить адекватную ротационную и аксиальную стабильность импланта. Согласно разработанному алгоритму, использовали ревизионную



Рис. 2. Рентгенограммы больного Ч., 62 года. Дефект типа F1/T2B по AORI (a, b). Результат установки ревизионной системы с метафизарными втулками (c, d).

Fig. 2. X-ray images of the 62 y.o. patient Ch. with F1/T2B AORI defect (a, b). The outcome of implanting a revision system with a metaphyseal sleeves (c, d).

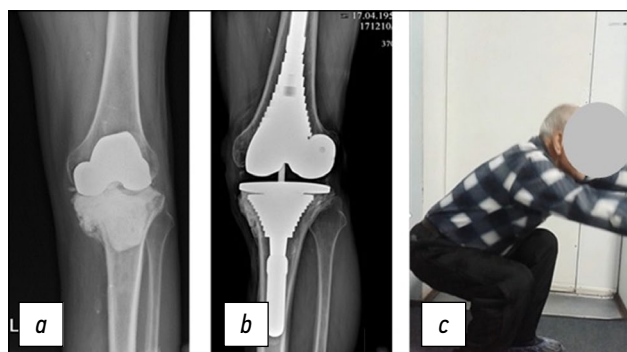


Рис. 3. Рентгенограммы пациента Е., 56 лет, дефект типа F2A/T2A по AORI (a), контрольная рентгенограмма (b) и фото пациента (c) через 9 лет после установки ревизионной системы с метафизарной втулкой и стержнем.

Fig. 3. X-ray images of the 56 y.o. patient E. with AORI F2A/T2A defect (a). Control X-ray image (b) and the picture of the patient (c) taken 9 years after implanting a revision system with a metaphyseal sleeve and a shaft.

систему с метафизарными втулками, что обеспечило хорошую первичную стабильность и соблюдение принципа зональной фиксации ревизионного эндопротеза коленного сустава.

Пример 2

Пациент Е., 56 лет, поступил в НИИТОН для прохождения 2-го этапа лечения перипротезной инфекции с центральным дефектом типа F2A и периферическим промежуточным 5–10-миллиметровым дефектом медиального мыщелка большеберцовой кости T2A по AORI. Несмотря на значительный костный дефект большеберцовой кости, интраоперационно успешно достигнута первичная стабильная фиксация метафизарной втулки (рис. 3).

Согласно разработанному алгоритму, нами выбрана метафизарная фиксация посредством втулки с интрамедуллярным стержнем. На контрольных рентгенограммах через 9 лет после операции отмечены признаки остеоинтеграции (рис. 3, B) и отсутствие остеолита. Также отмечена хорошая функция сустава (рис. 3, C).

Пример 3

Необходимо отметить, что периодически встречаются пациенты с обширными костными дефектами типа IIb и III по классификации AORI, у которых не удаётся достигнуть стабильной фиксации метафизарной втулки. Так, при лечении пациента М., возраст 59 лет, с асептической нестабильностью тибияльного компонента и сформированным типом костного дефекта F1/T2b по AORI (рис. 4) мы приняли во внимание периферический большой дефект медиального мыщелка и отсутствие ротационной и аксиальной стабильности тестовой втулки (рис. 4, B). Для предотвращения последующего асептического расшатывания компонентов ревизионного эндопротеза в нашем алгоритме предлагается использовать опорные реконструктивные конусы из титана (рис. 4, C). Для установки

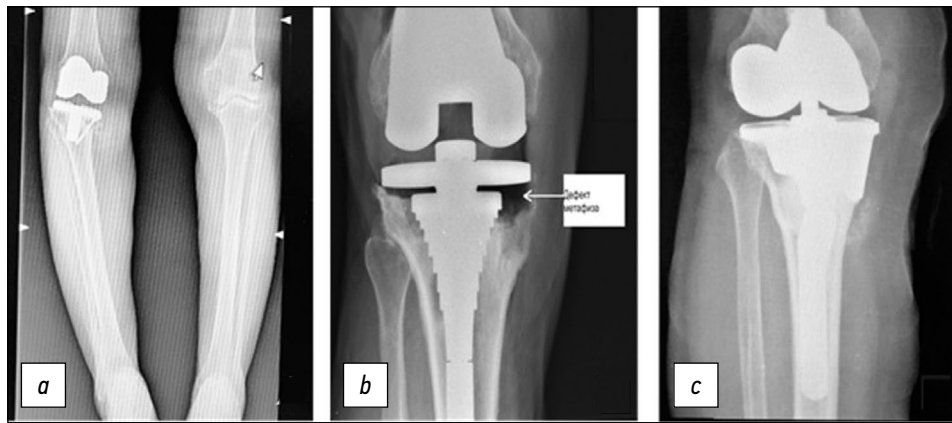


Рис. 4. Рентгенограммы больного М., 59 лет. Дефект типа F1/T2B по AORI (a). Учитывая обширный костный дефект, добиться стабильности метафизарной втулки не удалось (b). Принято решение перейти на метафизарный конус (c).

Fig. 4. X-ray images the 59 y. o. patient M with F1/T2B AORI defect (a). The metaphyseal sleeve failed due to the extensive bone defect (b). The decision about switching to a metaphyseal cone was made (c).

конуса из трабекулярного металла применяются рашпили или высокоскоростной бур для обработки кости без риска перелома.

В случае, когда необходимо выполнить дистально расширенный доступ к коленному суставу с остеотомией бугристости большеберцовой кости, предпочтительным будет использование конусов из трабекулярного металла. Это обусловлено возможностью рефиксации бугристости к конусу из трабекулярного металла с помощью винтов и проволочных трансоссальных швов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Перечисленные выше систематические обзоры и метаанализ не позволяют с уверенностью говорить о преимуществе того или иного метафизарного фиксатора, и проблема тактики выбора метафизарного фиксатора на сегодняшний день остаётся нерешённой [7, 17, 18]. Стоит заметить, что втулки и конусы имеют отличия в особенностях хирургической техники, а чётких разграничений в показаниях к использованию втулок и конусов до настоящего времени не представлено, однако разработанный нами алгоритм существенно облегчает выбор типа метафизарного фиксатора при ревизионном эндопротезировании коленного сустава и позволяет чётко разграничить показания к использованию втулок и конусов для исключения интраоперационных осложнений, создавая для врача стандарт для принятия решений.

В настоящее время разработано несколько стратегий фиксации имплантатов для рЕТЭКС при наличии костных дефектов, но большинство методов лечения имеют определённые осложнения и неудовлетворительные клинические результаты, что подтверждает актуальность необходимости дальнейшего изучения и анализа отдалённых результатов применения данных конструкций [22]. Должны быть разработаны новые подходы для улучшения функциональной

способности, показателей приживаемости имплантов и качества жизни экономически эффективным способом. Диагностика костных дефектов и правильный выбор методов лечения необходимы для повышения выживаемости и стабильности конструкции. Необходимо внедрение новых алгоритмов выбора того или иного метода фиксации, учитывающих не только размер дефектов кости, но и возраст пациента, уровень его активности, предикторы несостоятельности эндопротеза, степени выравнивания оси сустава, а также состояние связочного аппарата и остаточной костной массы, интраоперационную оценку первичной фиксации. Предложенный нами алгоритм является следующим шагом к улучшению результатов лечения пациентов при рЕТЭКС с любым типом костного дефекта по AORI [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный новый алгоритм выбора типа метафизарного фиксатора, учитывающий расположение и размер костного дефекта, состояние остаточной костной массы, широту анатомической дозволенности выполнения оперативных приёмов и соответствующего им инструментария, а также оценку первичной фиксации втулки, позволяет осуществить правильный подбор замещающего импланта для обеспечения стабильной ротационной и аксиальной фиксации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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).

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.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках разработки темы НИР НИИТОН СГМУ «Оптимизация ревизионного эндопротезирования коленного сустава», № государственной регистрации НИОКР АААА-А18-118050890023-7.

Funding source. This study is a part of the SSMU Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery research project Optimization of revision knee arthroplasty, state registration N АААА-А18-118050890023-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belt M., Hannink G., Smolders J., et al. Reasons for revision are associated with rerevised total knee arthroplasties: an analysis of 8,978 index revisions in the Dutch Arthroplasty Register // *Acta Orthop*. 2021. Vol. 92, N 5. P. 597–601. doi: 10.1080/17453674.2021.1925036
2. Kurtz S.M., Ong K.L., Lau E., Bozic K.J. Impact of the economic downturn on total joint replacement demand in the United States: updated projections to 2021 // *J Bone Joint Surg Am*. 2014. Vol. 96, N 8. P. 624–630. doi: 10.2106/JBJS.M.00285
3. Kurtz S., Ong K., Lau E., et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030 // *J Bone Joint Surg Am*. 2007. Vol. 89, N 4. P. 780–785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222
4. Khan M., Osman K., Green G., Haddad F.S. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision // *Bone Joint J*. 2016. Vol. 98-B, N 1, Suppl A. P. 105–112. doi: 10.1302/0301-620X.98B1.36293
5. Yapp L.Z., Walmsley P.J., Moran M., et al. The effect of hospital case volume on re-revision following revision total knee arthroplasty // *Bone Joint J*. 2021. Vol. 103-B, N 4. P. 602–609. doi: 10.1302/0301-620X.103B4.BJJ-2020-1901.R1
6. Rodríguez-Merchán E.C., Gómez-Cardero P., Encinas-Ullán C.A. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty: therapeutic options and results // *EFORT Open Rev*. 2021. Vol. 6, N 11. P. 1073–1086. doi: 10.1302/2058-5241.6.210007
7. Bytтеbier P., Dhont T., Pintelon S., et al. Comparison of Different Strategies in Revision Arthroplasty of the Knee with Severe Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes // *J Arthroplasty*. 2022. Vol. 37, N 6S. P. S371.e4–S381.e4. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.103
8. Morgan-Jones R., Oussedik S.I., Graichen H., Haddad F.S. Zonal fixation in revision total knee arthroplasty // *Bone Joint J*. 2015. Vol. 97-B, N 2. P. 147–149. doi: 10.1302/0301-620X.97B2.34144
9. Engh G.A., Ammeen D.J. Bone loss with revision total knee arthroplasty: defect classification and alternatives for reconstruction // *Instr Course Lect*. 1999. N 48. P. 167–175.
10. Lei P.F., Hu R.Y., Hu Y.H. Bone Defects in Revision Total Knee Arthroplasty and Management // *Orthop Surg*. 2019. Vol. 11, N 1. P. 15–24. doi: 10.1111/os.12425
11. Куляба Т.А., Корнилов Н.Н., Селин А.В., и др. Способы компенсации костных дефектов при ревизионном эндопротезировании коленного сустава // *Травматология и ортопедия России*. 2011. Т. 17, № 3. С. 5–12. doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-3-5-12
12. Bourne R.B., Crawford H.A. Principles of revision total knee arthroplasty // *Orthop Clin North Am*. 1998. Vol. 29, N 2. P. 331–337. doi: 10.1016/s0030-5898(05)70331-x
13. Bauman R.D., Lewallen D.G., Hanssen A.D. Limitations of structural allograft in revision total knee Arthroplasty // *Clin Orthop Relat Res*. 2009. Vol. 467, N 3. P. 818–824. doi: 10.1007/s11999-008-0679-4
14. Lotke P.A., Carolan G.F., Puri N. Impaction grafting for bone defects in revision total knee arthroplasty // *Clin Orthop Relat Res*. 2006. N 446. P. 99–103. doi: 10.1097/01.blo.0000214414.06464.00
15. Patel J.V., Masonis J.L., Guerin J., et al. The fate of augments to treat type-2 bone defects in revision knee arthroplasty // *J Bone Joint Surg Br*. 2004. Vol. 86, N 2. P. 195–199. doi: 10.1302/0301-620X.86b2.13564
16. Бовкис Г.Ю., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н. Компенсация дефектов метаэпифизов бедренной и большеберцовой костей при ревизионном эндопротезировании коленного сустава — способы и результаты их применения (обзор литературы) // *Травматология и ортопедия России*. 2016. Т. 22, № 2. С. 101–113. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-101-113
17. Bohl D.D., Brown N.M., McDowell M.A., et al. Do porous tantalum metaphyseal cones improve outcomes in revision total knee arthroplasty? // *J Arthroplasty*. 2018. Vol. 33, N 1. P. 171–177. doi: 10.1016/j.arth.2017.07.033
18. Huang R., Barraqueta G., Ong A., et al. Revision total knee arthroplasty using metaphyseal sleeves at short-term follow-up // *Orthopedics*. 2014. Vol. 37, N 9. P. e804–e809. doi: 10.3928/01477447-20140825-57
19. Bloch B.V., Shannak O.A., Palan J., et al. Metaphyseal sleeves in revision total knee arthroplasty provide reliable fixation and excellent medium to long-term implant survivorship // *J Arthroplasty*. 2020. Vol. 35, N 2. P. 495–499. doi: 10.1016/j.arth.2019.09.027
20. Beckmann N.A., Mueller S., Gondan M., et al. Treatment of severe bone defects during revision total knee arthroplasty with structural allografts and porous metal cones — a systematic review // *J Arthroplasty*. 2015. Vol. 30, N 2. P. 249–253. doi: 10.1016/j.arth.2014.09.016
21. Alexander G.E., Bernasek T.L., Crank R.L., Haidukewych G.J. Cementless metaphyseal sleeves used for large tibial defects in revision total knee arthroplasty // *J Arthroplasty*. 2013. Vol. 28, N 4. P. 604–607. doi: 10.1016/j.arth.2012.08.00
22. Agarwal S., Neogi D.S., Morgan-Jones R. Metaphyseal sleeves in revision total knee arthroplasty: Minimum seven-year follow-up study // *Knee*. 2018. Vol. 25, N 6. P. 1299–1307. doi: 10.1016/j.knee.2018.09.010
23. Патент РФ на изобретение № 2777929/11.08.2022. Бюл. № 23. Гиркало М.В. Способ подбора метафизарного фиксатора для замещения обширных дефектов большеберцовой кости при ревизионном эндопротезировании коленного сустава. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/277/2777929.html>. Дата обращения: 02.05.2023.

24. Floría-Arnal L.J., Gómez-Blasco A., Roche-Albero A., et al. Tibial tray cementation is not necessary for knee revision with titanium metaphyseal sleeves: a mid-term

prospective study in AORI 2B defects // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021. Vol. 29, N 10. P. 3310–3315. doi: 10.1007/s00167-020-06185-0

REFERENCES

- Belt M, Hannink G, Smolders J, et al. Reasons for revision are associated with rerevised total knee arthroplasties: an analysis of 8,978 index revisions in the Dutch Arthroplasty Register. *Acta Orthop.* 2021;92(5):597–601. doi: 10.1080/17453674.2021.1925036
- Kurtz SM, Ong KL, Lau E, Bozic KJ. Impact of the economic downturn on total joint replacement demand in the United States: updated projections to 2021. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(8):624–630. doi: 10.2106/JBJS.M.00285
- Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780–785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222
- Khan M, Osman K, Green G, Haddad FS. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision. *Bone Joint J.* 2016;98-B(1 Suppl A):105–112. doi: 10.1302/0301-620X.98B1.36293
- Yapp LZ, Walmsley PJ, Moran M, et al. The effect of hospital case volume on re-revision following revision total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2021;103-B(4):602–609. doi: 10.1302/0301-620X.103B4.BJJ-2020-1901.R1
- Rodríguez-Merchán EC, Gómez-Cardero P, Encinas-Ullán CA. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty: therapeutic options and results. *EFORT Open Rev.* 2021;6(11):1073–1086. doi: 10.1302/2058-5241.6.210007
- Byttebier P, Dhont T, Pintelon S, et al. Comparison of Different Strategies in Revision Arthroplasty of the Knee with Severe Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes. *J Arthroplasty.* 2022;37(6S):S371.e4–S381.e4. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.103
- Morgan-Jones R, Oussedik SI, Graichen H, Haddad FS. Zonal fixation in revision total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2015;97-B(2):147–149. doi: 10.1302/0301-620X.97B2.34144
- Engh GA, Ammeen DJ. Bone loss with revision total knee arthroplasty: defect classification and alternatives for reconstruction. *Instr Course Lect.* 1999;48:167–175.
- Lei PF, Hu RY, Hu YH. Bone Defects in Revision Total Knee Arthroplasty and Management. *Orthop Surg.* 2019;11(1):15–24. doi: 10.1111/os.12425
- Kulyaba TA, Kornilov NN, Selin AV, et al. The ways of bone defects compensation in revision knee arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2011;17(3):5–12. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-3-5-12
- Bourne RB, Crawford HA. Principles of revision total knee arthroplasty. *Orthop Clin North Am.* 1998;29(2):331–337. doi: 10.1016/s0030-5898(05)70331-x
- Bauman RD, Lewallen DG, Hanssen AD. Limitations of structural allograft in revision total knee Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(3):818–824. doi: 10.1007/s11999-008-0679-4
- Lotke PA, Carolan GF, Puri N. Impaction grafting for bone defects in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;446:99–103. doi: 10.1097/01.blo.0000214414.06464.00
- Patel JV, Masonis JL, Guerin J, et al. The fate of augments to treat type-2 bone defects in revision knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(2):195–199. doi: 10.1302/0301-620x.86b2.13564
- Bovkis GY, Kulyaba TA, Kornilov NN. Management of femur and tibia metaphyseal bone defects during revision knee arthroplasty — methods and outcomes (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016;(2):101–113. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-101-113
- Bohl DD, Brown NM, McDowell MA, et al. Do porous tantalum metaphyseal cones improve outcomes in revision total knee arthroplasty? *J Arthroplasty.* 2018;33(1):171–177. doi: 10.1016/j.arth.2017.07.033
- Huang R, Barraqueta G, Ong A, et al. Revision total knee arthroplasty using metaphyseal sleeves at short-term follow-up. *Orthopedics.* 2014;37(9):e804–e809. doi: 10.3928/01477447-20140825-57
- Bloch BV, Shannak OA, Palan J, et al. Metaphyseal sleeves in revision total knee arthroplasty provide reliable fixation and excellent medium to long-term implant survivorship. *J Arthroplasty.* 2020;35(2):495–499. doi: 10.1016/j.arth.2019.09.027
- Beckmann NA, Mueller S, Gondan M, et al. Treatment of severe bone defects during revision total knee arthroplasty with structural allografts and porous metal cones — a systematic review. *J Arthroplasty.* 2015;30(2):249–253. doi: 10.1016/j.arth.2014.09.016
- Alexander GE, Bernasek TL, Crank RL, Haidukewych GJ. Cementless metaphyseal sleeves used for large tibial defects in revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2013;28(4):604–607. doi: 10.1016/j.arth.2012.08.00
- Agarwal S, Neogi DS, Morgan-Jones R. Metaphyseal sleeves in revision total knee arthroplasty: Minimum seven-year follow-up study. *Knee.* 2018;25(6):1299–1307. doi: 10.1016/j.knee.2018.09.010
- Patent Rus № 2777929/11.08.2022. Byul. № 23. Girkalo MV. *Sposob podbora metafizarnogo fiksatora dlya zameshcheniya obshirnykh defektov bol'shebertsovoi kosti pri revizionnom endoprotezirovanii kolennogo sustava.* Available from: <https://findpatent.ru/patent/277/2777929.html>. Accessed: 02.05.2023. (In Russ).
- Floría-Arnal LJ, Gómez-Blasco A, Roche-Albero A, et al. Tibial tray cementation is not necessary for knee revision with titanium metaphyseal sleeves: a mid-term prospective study in AORI 2B defects. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(10):3310–3315. doi: 10.1007/s00167-020-06185-0

ОБ АВТОРАХ

*** Гиркало Михаил Владимирович**, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, д. 148;
ORCID: 0000-0001-5847-1153;
eLibrary SPIN: 6151-4375;
e-mail: girkalo@mail.ru

Козадаев Максим Николаевич, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0001-6235-7193;
eLibrary SPIN: 3754-7751;
e-mail: m_kozadaev_ortoped@mail.ru

Щаницын Иван Николаевич, к.м.н.,
старший научный сотрудник;
ORCID: 0000-0003-0565-5172;
eLibrary SPIN: 3653-9302;
e-mail: dr.green@list.ru

Деревянов Александр Владимирович,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0009-0005-0166-8576;
eLibrary SPIN: 8003-7321;
e-mail: xandor64@gmail.com

Островский Владимир Владимирович, д.м.н.,
врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0002-8602-2715;
eLibrary SPIN: 7078-8019;
e-mail: sarniito@yandex.ru

AUTHORS INFO

*** Mikhail V. Girkalo**, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
address: 148 Chernyshevskogo Str., 410002, Saratov, Russia;
ORCID: 0000-0001-5847-1153;
eLibrary SPIN: 6151-4375;
e-mail: girkalo@mail.ru

Maksim N. Kozadaev, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0000-0001-6235-7193;
eLibrary SPIN: 3754-7751;
e-mail: m_kozadaev_ortoped@mail.ru

Ivan N. Shchanitsyn, MD, Cand. Sci. (Med.),
senior researcher;
ORCID: 0000-0003-0565-5172;
eLibrary SPIN: 3653-9302;
e-mail: dr.green@list.ru

Alexandr V. Derevyanov,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: 0009-0005-0166-8576;
eLibrary SPIN: 8003-7321;
e-mail: xandor64@gmail.com

Vladimir V. Ostrovskij, MD, Dr. Sci. (Med.),
neurosurgeon;
ORCID: 0000-0002-8602-2715;
eLibrary SPIN: 7078-8019;
e-mail: sarniito@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto121329>

Зубовидная кость второго шейного позвонка: аспекты эпидемиологии, этиопатогенеза, клинической картины и диагностики. Обзор литературы

А.А. Кулешов¹, А.Н. Шкарубо², В.А. Шаров¹, М.С. Ветрилэ¹, И.Н. Лисянский¹, С.Н. Макаров¹

¹ НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;

² НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Представлен обзор литературы, посвящённый изучению такого порока краниовертебральной области, как зубовидная кость С_{II}-позвонка. Это редкая аномалия, которая зачастую приводит к атлантоаксиальной нестабильности и, как следствие, широкому спектру клинических проявлений. Обзор носит аналитический характер и проведён с использованием баз данных медицинской литературы и поисковых ресурсов PubMed (MEDLINE), Google Scholar и eLibrary. В обзоре затронуты следующие аспекты: определение понятия «зубовидная кость» и её эпидемиологии, в том числе в структуре патологий краниовертебральной области. Описаны особенности эмбрионального развития краниовертебральной области, которые являются важными с точки зрения представления о теориях возникновения зубовидной кости. Представлены анатомические варианты зубовидной кости. Описаны широкий спектр клинических признаков данного патологического состояния и подходы к его диагностике.

Ключевые слова: зубовидная кость; зубовидный отросток; краниовертебральная область; атлантоаксиальная нестабильность.

Как цитировать:

Кулешов А.А., Шкарубо А.Н., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н. Зубовидная кость второго шейного позвонка: аспекты эпидемиологии, этиопатогенеза, клинической картины и диагностики. Обзор литературы // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 97–109. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto121329>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto121329>

Os odontoideum of C₂ vertebra: Aspects of epidemiology, etiopathogenesis, clinical manifestations, and diagnosis. Literature review

Alexander A. Kuleshov¹, Alexey N. Shkarubo², 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 Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

We present a literature review devoted to the study of a craniovertebral malformation such as the «os odontoideum of C₂ vertebra». This is a rare anomaly that often results in atlantoaxial instability and, as a consequence, a wide range of clinical manifestations. The review is analytic and was conducted using medical literature databases and search resources, namely, PubMed (MEDLINE), Google Scholar, and eLibrary. The review focused on the definition of os odontoideum and its epidemiology, including the structure of craniovertebral junction pathologies. Features of the embryonic development of the craniovertebral junction, which are important in terms of the notion of the theories of the origin of os odontoideum, are described. The anatomical variants of the os odontoideum are presented, and a wide range of clinical manifestations of this pathological condition and approaches to its diagnosis are described.

Keywords: os odontoideum; odontoid process; craniovertebral junction; atlantoaxial instability.

To cite this article:

Kuleshov AA, Shkarubo AN, Sharov VA, Vetrile MS, Lisyansky IN, Makarov SN. Os odontoideum of C₂ vertebra: Aspects of epidemiology, etiopathogenesis, clinical manifestations, and diagnosis. Literature review. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):97–109.

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto121329>

Received: 09.01.2023

Accepted: 21.03.2023

Published: 17.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

Аномалии развития шейного отдела позвоночника, особенно сопровождающиеся стенозом позвоночного канала, являются важной проблемой для зарубежных и отечественных исследователей как с точки зрения диагностики, так и с точки зрения подходов к хирургическому лечению.

Особое место среди этой группы нозологий занимают различные варианты дизонтогенетических состояний шейного отдела позвоночника, затрагивающие область краниовертебрального перехода, и, в частности, патологии зуба второго шейного позвонка (C_{II}).

На наш взгляд, самая «грозная» с точки зрения тяжести потенциальных клинических проявлений патология зуба C_{II} -позвонка — это зубовидная кость.

В связи с высокой актуальностью проблемы, отражённой в постоянном увеличении числа научных публикаций, посвящённых зубовидной кости C_{II} -позвонка, мы представляем данный обзор литературы.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

Поиск и отбор источников проведён с использованием баз данных медицинской литературы и поисковых ресурсов PubMed (MEDLINE), Google Scholar и eLibrary по следующим ключевым словам: «os odontoideum», «atlantoaxial instability», «зубовидная кость», «атлантаксиальная нестабильность». Первая часть обзора посвящена определению понятия «зубовидная кость», представлению данных об эпидемиологии этой аномалии и её связях с врождёнными генетическими синдромами. Описаны этапы эмбрионального развития краниовертебральной области, теории возникновения зубовидной кости с характеристикой её анатомических вариантов. Представлены широкий спектр клинических признаков и современные подходы к диагностике зубовидной кости.

ОБСУЖДЕНИЕ

Определение и эпидемиология

Согласно классификации, предложенной A.D. Greenberg в 1968 году, выделяют 5 типов дизгенезий зуба 2-го шейного позвонка: тип I — зубовидная кость (отсутствие слияния между зубом и телом C_{II}), тип II — терминальная косточка (отсутствие слияния с проатласом), тип III — аплазия основания зуба, тип IV — гипоплазия зуба (отсутствие проатласа), тип V — аплазия зуба [1, 2].

Зубовидная кость является редким пороком краниовертебральной области, этиопатогенез которого до сих пор широко обсуждается в литературе. Некоторые авторы утверждают, что зубовидная кость относится к врождённым аномалиям развития краниовертебральной области, однако на данный момент большинство исследователей придерживаются позиции, что это результат отдалённой

травмы, приводящей к хроническому несращению перелома зубовидного отростка [3–6].

Пациенты с этой аномалией могут не иметь клинических признаков, либо у них может возникнуть ряд локальных, неврологических и внутричерепных симптомов [3, 4, 7, 8].

Рентгенологически зубовидная кость может быть стабильной и нестабильной, однако, независимо от наличия рентгенологических признаков нестабильности, большинство авторов считают этот порок первично нестабильным аналогично перелому зубовидного отростка типа II [4, 9, 10].

Зубовидную кость впервые описал С. Giacomini в 1886 году в своей работе «Sull' esistenza dell' 'os odontoideum' nell' uomo. Gior Accad Med Torino 49» как редкую патологию, которая в большинстве случаев сопровождается атлантаксиальной нестабильностью, что, в свою очередь, может привести к атлантаксиальной дислокации [4, 6]. В настоящее время термином «зубовидная кость» обозначают гипоплазию зубовидного отростка C_{II} , ассоциированную с наличием расположенной выше верхних фасеточных суставов C_{II} -косточки, окружённой гладкими кортикальными границами, отдельно от зубовидного отростка (рис. 1) [5].

Частота встречаемости этого порока в общей популяции на данный момент в литературе не описана [11], однако большинством авторов, изучающих данную проблему, отмечена связь между наличием зубовидной кости и врождёнными генетическими синдромами, такими как синдром Дауна, синдром Моркио и другие мукополисахаридозы, спондилоэпиметафизарная дисплазия и т.д. [5, 12–16].

Имеются данные о распространённости зубовидной кости среди пациентов с синдромом Дауна: H.G. French и соавт. в 1987 году провели скрининг 185 пациентов синдромом Дауна и обнаружили, что зубовидная кость встречается в 6 (3%) случаях [6, 17]. D.A. Taggard и соавт. в 2000 году обнаружили, что в 15% случаев у пациентов с синдромом Дауна с симптомами патологии области краниовертебрального перехода имелась зубовидная кость [6, 18]. T. Gros и соавт. в 2000 году отметили наличие зубовидной кости в 1,3% случаев в группе из 236 пациентов с синдромом Дауна [6, 19].

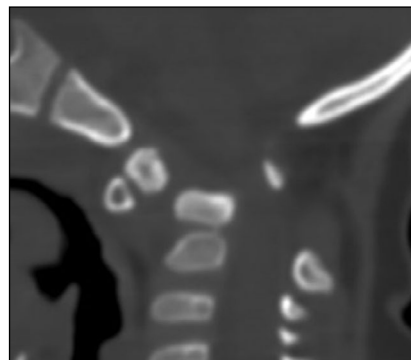


Рис. 1. Компьютерная томограмма шейного отдела позвоночника пациента с зубовидной костью.

Fig. 1. CT of CVJ of a patient with os odontoideum.

Эмбриологическое развитие краниовертебральной области

Для более полного понимания теорий патогенеза зубовидной кости, её анатомических вариантов и возможных путей лечения необходимо иметь представление об особенностях эмбрионального развития C_{II} -позвонок. Осевого позвонка имеет уникальный паттерн развития. Ключевой компонент в развитии окончательной формы осевого позвонка представляет собой последовательное слияние различных склеротомов. Центр 4-го затылочного склеротома (проатлас) образует апикальную часть зуба вместе с апикальной связкой [7]. Крестообразная связка и крыловидные связки представляют собой уплотнения боковой части проатласа. Остальная часть зубовидного отростка образована первым склеротомом позвоночника (C_1), который сливается с проатласом для формирования зубовидного отростка. Второй склеротом позвоночника (C_{II}) участвует в образовании каудальной части тела C_{II} -позвонка и дуги (рис. 2) [3, 7, 20].

В момент рождения зубовидный отросток отделён хрящевой прослойкой от тела осевого позвонка. Этот хрящ представляет собой рудиментарный диск и в дальнейшем упоминается как нейроцентральный синхондроз [3, 21–23]. Этот синхондроз присутствует между первым и вторым склеротомом позвоночника и рентгенологически виден у большинства детей младше 3–4 лет, но к 8 годам исчезает [3, 24].

Зубовидный отросток C_{II} в комплексе с поперечной связкой атланта, крыловидными связками и передней дужкой позвонка C_1 является наиболее важным компонентом, обеспечивающим стабильность в атлантаксиальном комплексе [25].

Этиопатогенез зубовидной кости

Согласно данным литературы, до сих пор ведутся серьёзные споры относительно этиологии зубовидной кости. Две основные теории базируются на **врождённых** (эмбриологических) и **приобретённых** (травматических) причинах [3–6].

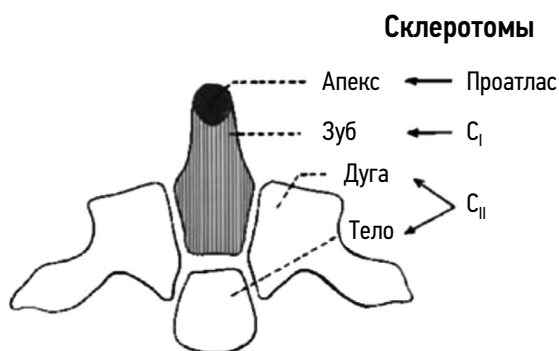


Рис. 2. Склеротомы, участвующие в формировании атлантаксиального комплекса [20].

Fig. 2. Sclerotomes involved in the formation of the atlantoaxial complex [20].

Теория врождённого генеза зубовидной кости предполагает, что эта аномалия является результатом неудачного сращения зуба с телом осевого позвонка [1, 3, 26–30]. Отмечено, что часто аномалии зубовидного отростка встречаются у пациентов с врождёнными синдромами, такими как трисомия 21, мальформация Клиппеля–Фейля и различные костные дисплазии [3, 31, 32].

Предложено 2 преобладающих механизма происхождения врождённой зубовидной кости.

- *Первый механизм*: нормальный вторичный центр окостенения зубовидного отростка не может слиться с основным центром окостенения.
- *Второй механизм*: основной центр окостенения зубовидного отростка не может срастись с телом осевого позвонка.

К нарушению слияния между центрами окостенения, в свою очередь, могут привести невозможность миграции, сбой сегментации или нетравматический остеонекроз [31].

Сторонники теории врождённого генеза зубовидной кости приводят следующие аргументы.

- Образование зубовидной кости может быть вызвано незавершённой оссификацией сквозь рудиментарный межпозвоночный диск (нейроцентральный синхондроз), разделяющий зубовидный отросток и тело C_{II} [3, 6, 33].
- В литературе имеются данные о семейных зарегистрированных случаях наличия зубовидной кости [6, 34, 35]. К.А. Kirlaw и соавт. в 1993 году описали случай обнаружения зубовидной кости у 2 однояйцевых близнецов женского пола [34]. Однако в то же время J.M. Verska и P.A. Anderson в 1997 году представили кейс-репорт об обнаружении зубовидной кости лишь у 1 из 2 однояйцевых близнецов [36], что некоторым образом может противоречить теории врождённого генеза зубовидной кости.
- У ряда пациентов с зубовидной костью может наблюдаться недостаток aberrаций генов *BMP4*, *BMP2* и *PTX1*, ответственных за правильное развитие костной, хрящевой и соединительной ткани [2, 3, 6].

Несмотря на убедительность аргументов «врождённой» теории, в последнее время предпочтение отдадут теории приобретённого (травматического) генеза зубовидной кости [3, 6, 37, 38]. Сторонники теории травматического генеза предполагают, что причиной образования зубовидной кости служит нераспознанный перелом зубовидного отростка типа II с последующим аваскулярным некрозом и костным ремоделированием [3, 39].

Отечественные авторы М.Ф. Дуров и О.М. Юханова в своей работе «О причине и механизме возникновения зубовидной кости» (1986) считают, что зубовидная кость является ни чем иным, как ложным суставом зуба с застарелым трансдентальным подвывихом атланта, ранее не диагностированным [40].

Травматическая теория может подтверждаться тем фактом, что травма в анамнезе наблюдается у значительного числа пациентов [41]. Также замечено, что может иметь место значительный временной интервал между травмой и постановкой диагноза [3].

К.М. David и А. Crookard в своей работе «Early development of the craniovertebral junction and cervical spine» в 2000 году предположили, что механизмом, лежащим в основе врождённого развития зубовидной кости, может оказаться перелом хряща зубовидного отростка ещё в утробе матери. Кроме того, нераспознанной обыкновенной травмы или повторных микротравм может быть достаточно, чтобы в конечном итоге вызвать стресс-перелом [42].

Подтверждению травматической теории генеза зубовидной кости способствует ряд анатомических особенностей C_{II} -позвонок, перечисленных ниже.

- Относительный дефицит кровоснабжения в области основания зубовидного отростка при травматизации способствует нарушению структуры нейростенного синхондроза, что, в свою очередь, может привести к образованию зубовидной кости [6, 37].
- Нейростенный синхондроз располагается ниже верхних фасеточных суставов C_{II} и не является анатомическим основанием зубовидного отростка [4, 6].
- Основание зубовидного отростка — это область, характеризующаяся сниженной на 55% костной массой по сравнению с телом зубовидного отростка. Кроме того, толщина кортикальной пластинки у основания зубовидного отростка составляет лишь 35% её толщины в остальной части тела зубовидного отростка [4, 6].

Кроме того, низкая минеральная плотность кости, слабость связочного аппарата (в частности, поперечной связки атланта) и гипермобильность суставов, описанные у пациентов с синдромом Дауна, куда чаще, чем в популяции в целом, могут способствовать травматическому генезу зубовидной кости [6, 43–45].

Анатомические варианты зубовидной кости

J.W. Fielding и соавт. в 1980 году описали 2 анатомических типа (варианта) зубовидной кости: орто- и дистопический (рис. 3) [41].

При ортотопическом варианте зубовидная кость находится в нормальной анатомической позиции относительно зубовидного отростка и движется вместе с передней дугой C_1 . Дистопический вариант характеризуется тем, что зубовидная кость, расположенная у основания затылочной кости, прилегает к большому затылочному отверстию в области Блюменбахова ската. В этом случае зубовидная кость может быть функционально связана с базиллярной частью затылочной кости и, как следствие, менять свое положение относительно передней дуги C_1 [31, 46].

C.I. Shaffrey и соавт. отмечают, что наличие дистопического варианта зубовидной кости является фактором высокого риска развития миелопатии [47]. Это предположение подтверждается и более поздними исследованиями, такими, как работа I.J. Helenius и соавт. «Os Odontoideum in Children: Treatment Outcomes and Neurological Risk Factors», опубликованная в 2019 году. В ней описан анализ 102 случаев пациентов с зубовидной костью, из которых оперативному лечению подвергся 71 пациент, а 31 лечились консервативно. Авторы отмечают, что ортотопический вариант зубовидной кости встречался в 59, дистопический — в 43 случаях. Однако дистопический вариант чаще приводил к выраженным неврологическим нарушениям и, как следствие, требовал оперативного лечения (в 38 случаях) [46].

О.М. Павлова, С.О. Рябых и соавт. в 2018 году провели анализ 26 историй болезни пациентов с врождённой патологией краниовертебральной области и выяснили, что из несиндромальных пациентов у 3 из 6 (50%) имелась зубовидная кость, дистопический вариант. У пациентов с пороками краниовертебральной области на фоне генетических синдромов — у 7 человек из 9 (77,8%) — имелась зубовидная кость с преобладанием ортотопического варианта (6 человек). Зубовидная кость дистопического варианта в сочетании с синдромом Клиппеля–Фейля обнаружена у 1 пациента из 11 (9,1%) [48].



Рис. 3. Анатомические варианты зубовидной кости: орто- и дистопический [31].

Fig. 3. Anatomical variants of the os odontoideum: orthotopic and dystopic [31].

Клинические признаки

А.А. Луцки и соавт. считают, что атлантоаксиальная дислокация или вывих C_1 -позвонка являются одним из самых опасных вариантов течения аномалий развития краниовертебрального перехода, зачастую проявляющихся прогрессирующей кривошеей, хронической болью в шее, миело- и медуллопатией [49]. В свою очередь, зубовидная кость, синдром Дауна и другие соединительнотканые дисплазии — одни из основных причин развития атлантоаксиальной дислокации у детей [48].

L.P. Rowland и соавт. разделили клинические признаки зубовидной кости на 4 группы:

- 1-я группа — локальные проявления (головная боль, боль в шее) без симптомов миелопатии;
- 2-я группа — посттравматическая транзиторная миелопатия;
- 3-я группа — стойкая миелопатия;
- 4-я группа — внутричерепные проявления [7, 8].

Асимптоматическое течение: в случае бессимптомного течения большинство пациентов не отмечают неврологических нарушений, и зубовидную кость обнаруживают случайно вместе с выявленной атлантоаксиальной нестабильностью [3].

Боль в краниовертебральной области: боль — частый симптом у пациентов с данной патологией. В таких случаях единственным симптомом может оказаться затылочно-цервикальная боль. Связь между этим симптомом и наличием зубовидной кости не всегда легко установить, особенно когда нет явной рентгенологически обнаруженной нестабильности C_1 - C_2 , и в целом из-за широкого распространения шейного болевого синдрома среди населения [3].

Миелопатия: существует широкий спектр проявлений неврологического дефицита у пациентов с зубовидной костью. Это может быть связано со степенью компрессии спинного мозга, характерной морфологией большого затылочного отверстия, размером верхнего цервикального канала, а также характером травмы. Синдром миелопатии охватывает случаи острой компрессии спинного мозга, повторяющихся микротравм, хронической статической компрессии и хронического прогрессирующего повреждения невральных структур в области краниовертебрального перехода. Всё это может вызывать множество симптомов, варьирующих от преходящей миелопатии до развития тетрапареза, пареза, синдрома центрального повреждения спинного мозга с появлением бульбарных знаков и даже наступлением смерти [3, 50].

На данный момент для оценки неврологического статуса пациентов с шейной миелопатией наиболее валидными являются модифицированная шкала Японской ортопедической ассоциации mJOA (JOA Score) и шкала Нурика (Nurick scale) [12, 46, 51].

N. Shirasaki и соавт. в 1991 году описали 27 больных с зубовидной костью, у которых имелись признаки задней нестабильности. У 6 пациентов диагностировали

шейную миелопатию. Развитие шейной миелопатии зависит от размеров позвоночного канала. Уменьшение ширины позвоночного канала <13 мм способствует компрессии спинного мозга и, как следствие, развитию явлений миелоишемии и миелопатии, причём стеноз позвоночного канала при наличии зубовидной кости может быть динамическим (изменяется при сгибании и разгибании) или статическим (имеет постоянное сужение, которое не изменяется при движении) [26, 52].

Внутричерепные проявления: немногочисленные случаи внутричерепных симптомов при зубовидной кости в настоящее время отражены в литературе, в основном они связаны с вертебробазиллярной ишемией, возникшей после развития нестабильности между C_1 - C_2 -позвонками, инфарктом мозжечка, повреждением ствола мозга, головокругением [3].

А.А. Луцки и соавт. в 2016 году, исследуя явления вертебробазиллярной недостаточности у пациентов с различными костными аномалиями краниовертебрального перехода, выяснили, что у пациентов с несостоятельностью переднего опорного комплекса краниовертебральной области, в том числе зубовидной костью, вывих атланта сопровождался компрессией продолговатого и спинного мозга, позвоночных артерий, зубовидным отростком [53]. Имеются единичные описания случаев развития синкопальных состояний на фоне наличия зубовидной кости, также связанных с явлениями вертебробазиллярной ишемии [54].

Диагностика

Рентгенография: рентгенограммы шейного отдела позвоночника с открытым ртом в прямой и боковой проекции чаще всего достаточны для постановки диагноза зубовидной кости. Добавление динамических рентгенограмм в виде сгибания и разгибания рекомендуется для исключения атлантоаксиальной нестабильности (рис. 4, 5) [3].

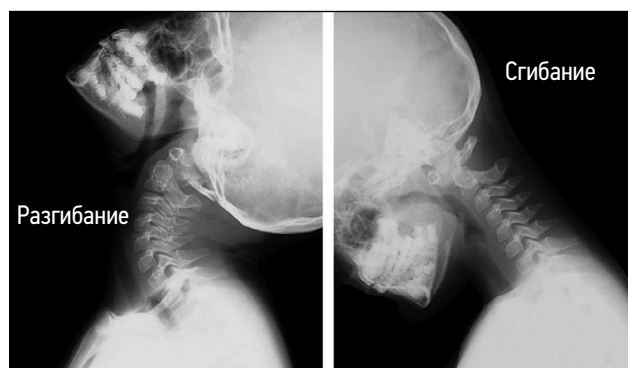


Рис. 4, 5. Функциональная рентгенография шейного отдела позвоночника у пациента с явлениями атлантоаксиальной нестабильности на фоне зубовидной кости [31].

Fig. 4, 5. Functional radiography of the CVJ in a patient with atlantoaxial instability on the background of the os odontoideum [31].

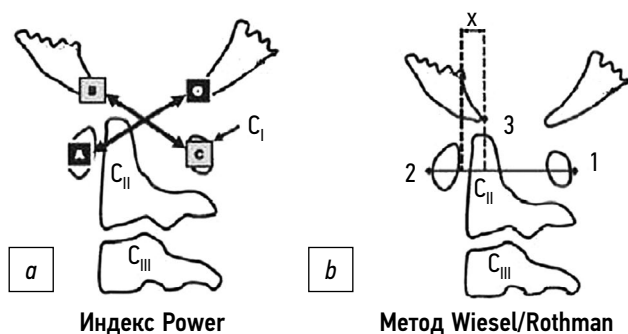


Рис. 6. Индекс Power и метод Wiesel/Rothman. *a)* Вычисление проводят по формуле BC/AO. Значение >1,0 свидетельствует о наличии атлантоокципитальной нестабильности; метод Wiese I/ Rothman. *b)* Проводят изменение величины X на функциональных рентгенограммах. Нормальное значение — <1,0 мм [61].

Fig. 6. Power index and Wiesel/Rothman method. *a)* The calculation is carried out according to the formula BC /AO. A value greater than 1.0 indicates the presence of Atlanto-occipital instability; the Wiesel/Rothman method. *b)* Carry out a change in the value of X on functional radiographs. The normal value is less than 1.0 mm [61].

Предложено несколько критериев для определения атлантоаксиальной нестабильности:

- атлантодентальный интервал (ADI) >4 мм у детей и >3 мм — у взрослых [55] при нейтральном положении головы;
- разница в ADI при сгибании и разгибании — 3,5 [56] или 3 мм (I степень — 3–6, II степень — >6 мм) [26, 57].

Однако следует помнить об индивидуальной морфологии порока и возрасте ребёнка: у детей ADI до 4 мм считается нормой, тогда как у пациентов с синдромом Дауна, для которых чаще всего характерно наличие зубовидной кости, гипермобильность (I степень) в атлантоаксиальном сочленении — нормальное для них состояние [21, 58–60].

Н.О. Хусаинов, С.В. Виссарионов, Д.Н. Кокушин в работе «Нестабильность краниовертебральной области у детей с синдромом Дауна» 2016 году чётко описали рентгенологические признаки наличия атлантоокципитальной и атлантоаксиальной нестабильности: увеличение ADI>5 мм, базиллярно-дентального расстояния — >12 мм, а также значения индекса Power >1,0 (передняя атлантоокципитальная нестабильность) либо <0,55 (задняя атлантоокципитальная нестабильность). Кроме того, для оценки атлантоокципитальной нестабильности характерно увеличение амплитуды переднезадней трансляции черепа, оцениваемой по методу Weisel и соавт. (>2 мм). Эта методика считается более точной, чем метод Power (рис. 6) [61].

О возможном наличии компрессии спинного мозга свидетельствуют: увеличение атлантодентального интервала >10 мм, уменьшение размера резервного пространства для спинного мозга (SAC) <13 мм [61].

Выполнение рентгенограмм сгибания-разгибания шейного отдела позвоночника в амбулаторных условиях у человека без боли в шее или неврологического дефицита может считаться безопасным. Однако рекомендуется соблюдать осторожность при визуализации потенциально нестабильного шейного отдела позвоночника у пациентов с болью в шее и неврологическим дефицитом [3].

N. Nakamura и соавт. в 2014 году предложили новые диагностические критерии атлантоаксиальной нестабильности: угол инклинации позвонка C_I и коэффициент SAC-C1/SAC-C4 [63(62)]. Отличительной особенностью этой методики является возможность проведения оценки в нейтральном положении (рис. 7) [62].

Кроме того, выравнивание зубовидной кости по отношению к зубовидному отростку, её отношение к скату, наличие или отсутствие редукции при сгибании / разгибании являются важными параметрами, которые напрямую влияют на тактику оперативного лечения [3].

КТ: компьютерная томография краниовертебрального перехода может использоваться для исключения других костных аномалий. Компьютерная аксиальная томография в сочетании с трёхмерной реконструкцией с ангиографией значительно увеличивает полезность и модальность

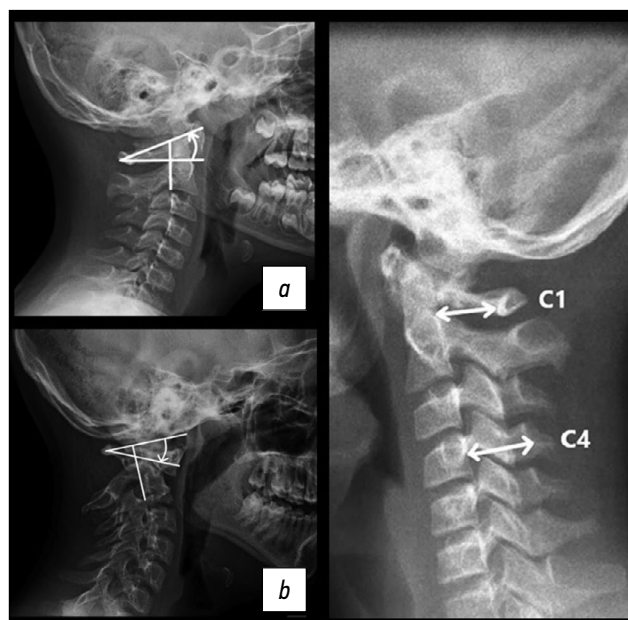


Рис. 7. Метод Nakamura. Угол инклинации C_I образован перпендикулярной линией, проведённой по отношению к касательной линии задней поверхности C_{II}, и линией, соединяющей центральные отделы передней и задней дуги C_I. *a* — положительный (норма), >10 °, *b* — отрицательный (локальное кифозирование). Коэффициент SAC-C1/SAC-C4: значение <0,9 свидетельствует о компрессии спинного мозга [62].

Fig. 7. Nakamura method. The incline angle C_I is formed by a perpendicular line drawn with respect to the tangent line of the posterior surface C_{II}, and a line connecting the central sections of the anterior and posterior arcs C_I; *a* — positive (norm) more than 10 °; *b* — negative (local kyphosis). The SAC-C1/SAC-C4 coefficient; a value less than 0.9 indicates compression of the spinal cord [62].

этого метода исследования. В частности, расположение позвоночных артерий, проходящих в аномальном шейном отделе позвоночника, служит ценнейшей информацией для предоперационного планирования [3, 63].

K.S. White и соавт. в 1993 году провели исследование, в котором по сравнению данных КТ сделали заключение о том, что размер пространства для спинного мозга у пациентов с синдромом Дауна меньше, чем в целом в популяции (505 и 602 мм² соответственно) [64]. Именно потому даже минимальная сублюксация может приводить к развитию симптомов компрессии невралгических структур [61].

КТ-ангио-, миелография могут быть полезны с точки зрения предоперационного планирования как основа для создания 3D-биомodelей и кастомизированных металлоимплантатов, которые всё чаще внедряют в практику лечения пациентов с зубовидной костью [14, 63, 65].

МРТ: метод выбора для оценки компрессии спинного мозга. При наличии вышеперечисленных признаков атлантоокипитальной и атлантоаксиальной нестабильности показано назначение МРТ для определения истинной величины стеноза и состояния спинного мозга [61, 63].

РЕЗЮМЕ

Вопрос этиопатогенеза зубовидной кости до сих пор остаётся дискуссионным. Некоторые авторы считают его врождённой патологией краниовертебральной области, возникающей из-за нарушения слияния ядер окостенения [1, 3, 26–30]. Также в пользу этой теории выступает факт связи наличия зубовидной кости с врождёнными генетическими синдромами, такими как трисомия 21 (синдром Дауна), мальформация Клиппеля–Фейля, мукополисахаридоз и др. [3, 39]. Несмотря на это, по данным литературы, большинство исследователей придерживаются позиции приобретённого генеза зубовидной кости как результата отдалённой травмы С_{II}-позвонка с развитием хронического несращения и ремоделирования костной ткани в области зуба С_{II}-позвонка [3, 6, 38, 39, 66]. Однако не вызывает сомнения факт, что происхождение зубовидной кости не влияет на тактику лечения [11].

Этот редкий порок краниовертебральной области у отдельных пациентов может не иметь клинической симптоматики и обнаруживаться в качестве случайной находки при рентгенологическом обследовании шейного отдела позвоночника, у других же пациентов может присутствовать целый спектр неврологических, локальных, внутричерепных проявлений [7].

Исходя из описания клинических симптомов у пациентов с зубовидной костью разных типов (орто- и дистопического), можно сделать вывод, что дистопический вариант чаще приводит к развитию тех или иных клинических признаков [46, 47].

Обычно стандартных методов лучевой диагностики оказывается достаточно для постановки диагноза.

С помощью рентгенографии шейного отдела позвоночника в боковой проекции с добавлением функциональных рентгенограмм в положении сгибания и разгибания можно оценить наличие явлений атлантоаксиальной нестабильности и нарушений краниовертебральных соотношений у пациентов с зубовидной костью. КТ шейного отдела позвоночника позволяет более чётко оценить взаимосвязь костных структур на уровне краниовертебрального перехода, определить признаки сращения при застарелых вывихах С_I-позвонка, подобрать оптимальный вариант фиксации и исключить другие костные пороки развития. МРТ шейного отдела позвоночника позволяет в полной мере оценить степень компрессии спинного мозга и явления миелопатии [3, 61, 62]. Вместе с этим важно отметить, что добавление в рутинную практику дополнительных методов исследования, таких как КТ-ангио- и миелография, изготовление биомodelей значительно повышает точность предоперационного планирования и, как следствие, ведёт к улучшению результатов оперативного лечения [3, 13, 65].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зубовидная кость С_{II}-позвонка это редкая, но вместе с тем крайне опасная патология краниовертебральной области. Зачастую, протекая бессимптомно, она всё равно остаётся основным фактором риска формирования атлантоаксиальных дислокаций, которые, в свою очередь, могут обернуться различными клиническими проявлениями, вплоть до прямой угрозы жизни. Исходя из вышесказанного, правильная диагностика этого порока, особенно у пациентов из группы риска, например, с синдромом Дауна и другими, является обязательной. Выполнение функциональных рентгенограмм шейного отдела позвоночника в боковой проекции может дать достоверную информацию о наличии патологических смещений в области краниовертебрального перехода. У пациентов с выявленными дислокациями или наличием клинических проявлений выполнение КТ и МРТ шейного отдела позвоночника также является обязательным.

Все аспекты, касающиеся лечения пациентов с зубовидной костью, будут подробно описаны во второй части обзора литературы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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 распределен следующим образом: В.А. Шаров — сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи, А.А. Кулешов — редактирование и написание текста статьи, А.Н. Шкарубо, М.С. Ветрилл — редактирование текста статьи, И.Н. Лисянский,

С.Н. Макаров — сбор литературных источников, редактирование текста статьи.

Author's contribution. V.A. Sharov — collection and analysis of literary sources, writing the text of the article; A.A. Kuleshov — editing and writing the text of the article; A.N. Shkarubo, M.S. Vetrile — editing the text of the article; I.N. Lisyansky, S.N. Makarov — collecting literary sources, editing the text of the article. Thereby, 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.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветрилэ С.Т., Колесов С.В. Аномалии развития и дисплазии верхне-шейного отдела позвоночника (клиника, диагностика и лечение) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 1997. № 1. С. 62–67.
2. Greenberg A.D. Atlanto-axial dislocations // Brain. 1968. Vol. 91, N 4. P. 655–684. doi: 10.1093/brain/91.4.655
3. Arvin B., Fournier-Gosselin M.P., Fehlings M.G. Os odontoideum: etiology and surgical management // Neurosurgery. 2010. Vol. 66, N 3, Suppl. P. 22–31. doi: 10.1227/01.NEU.0000366113.15248.07
4. Klimo P. Jr., Kan P., Rao G., et al. Os odontoideum: presentation, diagnosis, and treatment in a series of 78 patients // J Neurosurg Spine. 2008. Vol. 9, N 4. P. 332–242. doi: 10.3171/SPI.2008.9.10.332
5. Visocchi M., Di Rocco C. Os odontoideum syndrome: pathogenesis, clinical patterns and indication for surgical strategies in childhood // Adv Tech Stand Neurosurg. 2014. N 40. P. 273–293. doi: 10.1007/978-3-319-01065-6_9
6. Sergeenko O.M., Dyachkov K.A., Ryabykh S.O., et al. Atlantoaxial dislocation due to os odontoideum in patients with Down's syndrome: literature review and case reports // Childs Nerv Syst. 2020. Vol. 36, N 1. P. 19–26. doi: 10.1007/s00381-019-04401-y
7. Klimo P. Jr., Coon V., Brockmeyer D. Incidental os odontoideum: current management strategies // Neurosurg Focus. 2011. Vol.31, N 6. P. E10. doi: 10.3171/2011.9.FOCUS11227
8. 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, N 3. P. 286–291. doi: 10.1001/archneurpsyc.1958.02340090022002
9. Губин А.В., Ульрих Э.В. Синдромальный подход к ведению детей с пороками развития шейного отдела позвоночника // Хирургия позвоночника. 2010. № 3. С. 014–019. doi: 10.14531/ss2010.3.14-19
10. Губин А.В., Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю., и др. Неотложная вертебрология: шейный отдел позвоночника у детей // Хирургия позвоночника. 2013. № 3. С. 081–091. doi: 10.14531/ss2013.3.81-91
11. Hvistendahl M.A., Høy K. Untreated os odontoideum may cause tetraplegia // Ugeskr Laeger. 2020. Vol. 182, N 8. P. V05190319.
12. Рябых С.О., Очирова П.В., Губин А.В., и др. Вертебральный синдром при различных типах мукополисахаридоза: особенности клиники и лечения // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16, № 2. С. 81–91. doi: 10.14531/ss2019.2.81-91
13. Brecknell J.E., Malham G.M. Os odontoideum: report of three cases // J Clin Neurosci. 2008. Vol. 15, N 3. P. 295–301. doi: 10.1016/j.jocn.2006.07.022
14. de Carvalho M., Swash M. Neurologic complications of craniovertebral dislocation // Handb Clin Neurol. 2014. N 119. P. 435–448. doi: 10.1016/B978-0-7020-4086-3.00028-X
15. Moon E., Lee S., Chong S., Park J.H. Atlantoaxial instability treated with free-hand C1–C2 fusion in a child with Morquio syndrome // Childs Nerv Syst. 2020. Vol. 36, N 8. P. 1785–1789. doi: 10.1007/s00381-020-04561-2
16. 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, N 11. P. 567–572.
17. French H.G., Burke S.W., Roberts J.M., et al. Upper cervical ossicles in Down syndrome // J Pediatr Orthop. 1987. Vol. 7, N 1. P. 69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014
18. Taggard D.A., Menezes A.H., Ryken T.C. Treatment of Down syndrome-associated craniovertebral junction abnormalities // J Neurosurg. 2000. Vol. 93, N 2, Suppl. P. 205–213. doi: 10.3171/spi.2000.93.2.0205
19. 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, N 12. P. 1101–1117.
20. Menezes A.H. Craniovertebral developmental anatomy and its implications // Childs Nerv Syst. 2008. Vol. 24, N 10. P. 1109–1122. doi: 10.1007/s00381-008-0600-1
21. Martich V., Ben-Ami T., Yousefzadeh D.K., Roizen N.J. Hypoplastic posterior arch of C-1 in children with Down syndrome: a double jeopardy // Radiology. 1992. Vol. 183, N 1. P. 125–128. doi: 10.1148/radiology.183.1.1532260
22. Menezes A.H. Decision making // Childs Nerv Syst. 2008. Vol. 24, N 10. P. 1147–1153. doi: 10.1007/s00381-008-0604-x
23. Zarantonello P., Spinnato P., Vommaro F., et al. Imaging Findings in an Early Symptomatic Dystopic Os Odontoideum // Can J Neurol Sci. 2021. Vol. 48, N 4. P. 565–566. doi: 10.1017/cjn.2020.223
24. Menezes A.H. Congenital and acquired abnormalities of the craniovertebral junction. In: Youmans J., editor. Neurological Surgery. 4th ed. Philadelphia, PA: WB Saunders Publishers, 1995. P. 1035–1089.
25. Кулешов А.А., Шкарубо А.Н., Еськин Н.А., и др. Варианты хирургического лечения застарелых переломов зубовидного отростка С2-позвонка // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16, № 1. С. 16–24. doi: 10.14531/ss2019.1.16-24
26. Ветрилэ С.Т., Колесов С.В. Краниовертебральная патология. Москва: Медицина, 2007.
27. Currarino G. Segmentation defect in the midodontoid process and its possible relationship to the congenital type of os odontoideum // Pediatr Radiol. 2002. Vol. 32, N 1. P. 34–40. doi: 10.1007/s00247-001-0579-1
28. Flemming C., Hodson C.J. Os odontoideum; a congenital abnormality of the axis; case report // J Bone Joint Surg Br. 1955. Vol. 37-B, N 4. P. 622–623. doi: 10.1302/0301-620X.37B4.622

29. McManners T. Odontoid hypoplasia // *Br J Radiol*. 1983. Vol. 56, N 672. P. 907–910. doi: 10.1259/0007-1285-56-672-907
30. Shapiro R., Youngberg A.S., Rothman S.L. The differential diagnosis of traumatic lesions of the occipito-atlanto-axial segment // *Radiol Clin North Am*. 1973. Vol. 11, N 3. P. 505–526.
31. Hedequist D.J., Mo A.Z. Os Odontoideum in Children // *J Am Acad Orthop Surg*. 2020. Vol. 28, N 3. P. e100–e107. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00637
32. Nader-Sepahi A., Casey A.T., Hayward R., et al. Symptomatic atlantoaxial instability in Down syndrome // *J Neurosurg*. 2005. Vol. 103, N 3, Suppl. P. 231–237. doi: 10.3171/ped.2005.103.3.0231
33. Wolff J. The law of bone remodeling. Transl. by P. Maquet. and R. Furlong. Berlin: Springer, 1986.
34. Kirlaw K.A., Hathout G.M., Reiter S.D., Gold R.H. Os odontoideum in identical twins: perspectives on etiology // *Skeletal Radiol*. 1993. Vol. 22, N 7. P. 525–527. doi: 10.1007/BF00209102
35. Morgan M.K., Onofrio B.M., Bender C.E. Familial os odontoideum. Case report // *J Neurosurg*. 1989. Vol. 70, N 4. P. 636–639. doi: 10.3171/jns.1989.70.4.0636
36. Verska J.M., Anderson P.A. Os odontoideum. A case report of one identical twin // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997. Vol. 22, N 6. P. 706–709. doi: 10.1097/00007632-199703150-00026
37. Chutkan N.B., King A.G., Harris M.B. Odontoid Fractures: Evaluation and Management // *J Am Acad Orthop Surg*. 1997. Vol. 5, N 4. P. 199–204. doi: 10.5435/00124635-199707000-00003
38. Crockard H.A., Stevens J.M. Craniovertebral junction anomalies in inherited disorders: part of the syndrome or caused by the disorder? // *Eur J Pediatr*. 1995. Vol. 154, N 7. P. 504–512. doi: 10.1007/BF02074823
39. Fielding J.W., Griffin P.P. Os odontoideum: an acquired lesion // *J Bone Joint Surg Am*. 1974. Vol. 56, N 1. P. 187–190.
40. Дуров М.Ф., Юханова О.Н. О причине и механизме возникновения зубовидной кости // *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1986. № 6. С. 40–41.
41. Fielding J.W., Hensinger R.N., Hawkins R.J. Os Odontoideum // *J Bone Joint Surg Am*. 1980. Vol. 62, N 3. P. 376–383.
42. David K.M., Crockard A. Early development of the craniovertebral junction and cervical spine. In: Crockard A., Hayward R., Hoff J.T., editors. *Neurosurgery: the Scientific Basis of Clinical Practice*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific, 2000. P. 74–86.
43. Carfi A., Liperoti R., Fusco D., et al. Bone mineral density in adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2017. Vol. 28, N 10. P. 2929–2934. doi: 10.1007/s00198-017-4133-x
44. McKelvey K.D., Fowler T.W., Akel N.S., et al. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2013. Vol. 24, N 4. P. 1333–1338. doi: 10.1007/s00198-012-2109-4
45. 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, N 11. P. 610–619. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
46. Helenius I.J., Bauer J.M., Verhofste B., et al. Os Odontoideum in Children: Treatment Outcomes and Neurological Risk Factors // *J Bone Joint Surg Am*. 2019. Vol. 101, N 19. P. 1750–1760. doi: 10.2106/JBJS.19.00314
47. Shaffrey C.I., Chenelle A.G., Abel M.F., et al. Anatomy and physiology of congenital spinal lesions. In: Benzel E.C., editor. *Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance, and Management*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Elsevier Churchill Livingstone, 2005. P. 61–68.
48. Павлова О.М., Рябых С.О., Бурцев А.В., Губин А.В. Клинико-радиологические особенности атлантоаксиальных дислокаций на фоне врожденных аномалий развития краниовертебрального перехода // *Хирургия позвоночника*. 2018. Т. 15, № 1. С. 32–41. doi: 10.14531/ss2018.1.32-41
49. Луцик А.А., Раткин И.К., Никитин М.Н. Краниовертебральные повреждения и заболевания: монография. Новосибирск: Издатель, 1998.
50. McGoldrick J.M., Marx J.A. Traumatic central cord syndrome in a patient with Os odontoideum // *Ann Emerg Med*. 1989. Vol. 18, N 12. P. 1358–1361. doi: 10.1016/s0196-0644(89)80276-8
51. Raj A., Srivastava S.K., Marathe N., et al. Dystopic Os Odontoideum Causing Cervical Myelopathy: A Rare Case Report and Review of Literature // *Asian J Neurosurg*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 236–240. doi: 10.4103/ajns.AJNS_35_19
52. Shirasaki N., Okada K., Oka S., et al. Os odontoideum with posterior atlantoaxial instability // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991. Vol. 16, N 7. P. 706–715. doi: 10.1097/00007632-199107000-00003
53. Луцик А.А., Пеганов А.И., Казанцев В.В., Раткин И.К. Вертебробазиллярная недостаточность, обусловленная костными аномалиями краниовертебрального перехода // *Хирургия позвоночника*. 2016. Т. 13, № 4. С. 49–55. doi: 10.14531/ss2016.4.49-55
54. Bunting C.S., Dower A., Seghol H., Kohan S. Os odontoideum: a rare cause of syncope // *BMJ Case Rep*. 2019. Vol. 12, N 11. P. e230945. doi: 10.1136/bcr-2019-230945
55. Locke G.R., Gardner J.I., Van Epps E.F. Atlas-dens interval (ADI) in children: a survey based on 200 normal cervical spines // *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*. 1966. Vol. 97, N 1. P. 135–140. doi: 10.2214/ajr.97.1.135
56. Fielding J.W., Cochran Gv, Lawsing J.F. 3rd, Hohl M. Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biomechanical study // *J Bone Joint Surg Am*. 1974. Vol. 56, N 8. P. 1683–1691.
57. Goel A., Shah A., Rajan S. Vertical mobile and reducible atlantoaxial dislocation. Clinical article // *J Neurosurg Spine*. 2009. Vol. 11, N 1. P. 9–14. doi: 10.3171/2009.3.SPINE08927
58. McKay S.D., Al-Omari A., Tomlinson L.A., Dormans J.P. Review of cervical spine anomalies in genetic syndromes // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012. Vol. 37, N 5. P. E269–E277. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823b3ded
59. Menezes A.H., VanGilder J.C., Graf C.J., McDonnell D.E. Craniocervical abnormalities. A comprehensive surgical approach // *J Neurosurg*. 1980. Vol. 53, N 4. P. 444–455. doi: 10.3171/jns.1980.53.4.0444
60. Pizzutillo P.D., Herman M.J. Cervical spine issues in Down syndrome // *J Pediatr Orthop*. 2005. Vol. 25, N 2. P. 253–259. doi: 10.1097/01.bpo.0000154227.77609.90
61. Хусаинов Н.О., Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н. Нестабильность краниовертебральной области у детей с синдромом Дауна // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2016. Т. 4, № 3. С. 71–77. doi: 10.17816/PTORS4371-77
62. Nakamura N., Inaba Y., Oba M., et al. Novel 2 Radiographical Measurements for Atlantoaxial Instability in Children with Down Syndrome // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014. Vol. 39, N 26. P. E1566–E1574. doi: 10.1097/brs.0000000000000625
63. Кулешов А.А., Шкарубо А.Н., Громов И.С., и др. 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

64. White K.S., Ball W.S., Prenger E.C., et al. Evaluation of the craniocervical junction in Down syndrome: correlation of measurements obtained with radiography and MR imaging // *Radiology* 1993. Vol. 186, N 2. P. 377–382. doi: 10.1148/radiology.186.2.8421738

65. D'Urso P.S., Williamson O.D., Thompson R.G. Biomechanical modeling as an aid to spinal instrumentation // *Spine* (Phila Pa 1976). 2005. Vol. 30, N 24. P. 2841–2845. doi: 10.1097/01.brs.0000190886.56895.3d

66. Dlouhy B.J., Policeni B.A., Menezes A.H. Reduction of atlantoaxial dislocation prevented by pathological position of the transverse ligament in fixed, irreducible os odontoideum: operative illustrations and radiographic correlates in 41 patients // *J Neurosurg Spine*. 2017. Vol. 27, N 1. P. 20–28. doi: 10.3171/2016.11.SPINE16733

REFERENCES

1. Vetrile ST, Kolesov SV. Anomalii razvitiya i displazii verkhne-sheinogo otdela pozvonochnika (klinika, diagnostika i lechenie). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 1997;1:62–67. (In Russ).

2. Greenberg AD. Atlanto-axial dislocations. *Brain*. 1968;91(4):655–684. doi: 10.1093/brain/91.4.655

3. 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

4. Klimo P Jr, Kan P, Rao G, et al. Os odontoideum: presentation, diagnosis, and treatment in a series of 78 patients. *J Neurosurg Spine*. 2008;9(4):332–242. doi: 10.3171/SPI.2008.9.10.332

5. Visocchi M, Di Rocco C. Os odontoideum syndrome: pathogenesis, clinical patterns and indication for surgical strategies in childhood. *Adv Tech Stand Neurosurg*. 2014;40:273–293. doi: 10.1007/978-3-319-01065-6_9

6. Sergeenko OM, Dyachkov KA, Ryabykh SO, et al. 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

7. Klimo P Jr, Coon V, Brockmeyer D. Incidental os odontoideum: current management strategies. *Neurosurg Focus*. 2011;31(6):E10. doi: 10.3171/2011.9.FOCUS11227

8. Rowland LP, Shapiro JH, Jacobson HG. Neurological syndromes associated with congenital absence of the odontoid process. *AMA Arch Neurol Psychiatry*. 1958;80(3):286–291. doi: 10.1001/archneurpsyc.1958.02340090022002

9. Gubin AV, Ulrikh EV. Syndrome approach to the treatment of in children with cervical spine abnormalities. *Spine surgery*. 2010;3:014–019. (In Russ). doi: 10.14531/ss2010.3.14-19

10. Gubin AV, Ulrikh EV, Mushkin AYU, et al. Emergency vertebralogy: cervical spine in children. *Spine surgery*. 2013;3:081–091. (In Russ). doi: 10.14531/ss2013.3.81-91

11. Hvistendahl MA, Høy K. Untreated os odontoideum may cause tetraplegia. *Ugeskr Laeger*. 2020;182(8):V05190319. (In Danish).

12. Ryabykh SO, Ochirova PV, Gubin AV, et al. The vertebral syndrome in various types of mucopolysaccharidosis: clinical features and treatment. *Spine Surgery*. 2019;16(2):81–92. (In Russ). doi: 10.14531/ss2019.2.81-91

13. Brecknell JE, Malham GM. Os odontoideum: report of three cases. *J Clin Neurosci*. 2008;15(3):295–301. doi: 10.1016/j.jocn.2006.07.022

14. de Carvalho M, Swash M. Neurologic complications of craniocervical dislocation. *Handb Clin Neurol*. 2014;119:435–448. doi: 10.1016/B978-0-7020-4086-3.00028-X

15. Moon E, Lee S, Chong S, Park JH. Atlantoaxial instability treated with free-hand C1–C2 fusion in a child with Morquio syndrome. *Childs Nerv Syst*. 2020;36(8):1785–1789. doi: 10.1007/s00381-020-04561-2

16. 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):567–572.

17. French HG, Burke SW, Roberts JM, et al. Upper cervical ossicles in Down syndrome. *J Pediatr Orthop*. 1987;7(1):69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014

18. Taggard DA, Menezes AH, Ryken TC. Treatment of Down syndrome-associated craniocervical junction abnormalities. *J Neurosurg*. 2000;93(2 Suppl):205–213. doi: 10.3171/spi.2000.93.2.0205

19. Cros T, Linares R, Castro A, Mansilla F. A radiological study of the cervical alterations in Down syndrome. New findings on computerized tomography and three dimensional reconstructions. *Rev Neurol*. 2000;30(12):1101–1117. (In Spanish).

20. Menezes AH. Craniocervical developmental anatomy and its implications. *Childs Nerv Syst*. 2008;24(10):1109–1122. doi: 10.1007/s00381-008-0600-1

21. Martich V, Ben-Ami T, Yousefzadeh DK, Roizen NJ. Hypoplastic posterior arch of C-1 in children with Down syndrome: a double jeopardy. *Radiology*. 1992;183(1):125–128. doi: 10.1148/radiology.183.1.1532260

22. Menezes AH. Decision making. *Childs Nerv Syst*. 2008;24(10):1147–1153. doi: 10.1007/s00381-008-0604-x

23. Zarantonello P, Spinnato P, Vommaro F, et al. Imaging Findings in an Early Symptomatic Dystopic Os Odontoideum. *Can J Neurol Sci*. 2021;48(4):565–566. doi: 10.1017/cjn.2020.223

24. Menezes AH. Congenital and acquired abnormalities of the craniocervical junction. In: Youmans J, editor. *Neurological Surgery*. 4th ed. Philadelphia, PA: WB Saunders Publishers; 1995. P. 1035–1089.

25. Kuleshov AA, Shkarubo AN, Eskin NA, et al. Options for surgical treatment of chronic C2 odontoid fractures. *Spine Surgery*. 2019;16(1):16–24. (In Russ). doi: 10.14531/ss2019.1.16-24

26. Vetrile ST, Kolesov SV. *Kraniocervikal'naya patologiya*. Moscow: Meditsina; 2007. (In Russ).

27. Currarino G. Segmentation defect in the midodontoid process and its possible relationship to the congenital type of os odontoideum. *Pediatr Radiol*. 2002;32(1):34–40. doi: 10.1007/s00247-001-0579-1

28. Flemming C, Hodson CJ. Os odontoideum; a congenital abnormality of the axis; case report. *J Bone Joint Surg Br*. 1955;37-B(4):622–623. doi: 10.1302/0301-620X.37B4.622

29. McManners T. Odontoid hypoplasia. *Br J Radiol*. 1983;56(672):907–910. doi: 10.1259/0007-1285-56-672-907

30. Shapiro R, Youngberg AS, Rothman SL. The differential diagnosis of traumatic lesions of the occipito-atlanto-axial segment. *Radiol Clin North Am*. 1973;11(3):505–526.

31. Hedequist DJ, Mo AZ. Os Odontoideum in Children. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020;28(3):e100–e107. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00637

32. Nader-Sepahi A, Casey AT, Hayward R, et al. Symptomatic atlantoaxial instability in Down syndrome. *J Neurosurg*. 2005;103(3 Suppl):231–237. doi: 10.3171/ped.2005.103.3.0231

33. Wolff J. *The law of bone remodeling*. Transl. by P. Maquet and R. Furlong. Berlin: Springer; 1986.
34. Kirlew KA, Hathout GM, Reiter SD, Gold RH. Os odontoideum in identical twins: perspectives on etiology. *Skeletal Radiol*. 1993;22(7):525–527. doi: 10.1007/BF00209102
35. Morgan MK, Onofrio BM, Bender CE. Familial os odontoideum. Case report. *J Neurosurg*. 1989;70(4):636–639. doi: 10.3171/jns.1989.70.4.0636
36. Verska JM, Anderson PA. Os odontoideum. A case report of one identical twin. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(6):706–709. doi: 10.1097/00007632-199703150-00026
37. Chutkan NB, King AG, Harris MB. Odontoid Fractures: Evaluation and Management. *J Am Acad Orthop Surg*. 1997;5(4):199–204. doi: 10.5435/00124635-199707000-00003
38. Crockard HA, Stevens JM. Craniovertebral junction anomalies in inherited disorders: part of the syndrome or caused by the disorder? *Eur J Pediatr*. 1995;154(7):504–512. doi: 10.1007/BF02074823
39. Fielding JW, Griffin PP. Os odontoideum: an acquired lesion. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(1):187–190.
40. Durov MF, Yukhanova ON. O prichine i mekhanizme vozniknoveniya zubovidnoi kosti. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye* 1986;6:40–41. (In Russ).
41. Fielding JW, Hensinger RN, Hawkins RJ. Os Odontoideum. *J Bone Joint Surg Am*. 1980;62(3):376–383.
42. David KM, Crockard A. Early development of the craniovertebral junction and cervical spine. In: Crockard A, Hayward R, Hoff JT, editors. *Neurosurgery: the Scientific Basis of Clinical Practice*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific; 2000. P. 74–86.
43. Carfi A, Liperoti R, Fusco D, et al. Bone mineral density in adults with Down syndrome. *Osteoporos Int*. 2017;28(10):2929–2934. doi: 10.1007/s00198-017-4133-x
44. McKelvey KD, Fowler TW, Akel NS, et al. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome. *Osteoporos Int*. 2013;24(4):1333–1338. doi: 10.1007/s00198-012-2109-4
45. Caird MS, Wills BP, Dormans JP. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006;14(11):610–619. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
46. Helenius IJ, Bauer JM, Verhofste B, et al. Os Odontoideum in Children: Treatment Outcomes and Neurological Risk Factors. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(19):1750–1760. doi: 10.2106/JBJS.19.00314
47. Shaffrey CI, Chenelle AG, Abel MF, et al. Anatomy and physiology of congenital spinal lesions. In: Benzel EC, editor. *Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance, and Management*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Elsevier Churchill Livingstone; 2005. P. 61–68.
48. Pavlova OM, Ryabykh SO, Burtsev AV, Gubin AV. Clinical and radiological features of atlantoaxial dislocations associated with congenital malformations of the craniovertebral junction. *Spine Surgery*. 2018;15(1):32–41. (In Russ). doi: 10.14531/ss2018.1.32-41
49. Lutsik AA, Ratkin IK, Nikitin MN. *Kraniovertebral'nye povrezhdeniya i zabolevaniya: monografiya*. Novosibirsk: Izdatel'; 1998. (In Russ).
50. McGoldrick JM, Marx JA. Traumatic central cord syndrome in a patient with Os odontoideum. *Ann Emerg Med*. 1989;18(12):1358–1361. doi: 10.1016/s0196-0644(89)80276-8
51. Raj A, Srivastava SK, Marathe N, et al. Dystopic Os Odontoideum Causing Cervical Myelopathy: A Rare Case Report and Review of Literature. *Asian J Neurosurg*. 2020;15(1):236–240. doi: 10.4103/ajns.AJNS_35_19
52. Shirasaki N, Okada K, Oka S, et al. Os odontoideum with posterior atlantoaxial instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16(7):706–715. doi: 10.1097/00007632-199107000-00003
53. Lutsik AA, Peganov AI, Kazantsev VV, Ratkin IK. Vertebrobasilar insufficiency due to osseous abnormalities of the craniovertebral junction. *Spine Surgery*. 2016;13(4):49–55. (In Russ). doi: 10.14531/ss2016.4.49-55
54. Bunting CS, Dower A, Seghol H, Kohan S. Os odontoideum: a rare cause of syncope. *BMJ Case Rep*. 2019;12(11):e230945. doi: 10.1136/bcr-2019-230945
55. Locke GR, Gardner JI, Van Epps EF. Atlas-dens interval (ADI) in children: a survey based on 200 normal cervical spines. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*. 1966;97(1):135–140. doi: 10.2214/ajr.97.1.135
56. Fielding JW, Cochran Gv, Lawsing JF 3rd, Hohl M. Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(8):1683–1691.
57. Goel A, Shah A, Rajan S. Vertical mobile and reducible atlantoaxial dislocation. Clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2009;11(1):9–14. doi: 10.3171/2009.3.SPINE08927
58. McKay SD, Al-Omari A, Tomlinson LA, Dormans JP. Review of cervical spine anomalies in genetic syndromes. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(5):E269–E277. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823b3ded
59. Menezes AH, VanGilder JC, Graf CJ, McDonnell DE. Craniovertebral abnormalities. A comprehensive surgical approach. *J Neurosurg*. 1980;53(4):444–455. doi: 10.3171/jns.1980.53.4.0444
60. Pizzutillo PD, Herman MJ. Cervical spine issues in Down syndrome. *J Pediatr Orthop*. 2005;25(2):253–259. doi: 10.1097/01.bpo.0000154227.77609.90
61. Khusainov NO, Vissarionov SV, Kokushin DN. Craniovertebral instability in children with Down's syndrome. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2016;4(3):71–77. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS4371-77
62. Nakamura N, Inaba Y, Oba M, et al. Novel 2 Radiographical Measurements for Atlantoaxial Instability in Children with Down Syndrome. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(26):E1566–E1574. doi: 10.1097/brs.0000000000000625
63. Kuleshov AA, Shkarubo AN, Gromov IS, et al. 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
64. White KS, Ball WS, Prenger EC, et al. Evaluation of the craniovertebral junction in Down syndrome: correlation of measurements obtained with radiography and MR imaging. *Radiology*. 1993;186(2):377–382. doi: 10.1148/radiology.186.2.8421738
65. D'Urso PS, Williamson OD, Thompson RG. Biomodeling as an aid to spinal instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(24):2841–2845. doi: 10.1097/01.brs.0000190886.56895.3d
66. Dlouhy BJ, Policeni BA, Menezes AH. Reduction of atlantoaxial dislocation prevented by pathological position of the transverse ligament in fixed, irreducible os odontoideum: operative illustrations and radiographic correlates in 41 patients. *J Neurosurg Spine*. 2017;27(1):20–28. doi: 10.3171/2016.11.SPINE16733

ОБ АВТОРАХ

Кулешов Александр Алексеевич, д.м.н.,
заведующий отделением, врач травматолог-ортопед;
ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

Шкарубо Алексей Николаевич, д.м.н.,
ведущий научный сотрудник, врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0003-3445-3115;
eLibrary SPIN: 3420-3394;
e-mail: ashkarubo@nsi.ru

* **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

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

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

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

AUTHORS INFO

Alexander A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist, department head;
ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

Alexey N. Shkarubo, MD, Dr. Sci. (Med.),
leading researcher, neurosurgeon;
ORCID: 0000-0003-3445-3115;
eLibrary SPIN: 3420-3394;
e-mail: ashkarubo@nsi.ru

* **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

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

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

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322818>

Возможности регенеративной медицины и ортобиологических препаратов в лечении заболеваний верхней конечности: обзор литературы

А.И. Гребень^{1,2}, П.С. Ерёмин², Ю.В. Бялик³, Е.Ю. Костромина², Г.К. Парсаданян³,
П.А. Марков², А.В. Афанасьев³, Т.Н. Гребень²

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация;

² НМИЦ реабилитации и курортологии, Москва, Российская Федерация;

³ Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Развитие регенеративной медицины, изучение биологии стволовых клеток и анализ механизмов действия факторов роста, содержащихся в плазме, обогащённой тромбоцитами, подтолкнули большое число исследователей к использованию ортобиологических препаратов в своей клинической практике. Целью настоящей работы было представить эффективность использования регенеративных методик и ортобиологических препаратов в лечении заболеваний верхней конечности. При подготовке обзора использована открытая электронная база данных научной литературы PubMed (MEDLINE). Поиск данных литературы произведён по следующим ключевым словам: «регенеративная медицина», «ортобиология», «кисть», «лучезапястный сустав», «плазма, обогащённая тромбоцитами», «мезенхимальные стволовые клетки», «стромально-васкулярная фракция». В статье представлены результаты использования и обоснование применения ортобиологических препаратов в лечении различных патологий кисти и верхней конечности. Применение ортобиологических препаратов и регенеративных методик в лечении заболеваний верхней конечности является безопасным и перспективным направлением. Для последующего эффективного применения клеточных продуктов необходимы проведение дальнейших исследований для оценки их долгосрочных результатов, а также разработка унифицированных протоколов их использования.

Ключевые слова: регенеративная медицина; ортобиология; кисть; лучезапястный сустав; плазма, обогащённая тромбоцитами; мезенхимальные стволовые клетки; стромально-васкулярная фракция.

Как цитировать:

Гребень А.И., Ерёмин П.С., Бялик Ю.В., Костромина Е.Ю., Парсаданян Г.К., Марков П.А., Афанасьев А.В., Гребень Т.Н. Возможности регенеративной медицины и ортобиологических препаратов в лечении заболеваний верхней конечности: обзор литературы // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 1. С. 111–126. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322818>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322818>

Regenerative medicine and orthobiological drugs possibilities in upper limb diseases treatment: Literature review

Anastasiya I. Greben^{1,2}, Petr S. Eremin², Juliya V. Byalik³, Elena Yu. Kostromina², Gajk K. Parsadanyan, Pavel A. Markov², Aleksei V. Afanasiev³, Tatiana N. Greben²

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation;

² National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russian Federation;

³ Bauman City Clinical Hospital № 29, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The analyses of regenerative medicine progress, stem cell biology, and platelet rich plasma growth factor mechanisms of action have pushed many researchers to use orthobiological drugs in their clinical practice. This review aimed to present the use of regenerative techniques and orthobiological drugs in the treatment of upper limb diseases. The open electronic database of PubMed (MEDLINE) was used in the search for scientific studies. The literature search was conducted using the keywords: «regenerative medicine», «orthobiology», «hand», «wrist joint», «platelet rich plasma», «mesenchymal stem cells», and «stromal-vascular function». The article presents the results and rationale of the use of orthobiological drugs in the treatment of various hand and upper limb pathologies. The use of orthobiological drugs and regenerative techniques in the treatment of upper limb diseases is a safe and promising direction. For the subsequent use of effective cell products, further research is needed to assess their long-term results and development of unified protocols for their use.

Keywords: regenerative medicine; orthobiology; hand; wrist; platelet rich plasma; mesenchymal stem cells; stromal-vascular function.

To cite this article:

Greben AI, Eremin P, Byalik JV, Kostromina EYu, Parsadanyan GK, Markov PA, Afanasiev AV, Greben TN. Regenerative medicine and orthobiological drugs possibilities in upper limb diseases treatment: Literature review. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):111–126. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto322818>

Received: 12.04.2023

Accepted: 28.04.2023

Published: 18.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

Низкая эффективность консервативных методов лечения заболеваний верхней конечности [1], неудовлетворённость результатами оперативных вмешательств [2], наличие когорты пациентов, отказывающихся от хирургического лечения [3], развитие регенеративной медицины и изучение биологии стволовых клеток [4] — всё это способствовало разработке новых подходов к оптимизации лечения патологий кисти и верхней конечности. Инновационные ортобиологические препараты могут применяться в качестве основного метода терапии [5] или адьювантного средства в сочетании с хирургическим вмешательством [6]. При этом к регенеративным методикам можно отнести использование различных факторов роста и цитокинов, плазмы, обогащённой тромбоцитами (platelet rich plasma, PRP), а также мезенхимальных стволовых клеток (МСК), экзосом и т.д. [7]. Целью нашей работы было представить описательный обзор и произвести оценку существующих данных медицинской литературы по применению ортобиологических препаратов, клеточных технологий и регенеративных методик в хирургии верхней конечности и кистевой терапии.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

При подготовке обзора литературы использована электронная база данных научной литературы PubMed (MEDLINE). Поиск данных литературы произведён по следующим ключевым словам: «регенеративная медицина / regenerative medicine»; «ортобиология / orthobiology»; «кисть / hand»; «лучезапястный сустав / wrist»; «плазма, обогащённая тромбоцитами / PRP»; «мезенхимальные стволовые клетки / mesenchymal stem cells»; «стромально-вазкулярная фракция / SVF». Использовали следующие критерии включения: рандомизированные контролируемые клинические исследования, исследования на животных, клинические случаи, систематические обзоры, метаанализы. Критериями исключения являлись статьи без полнотекстовой версии, дублирующие публикации. Предпочтение отдавали работам за последние 5 лет.

ОБСУЖДЕНИЕ

Синдром де Кервена

Хирургическое вмешательство при синдроме де Кервена является окончательным вариантом лечения при неэффективности консервативных методик [8]. Наиболее часто применяющимися нехирургическими вариантами терапии при этом являются ортезирование, инъекции глюкокортикостероидов, приём нестероидных противовоспалительных препаратов и физиотерапия [9]. Исследование эффективности применения инъекций PRP при этой патологии продиктовано данными медицинской литературы

о её способностях к стимуляции пролиферации стволовых клеток сухожилия, активации их дифференцировки в теноциты, увеличению содержания коллагена, а также важными противовоспалительными и обезболивающими эффектами [10, 11]. Так, Ramesh и соавт. [5] в своей работе предоставили результаты применения 2 инъекций PRP с 3-недельным интервалом у 141 пациента с синдромом де Кервена. Авторами было сообщено о снижении интенсивности болевого синдрома у 77% пациентов после первой инъекции и у 16% — после второй [5]. Пекс и соавт. [12] в своём исследовании производили однократную инъекцию PRP под ультразвуковым контролем у пациентов, сообщивших о неэффективности консервативного лечения при использовании глюкокортикостероидов и ортезов. Согласно их данным, инъекция PRP безопасна и эффективна в отношении улучшения показателей уровня боли [12].

Повреждение сухожилий сгибателей

Формирование рубцов и адгезирование сухожилий сгибателей после оперативного вмешательства являются основными причинами неудовлетворительных результатов лечения [2]. При этом уже были предприняты различные попытки предотвращения послеоперационной адгезии сухожилия, такие как модификация техники наложения швов, использование фармакологических агентов и механических барьеров. Однако на данный момент отсутствуют достоверные доказательства их эффективности в клинических условиях [13]. Так, например, показано, что гиалуроновая кислота не оказывает существенного влияния на послеоперационный объём активных движений [14]. В рамках недавно завершённого рандомизированного контролируемого клинического исследования (РКИ) Lee и соавт. [15] был использован бесклеточный дермальный матрикс (ADM) с целью предупреждения формирования послеоперационных рубцов после восстановления сухожилий сгибателей в зонах 3–5. Техника включала в себя последовательное использование двойного сухожильного шва по модифицированной технике Кесслера, дебридмент повреждённых краев оболочки сухожилия и оборачивание восстановленного сухожилия в ADM (в большем объёме, чем площадь дефекта сухожилия). Протокол послеоперационного ведения включал в себя пассивные движения, начатые через 3–5 дней после оперативного вмешательства, и активные движения спустя 7 дней после операции. Общая продолжительность реабилитации составила 8 нед. Функциональный результат лечения оценивали по критериям Bick–Gramcko II через 12 мес после операции. Различий в частоте и характере осложнений по сравнению с контрольной группой выявлено не было. Благоприятное влияние ADM на процесс восстановления сухожилий сгибателей было подтверждено улучшением послеоперационного функционального результата и уменьшением формирования перисухожильных адгезий, что говорит об эффективности применения

ADM в качестве антиадгезивного барьера [15]. Аналогичные результаты получены в ходе другого проспективного исследования Shim и соавт. [16], в рамках которого ADM использовали при повреждении сухожилий сгибателей в 1–2-й зоне. Через 6 мес после вмешательства производили оценку объёма движений в проксимальном и дистальном межфаланговом суставе, после чего исследователи пришли к выводу, что использование ADM при восстановлении сухожилий сгибателей в 1–2-й зоне значительно улучшает функциональный результат лечения с точки зрения диапазона движений [16]. Liu и соавт. [17] также предоставили результаты контролируемого мультицентрового исследования по использованию биоамниотической мембраны и поли-DL-молочной кислоты (PDLA) при травме сухожилий сгибателей во 2-й зоне. Протокол операции включал в себя восстановление сухожилия сгибателя с последующим оборачиванием PDLA или амниотической мембраной вокруг повреждённых концов сухожилия. Программу реабилитации разделили на 3 этапа, а возвращение к повседневному уровню активности было разрешено через 12 нед. Диапазон активного сгибания и ограничения разгибания в проксимальном и дистальном межфаланговых суставах был оценён через 1, 2, 3, 6 и 12 мес. В ходе исследования авторами показано, что объём активных движений существенно не отличался в группах биоамниотической мембраны и PDLA, однако был значительно больше по сравнению с контрольной группой. Также в контрольной и PDLA-группе зарегистрирована более высокая частота осложнений по сравнению с группой, применявшей биоамниотическую мембрану. При ревизионной операции по поводу разрыва сухожилия в группе PDLA выявлено выраженное асептическое воспаление сухожилия. Авторами сформулирован вывод об эффективности и безопасности трансплантации амниотической мембраны с целью улучшения заживления и предотвращения образования адгезий сухожилий сгибателей во 2-й зоне [17].

Эпикондилит

Недостаточная «клеточность» и васкуляризация сухожилий чаще всего приводят к неадекватной регенерации и избыточному образованию рубцовой ткани [18]. Наиболее часто применяющиеся при эпикондилите инъекции глюкокортикостероидов хоть и приводят к временному облегчению боли, но снижают клеточную активность теноцитов, уменьшают интенсивность синтеза коллагена и увеличивают риск разрыва сухожилий [1]. Идеальным вариантом лечения этой патологии являются биологические препараты, терапевтические эффекты которых способны разорвать «порочный круг» повреждения сухожилий, улучшить заживление, восстановить структурные свойства и усилить прочность на растяжение с минимальным образованием рубцовой ткани [19]. В работе Halpern и соавт. [20] продемонстрирована терапевтическая эффективность инъекций PRP в лечении

латерального и медиального эпикондилита, а полученными результатами стали снижение выраженности болевого синдрома, улучшение качества сна, снижение потребности в обезболивающих препаратах и повышение качества жизни [20]. Aoga и соавт. [21] в рамках проспективного рандомизированного исследования производили сравнение эффективности инъекций PRP, метилпреднизолона и солевого раствора в лечении пациентов с латеральным эпикондилитом, не отреагировавших на другие консервативные методы терапии. Период наблюдения составил 12 нед, в ходе него было установлено, что инъекции PRP оказывают непрерывное прогрессирующее положительное влияние на процесс заживления со значительным улучшением показателей болевого синдрома и функции по визуальной аналоговой шкале (VAS), опроснику недееспособности верхней конечности (DASH), шкале удовлетворённости пациентов состоянием «локтя теннисиста» (PRTEE) и шкале функциональной оценки локтевого сустава Mayo (MEPS), в то время как в группе глюкокортикостероидов эти эффекты оказались весьма непродолжительными [21]. Singh и соавт. [22] в ходе своего исследования изучали эффективность инъекций аспирата костного мозга, полученного из гребня подвздошной кости, при латеральном эпикондилите. Авторы сообщили о значительном улучшении показателей боли и функции по шкале PRTEE через 2, 6 и 12 нед после лечения [22]. В проспективном клиническом исследовании Connell и соавт. [23] использовали коллаген-продуцирующие теноцитоподобные клетки, полученные из дермальных фибробластов, для лечения рефрактерного латерального эпикондилита. Инъекции производили под ультразвуковым контролем в проекции прикрепления мышцы-общего разгибателя пальцев (EDC). В ходе наблюдения установлено значительное улучшение среднего балла PRTEE уже через 6 нед после инъекции, сохранявшееся в период всего 12-месячного наблюдения, а по результатам ультразвукового исследования было обнаружено уменьшение количества разрывов сухожилия, увеличение числа новых сосудов и толщины сухожилия [23]. Wang и соавт. [24] в ходе изучения долгосрочной эффективности и безопасности инъекции аутологичных теноцитов у пациентов с хроническим рефрактерным латеральным эпикондилитом выявили улучшение показателей боли, функции и МР-признаков в 78% случаев, а также отсутствие осложнений и нежелательных явлений. Lee и соавт. [25], в свою очередь, производили инъекции аллогенных МСК жировой ткани (ЖТ) в проекции прикрепления EDC. В период 52-недельного наблюдения авторами не было зарегистрировано нежелательных явлений, было отмечено снижение интенсивности болевого синдрома, улучшение функции и уменьшение дефектов сухожилия [25]. В ходе пилотного исследования Khoufy и соавт. [26] для лечения хронического рефрактерного латерального эпикондилита спортсменов-теннисистов с неудачными попытками консервативного лечения использовали инъекции стромально-васкулярной фракции (СВФ)

ЖТ. Процедуру производили однократно, с использованием ультразвукового исследования (УЗИ) в проекции места прикрепления EDC. Число инъекцированных охарактеризованных стволовых клеток ЖТ (ADSC) составило $7,9 \times 10^6$. Оценка эффективности лечения, выполненная через 1, 6 и 12 мес после инъекции, показала значительное улучшение показателей боли и функции в течение всего периода наблюдения, а также восстановление структуры сухожилия через 6 мес после процедуры (согласно результатам магнитно-резонансной томографии, МРТ). В среднем пациентам потребовалось 3 мес для возвращения в спорт [26].

Контрактура Дюпюитрена

Согласно данным медицинской литературы, известно, что аномальная пролиферация фибробластов и миофибробластов является ключевым звеном патогенеза болезни Дюпюитрена [27]. При этом в ходе исследований *in vitro* было показано, что ADSC ингибируют пролиферацию и сокращение числа миофибробластов, а также снижают экспрессию α -актина гладких мышц [28], что подтолкнуло группу исследователей Novius и соавт. [29] к использованию в ходе обширной чрескожной игольной апоневротомии трансплантации аутологичной ЖТ. В исследование был включён 91 пациент с различной степенью тяжести контрактуры Дюпюитрена. Инъекции липоаспирата производили через 2–3 прокола на ладони и пальцах после выполнения основного этапа операции. Средний объём инъекцированного продукта составил 10 мл на каждый пальцевой луч. Период наблюдения длился 44 нед, в ходе него установили уменьшение сгибательной контрактуры в проксимальном межфаланговом суставе с 61 до 27°, в пястно-фаланговом суставе — с 37 до -5°, а также восстановление эластичной подкожно-жировой клетчатки, что редко наблюдается при открытой фасциэктомии и может, по мнению авторов, оказаться ключевым моментом для предотвращения рецидивов [30]. Время восстановления функции кисти составило 7–10 дней. Никаких серьёзных осложнений зафиксировано не было [29].

Остеоартрит

Большое число исследований, подтвердивших безопасность и эффективность применения ортобиологических препаратов в лечении остеоартрита коленного сустава, не могли не подтолкнуть врачей к использованию этих методик в своей практике [31–35]. Так, в работе Loibl и соавт. [36] использовали двукратные инъекции PRP с интервалом в 4 нед при лечении остеоартрита первого пястно-запястного сустава (ризартроза). Исследователями отмечено минимальное изменение показателей по шкалам VAS и QuickDash при III–IV стадии ризартроза по классификации Eaton–Littler и улучшение показателей по тем же параметрам при II стадии, что позволило им сделать вывод о применимости методики в лечении ранних стадий остеоартрита первого пястно-запястного

сустава. Malahias и соавт. [37] в рамках проспективного рандомизированного контролируемого исследования сравнивали эффективность внутрисуставных инъекций PRP и метилпреднизолона с лидокаином в лечении ризартроза лёгкой и умеренной степени выраженности. По результатам исследования отмечено улучшение показателей боли и функции в обеих группах через 3 мес, однако спустя 12 мес в группе PRP было продемонстрировано дальнейшее улучшение показателей, в то время как в группе глюкокортикостероидов — ухудшение [37]. Medina-Portuques и соавт. [38] также отметили положительное влияние внутрисуставных инъекций PRP в своей клинической практике. В исследовании Naas и соавт. [39] производилась оценка эффективности внутрисуставных инъекции аутологичной ЖТ в лечении остеоартрита первого пястно-запястного сустава. Билатеральные инъекции производили при ризартрозе I–III стадии по классификации Eaton–Littler. В ходе 12-месячного наблюдения заметный положительный результат отметили у 61% пациентов, что было объяснено буферным и амортизирующим эффектом ауто трансплантата при движениях в поражённом суставе [39]. Благоприятные эффекты использования нефракционированной ЖТ в лечении ризартроза были показаны также в исследованиях Herold и соавт. [40] и Froschauer и соавт. [41], в то время как Bohg и соавт. [42] сообщили о снижении показателей боли и функции при применении СВФ ЖТ при лечении персистирующего ризартроза. Mayoly и соавт. [43] в рамках своего проспективного исследования использовали комбинацию наножира (MF) и PRP в лечении остеоартрита лучезапястного сустава III–IV стадии по Kellgren и Lawrence при неэффективности других консервативных методов лечения. Инъекцию MF-PRP в объёме 4 мл выполняли через тыльный доступ на 10 мм дистальнее и локтевое бугорка Листера. Период иммобилизации составил 7 дней. Никаких серьёзных неблагоприятных событий зафиксировано не было. В течение 12-месячного наблюдения после инъекции отмечалось статистически значимое улучшение силы и показателей по шкалам VAS, DASH и оценки запястья пациентом (PRWE) [43].

Патологии ладьевидной и полулунной кости

По данным литературы известно, что костный морфогенетический белок (bone morphogenetic protein, BMP) обладает выраженными остеогенными функциями, контролирует дифференцировку остеобластов и остеокластов, а также значительно улучшает остеоинтеграцию [35]. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (U.S. Food and Drug Administration, FDA) при этом одобрило использование BMP-2 и BMP-7 в лечении открытых и несросшихся переломов, а также других ортопедических патологий [44]. Bilic и соавт. [45] использовали BMP-7 в комбинации с костным трансплантатом при лечении несросшихся переломов ладьевидной кости. Авторами продемонстрировано

улучшение ревазуляризации проксимального полюса ладьевидной кости, а также более быстрый процесс репаративной регенерации костной ткани по результатам рентгенологического и КТ-исследования по сравнению с контрольной группой [45]. Jones и соавт. [46], а также Ablove и соавт. [47] продемонстрировали аналогичные положительные результаты использования BMP-2 в качестве адьювантной терапии при лечении ложных суставов и несросшихся переломов ладьевидной кости. Jones и соавт. [48] в рамках другого своего клинического исследования применяли BMP при лечении болезни Кинбека III стадии по классификации Лихтман в сочетании с аутотрансплантацией костной ткани. По результатам МРТ-исследования, проведённого через 2 года после оперативного вмешательства, была обнаружена ревазуляризация участков полулунной кости, а через 5 лет — сохраняющийся низкий уровень боли и отсутствие дальнейшего коллапса полулунной кости. Такие результаты авторы объяснили положительным влиянием BMP на ангиогенез [48]. Rajfer и соавт. [49], в свою очередь, использовали BMP в качестве дополнения к артроскопической технике при лечении болезни Кинбека. Ими отмечено улучшение показателей боли и функции, а также возвращение пациентов к повседневной деятельности [49].

Повреждение треугольного фиброзно-хрящевого комплекса

Учитывая наличие широкого спектра факторов роста, содержащихся в PRP [50], и данные о положительном влиянии инъекций PRP на функциональные показатели при артроскопическом восстановлении менисков коленного сустава [51–53], можно предположить, что аналогичный благотворный результат будет получен при использовании этого ортобиологического препарата при восстановлении треугольного фиброзно-хрящевого комплекса (TFCC). Так, в исследовании Yeh и соавт. [6] изучали функциональные результаты 202 пациентов, перенёвших артроскопическое восстановление TFCC с последующей инъекцией PRP. Отрывы TFCC от ямки локтевой кости (2-й и 3-й тип по классификации Atzei–EWAS; EWAS — Европейское кистевое артроскопическое общество) восстанавливали с использованием анкерной фиксации, инъекцию PRP производили через порт 6R. Послеоперационное ношение ортеза продолжалось на протяжении 6 нед. Период наблюдения составил 32 мес, в ходе него зафиксировано улучшение функции, снижение интенсивности болевого синдрома, увеличение силы хвата и повышение толерантности к нагрузкам. Все пациенты вернулись к привычной работе и занятиям спортом [6].

Рубцовые повреждения кожного покрова

В последние годы липофилинг активно применяют при лечении рубцовых повреждений кожи [54]. Большая часть положительных результатов обусловлена регенеративными характеристиками ADSC, влиянием клеток

на адипогенез, ангиогенез и апоптоз [4]. Carstens и соавт. [55] сообщили о использовании СВФ ЖТ в своей клинической практике при лечении послеожоговых рубцовых контрактур кисти. Инъекции СВФ выполняли в поражённые суставы и по тыльной поверхности кисти. Через 6 нед после лечения отметили полное восстановление объёма движений, а зарегистрированный эффект был подтверждён через 6, 12 и 24 мес после процедуры [55]. Во втором своем отчёте Carstens и соавт. [56] отметили, что инъекции СВФ при данной патологии способствуют улучшению пигментации, гибкости, толщины кожного покрова и васкуляризации, а также снижению интенсивности зуда и боли. Результаты их наблюдений подтверждаются другими исследованиями, где отмечено положительное влияние инъекций наножира / СВФ на такие характеристики рубца, как цвет, мягкость, эластичность, васкуляризация, гидратация, количество эластина и коллагена [57–61]

Обширные повреждения кожного покрова

Длительно незаживающие раны различной этиологической природы с обширными глубокими повреждениями крайне трудно поддаются лечению стандартными методами [62]. При этом известно, что факторы роста, содержащиеся в PRP, благотворно влияют на ангиогенез и процесс образования грануляций, а также стимулируют репаративную регенерацию кожного покрова [63, 64]. В исследовании Deng и соавт. [65] производилась оценка эффективности применения PRP в лечении обширных ран с обнажёнными сухожилиями. После этапа хирургической обработки дно раны равномерно покрывали PRP, накладывали рыхлую повязку, а рутинные перевязки производили 1 раз в день после операции. Учитывая период полураспада тромбоцитов, оцениваемый в 5–7 дней, на 7-й день после операции процедуру повторяли ещё раз [66]. Авторами отмечены значимое улучшение показателей по Ванкуверской и Манчестерской шкале рубцов, приемлемая скорость образования грануляционной ткани, значительное уменьшение размера ран, удовлетворительное состояние кожного покрова и адекватная чувствительность вокруг раны, а средний период заживления кожного покрова составил $23,0 \pm 5,0$ дней, что соответствует результатам более ранних работ [65, 67, 68].

Синдром карпального канала

Хирургическое лечение при синдроме карпального канала является методом выбора, особенно при длительном анамнезе заболевания и тяжёлых проявлениях компрессионной нейропатии [69]. Однако наличие коготы пациентов, отказывающихся от оперативного вмешательства, обуславливает необходимость разработки эффективных консервативных методов лечения патологии, особенно при лёгкой и умеренной степени выраженности симптомов [3]. Применение в данных случаях глюкокортикоидов сопряжено с такими неблагоприятными событиями, как нейротоксичность и риск дегенеративного

разрыва сухожилий [70], в то время как перспективность использования PRP обусловлена наличием в клеточном продукте различных факторов роста, в том числе улучшающих регенерацию нервной ткани [71]. Также во время подобной инъекции будет наблюдаться эффект гидродиссекции вокруг оболочки нервов, уменьшение адгезии и компрессии окружающей соединительной тканью и удерживателем сгибателей, что снизит ишемическое повреждение нервных структур [72]. Senna и соавт. [73] в рамках РКИ сравнили результаты использования инъекций PRP и глюкокортикостероидов при лечении идиопатического синдрома карпального канала (СКК) лёгкой и умеренной степени выраженности. В группе PRP авторами было отмечено значимое улучшение чувствительности, показателей по шкале VAS, Бостонской анкеты карпального туннельного синдрома (BCTQ) и результатам электродиагностического исследования по сравнению с группой глюкокортикостероидов [73]. В двойном слепом РКИ Malahias и соавт. [74] группа инъекций PRP также показала лучшие результаты по шкале QuickDash по сравнению с группой инъекций физиологического раствора. Wu и соавт. [75] в своей работе отметили в группе PRP значимое улучшение показателей по шкалам VAS и BCTQ, уменьшение площади поперечного сечения срединного нерва по результатам УЗИ через 6 мес после инъекции по сравнению с контрольной группой, использующей ортез. Shen и соавт. [76] также отметили лучшие результаты площади поперечного сечения срединного нерва и электронейромиографических исследований в группе инъекций PRP по сравнению с инъекциями 5% декстрозы. Chen и соавт. [77] в рамках проспективного рандомизированного двойного слепого исследования оценивали терапевтическое действие PRP при СКК умеренной и тяжёлой степени выраженности у пациентов с двусторонней компрессионной нейропатией. Однократные инъекции в объёме 3,5 мл (PRP / физиологический раствор) производили под УЗ-контролем, период наблюдения составил 12 мес. Установлены значительные улучшения по показателям BCTQ с 1-го мес, уменьшение площади поперечного сечения срединного нерва через 12 мес после инъекции в группе PRP по сравнению с группой контроля [77]. Trull-Ahuir и соавт. [78] рекомендуют использование инъекций PRP в качестве дополнительной методики при оперативном вмешательстве при СКК, а Kuo и соавт. [79] — в случаях неэффективности других консервативных методов. Авторы отмечают, что «отставание» положительной динамики в результатах электронейромиографических исследований от клинических проявлений может быть объяснено тем фактом, что небольшие сенсорные волокна, ассоциированные с клиническими симптомами, регенерируют быстрее, чем большие миелинизированные волокна, сопряжённые с результатами электрофизиологических исследований [80]. Восстановление функции двигательных нейронов требует большего времени, в связи с чем требуется более длительное наблюдение за участниками

исследований [69]. Также важно отметить, что предпочтительнее производить инъекцию PRP под УЗ-контролем с целью уменьшения риска развития осложнений и ятрогенного повреждения срединного нерва [81].

Восстановление нервов

Лечение болезненных концевых неврином поверхностной ветви лучевого нерва остаётся нерешённой проблемой ввиду высокой частоты рецидивов болевого синдрома [82]. При этом основной концепцией существующих методов оперативного лечения является создание механического барьера, препятствующего беспорядочному аксональному прорастанию терминальных неврином в период регенерации нерва [83]. Трансплантация ЖТ/СВФ также может создать необходимый в данном случае механический барьер, а регенеративные характеристики клеточных продуктов могут препятствовать дезорганизованному прорастанию и адгезии нерва [84]. В ретроспективных исследованиях Zimmermann и соавт. [85, 86] производили сравнение 2 методик: трансплантации СВФ-обогащённой ЖТ (СВФ-ЖТ) и общепринятого в данном случае варианта лечения — внутримышечной транспозиции в плечелучевую мышцу. Пациентам обеих групп выполняли микрохирургическую резекцию концевых невром и невролиз, в группе СВФ-ЖТ производили последующую инъекцию 7 мл липоаспирата вокруг культи нерва после ушивания раны. Период иммобилизации в группе транспозиции составил 4 нед, в группе трансплантата — 10 дней. Срок наблюдения за пациентами составил 36 мес после оперативного лечения. В группе СВФ-ЖТ отмечались лучшие результаты по сравнению с группой контроля при оценке уровня спонтанной боли, степени гиперэстезии, боли при перкуссии и давлении. Несмотря на более длительное купирование боли по сравнению с группой контроля, степень снижения болевых ощущений не оказалась статически значимой по сравнению с предоперационным уровнем [85, 86].

Повреждение периферических нервов часто встречается при колото-резаных травмах верхней конечности, а результатом является серьёзное нарушение сенсорных и двигательных функций [87]. При этом накопленные данные свидетельствуют о нейротерапевтических эффектах экзосом, внеклеточных мембранных нановезикул, секретируемых большим количеством клеток [88]. Экзосомы оказывают доказанное положительное влияние на ангиогенез [89], аксональный рост [90], миграцию и пролиферацию шванновских клеток [91], а также иммуномодуляторный эффект [92]. В последние годы этот вид бесклеточной регенеративной медицины привлекает внимание большого числа исследователей, представляет собой перспективную стратегию регенерации периферических нервов и демонстрирует огромный потенциал для дальнейшего применения после проведения доклинических и клинических исследований [93–96].

Положительные результаты использования СВФ ЖТ при регенерации нервов продемонстрированы в исследовании Mohammadi и соавт. [97], где на модели крыс было показано, что СВФ способствует улучшению функционального восстановления седалищного нерва по сравнению с контрольной группой. В ходе работы авторами отмечены значительное увеличение регенерата седалищного нерва, более короткие сроки восстановления, улучшение мышечной трофики, большее число шванновских клеток и улучшение васкуляризации нервной ткани [97]. Положительные эффекты могут быть объяснены наличием в СВФ нейротрофических факторов, таких как нейротрофический фактор мозга (BDNF), фактор роста нервов (NGF) и глиальный нейротрофический фактор (GDNF) [98, 99].

Системные заболевания

ADSC обладают доказанными проангиогенными эффектами, иммуносупрессивными свойствами, а также потенциалом к мультидифференцировке [100], что может быть применено в лечении кожных проявлений системной склеродермии [101]. Так, в проспективном исследовании Pignatti и соавт. [102] производили инъекции аутологичной ЖТ пациентам с поражениями пальцев при системной склеродермии. Процедуру повторяли 2–3 раза с интервалом в 6 мес. Инъекции липоаспирата осуществляли из тыльного доступа у основания поражённых пальцев вокруг сосудисто-нервных пучков с каждой стороны в объёме от 0,5 до 1 мл. Результаты лечения оценивали через 6 мес после последней инъекции, они включали уменьшение натяжения кожи и проявлений феномена Рейно, увеличение толщины кожного покрова, улучшение по показателям боли и функции, заживление пальцевых язв, что подтверждается результатами предыдущих исследований [102–106]. Авторы заявили о безопасности и эффективности этой методики при лечении кожных проявлений системной склеродермии [102, 105].

Выводы

Регенеративные методики и ортобиологические препараты постепенно становятся неотъемлемой частью лечения пациентов с заболеваниями верхней конечности [7]. Исходя из итогов проведённого нами анализа данных медицинской литературы, можно сформулировать определённые выводы.

1. Использование плазмы, обогащённой тромбоцитами, продемонстрировало безопасность и эффективность в лечении таких состояний, как синдром де Кервена [5, 12], эпикондилит [20, 21], остеоартрит суставов кисти [36–38, 43], обширные повреждения кожного покрова [65, 67, 68], синдром карпального канала лёгкой и умеренной степени выраженности [73–79, 50, 107], а также она может быть применена в качестве адъювантной терапии при повреждениях TFCC [6].

2. Улучшение заживления сухожилий сгибателей и предотвращение образования перисухожильных адгезий может быть достигнуто с помощью бесклеточного дермального матрикса [15, 16] и биоамниотической мембраны [17].
3. Клеточные продукты ЖТ продемонстрировали безопасность и эффективность в лечении эпикондилита [25, 26], остеоартрита суставов кисти [39, 40, 41, 43], послеожоговых рубцовых контрактур кисти [55, 56], концевых невриноом поверхностной ветви лучевого нерва [85, 86], кожных проявлений системной склеродермии [102–106] и контрактуры Дюпюитрена (в сочетании с обширной чрескожной игольной апоневротомией) [29].
4. Предварительные результаты исследований подтверждают безопасность и эффективность использования костных морфогенетических белков в лечении ложных суставов и несросшихся переломов ладьевидной кости, а также болезни Кинбека [46–49].
5. Безопасность и эффективность в лечении эпикондилита продемонстрировали такие клеточные продукты, как аспират костного мозга [22], теноцитоподобные клетки [23] и теноциты [24].
6. Перспективным направлением в лечении повреждённых нервов является использование экзосомальной и СВФ-терапии [93–97].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на продемонстрированные нами положительные результаты применения регенеративных методик в лечении заболеваний верхней конечности, использование подобных ортобиологических препаратов в настоящее время имеет низкий уровень доказательности, поскольку подавляющее большинство клинических исследований представляет собой серии случаев, тематические исследования с небольшим числом пациентов без сравнительных и контрольных групп и с ограниченной продолжительностью последующего наблюдения. В связи с этим необходимы дальнейшие клинические исследования с оценкой их долгосрочных эффектов, а также разработка унифицированных протоколов использования клеточных продуктов. Также важно отметить, что нами было найдено малое количество данных о стоимости применения регенеративных методик. Такие варианты лечения являются высокочрезвычайными для пациентов, что говорит о необходимости создания в будущем модели оплаты этих услуг из средств фонда обязательного медицинского страхования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFO

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: А.И. Гребень — обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация данных, написание и редакция текста рукописи, проверка критически важного содержания, П.С. Ерёмин, Ю.В. Бялик, Е.Ю. Костромина, Г.К. Парсаданян, П.А. Марков — написание и научная редакция текста рукописи, проверка критически важного содержания; А.В. Афанасьев, Т.Н. Гребень — проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации.

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. A.I. Greben — review of

publications on the topic of the article, analysis and interpretation of data, writing and scientific editing of the text of the article, review of critical content; P.S. Eremin, J.V. Byalik, E.Yu. Kostromina, G.K. Parsadanyan, P.A. Markov — writing and scientific editing of the article text, checking the critical content; A.V. Afansiev, T.N. Greben — review of critical content, approval of the article for publication.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coombes B.K., Bisset L., Vicenzino B. Efficacy and safety of corticosteroid injections and other injections for management of tendinopathy: a systematic review of randomised controlled trials // *Lancet*. 2010. Vol. 376, N 9754. P. 1751–1767. doi: 10.1016/S0140-6736(10)61160-9
2. Khanna A., Friel M., Gougoulas N., et al. Prevention of adhesions in surgery of the flexor tendons of the hand: what is the evidence? // *Br Med Bull*. 2009. N 90. P. 85–109. doi: 10.1093/bmb/ldp013
3. Piazzini D.B., Aprile I., Ferrara P.E., et al. A systematic review of conservative treatment of carpal tunnel syndrome // *Clin Rehabil*. 2016. Vol. 21, N 4. P. 299–314. doi: 10.1177/0269215507077294
4. Tsuji W., Rubin J.P., Marra K.G. Adipose-derived stem cells: Implications in tissue regeneration // *World J Stem Cells*. 2014. Vol. 6, N 3. P. 312–321. doi: 10.4252/wjsc.v6.i3.312
5. Ramesh R., Jeyaraman M., Prajwal G.S. The prospective study on efficacy and functional outcome of autologous platelet rich plasma injection in musculoskeletal disorders // *EC Orthopaedics*. 2018. Vol. 9, N 12. P. 849e863.
6. Yeh K.T., Wu W.T., Wang J.H., Shih J.T. Arthroscopic foveal repair with suture anchors for traumatic tears of the triangular fibrocartilage complex // *BMC Musculoskelet Disord*. 2022. Vol. 23, N 1. P. 634. doi: 10.1186/s12891-022-05588-z
7. Karim K.E., Wu C.M., Giladi A.M., Murphy M.S. Orthobiologics in Hand Surgery // *J Hand Surg Am*. 2021. Vol. 46, N 5. P. 409–415. doi: 10.1016/j.jhssa.2021.01.006
8. Oh J.K., Messing S., Hyrien O., Hammert W.C. Effectiveness of Corticosteroid Injections for Treatment of de Quervain's Tenosynovitis // *Hand (N Y)*. 2017. Vol. 12, N 4. P. 357–361. doi: 10.1177/1558944716681976
9. Ippolito J.A., Hauser S., Patel J., et al. Nonsurgical Treatment of De Quervain Tenosynovitis: A Prospective Randomized Trial // *Hand (N Y)*. 2020. Vol. 15, N 2. P. 215–219. doi: 10.1177/1558944718791187
10. Zhang J., Nie D., Williamson K., et al. Selectively activated PRP exerts differential effects on tendon stem/progenitor cells and tendon healing // *J Tissue Eng*. 2019. N 10. P. 2041731418820034. doi: 10.1177/2041731418820034
11. Everts P., Onishi K., Jayaram P., et al. Platelet-Rich Plasma: New Performance Understandings and Therapeutic Considerations in 2020 // *Int J Mol Sci*. 2020. Vol. 21, N 20. P. 7794. doi: 10.3390/ijms21207794
12. Peck E., Ely E. Successful treatment of de Quervain tenosynovitis with ultrasound-guided percutaneous needle tenotomy and platelet rich plasma injection: a case presentation // *PM R*. 2013. Vol. 5, N 5. P. 438–441. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.02.006
13. Leppanen O.V., Karjalainen T., Goransson H., et al. Outcomes after flexor tendon repair combined with the application of human amniotic membrane allograft // *J Hand Surg Am*. 2017. Vol. 42, N 6. P. 474.e1–474.e8. doi: 10.1016/j.jhssa.2017.03.006
14. Golash A., Kay A., Warner J.G., et al. Efficacy of ADCON-T/N after primary flexor tendon repair in Zone II: a controlled clinical trial // *J Hand Surg Br*. 2003. Vol. 28, N 2. P. 113–115. doi: 10.1016/s0266-7681(02)00249-8
15. Lee Y.J., Ryoo H.J., Shim H.S. Prevention of postoperative adhesions after flexor tendon repair with acellular dermal matrix in Zones III, IV, and V of the hand: A randomized controlled (CONSORT-compliant) trial // *Medicine (Baltimore)*. 2022. Vol. 101, N 3. P. e28630. doi: 10.1097/MD.00000000000028630
16. Shim H.S., Park K.S., Kim S.W. Preventing postoperative adhesions after hand tendon repair using acellular dermal matrix // *J Wound Care*. 2021. Vol. 30, N 11. P. 890–895. doi: 10.12968/jowc.2021.30.11.890
17. Liu C., Bai J., Yu K., et al. Biological Amnion Prevents Flexor Tendon Adhesion in Zone II: A Controlled, Multicentre Clinical Trial // *Biomed Res Int*. 2019. N 2019. P. 2354325. doi: 10.1155/2019/2354325
18. Tarpada S.P., Morris M.T., Lian J., Rashidi S. Current advances in the treatment of medial and lateral epicondylitis // *J Orthop*. 2018. Vol. 15, N 1. P. 107–110. doi: 10.1016/j.jor.2018.01.040
19. Via A.G., Frizziero A., Oliva F. Biological properties of mesenchymal Stem Cells from different sources // *Muscles Ligaments Tendons J*. 2012. Vol. 2, N 3. P. 154–162.
20. Halpern B.C., Chaudhury S., Rodeo S.A. The role of platelet-Rich plasma in inducing musculoskeletal tissue healing // *HSS J*. 2012. Vol. 8, N 2. P. 137–145. doi: 10.1007/s11420-011-9239-7
21. Arora K.K., Kapila R., Kapila S., et al. Management of Lateral Epicondylitis: A Prospective Comparative Study Comparing the Local Infiltrations of Leucocyte Enriched Platelet-Rich Plasma (L-aPRP), Glucocorticoid and Normal Saline // *Malays Orthop J*. 2022. Vol. 16, N 1. P. 58–69. doi: 10.5704/MOJ.2203.009
22. Singh A., Gangwar D.S., Singh S. Bone marrow injection: a novel treatment for tennis elbow // *J Nat Sci Biol Med*. 2014. Vol. 5, N 2. P. 389–391. doi: 10.4103/0976-9668.136198

- 23.** Connell D., Datir A., Alyas F., Curtis M. Treatment of lateral epicondylitis using skin-derived tenocyte-like cells // *Br J Sports Med.* 2009. Vol. 43, N 4. P. 293–298. doi: 10.1136/bjsm.2008.056457
- 24.** Wang A., Mackie K., Bredahl W., et al. Evidence for the durability of autologous tenocyte injection for treatment of chronic resistant lateral epicondylitis: mean 4.5-Year clinical follow-up // *Am J Sports Med.* 2015. Vol. 43, N 7. P. 1775–1783. doi: 10.1177/0363546515579185
- 25.** Lee S.Y., Kim W., Lim C., Chung S.G. Treatment of lateral epicondylitis by using allogeneic adipose-derived mesenchymal stem cells: a pilot study // *Stem Cells.* 2015. Vol. 33, N 10. P. 2995–3005. doi: 10.1002/stem.2110
- 26.** Khoury M., Tabben M., Rolón A.U., et al. Promising improvement of chronic lateral elbow tendinopathy by using adipose derived mesenchymal stromal cells: a pilot study // *J Exp Orthop.* 2021. Vol. 8, N 1. P. 6. doi: 10.1186/s40634-020-00320-z
- 27.** Dolmans G.H., Werker P.M., Hennies H.C., et al. Wnt signaling and Dupuytren's disease // *N Engl J Med.* 2011. Vol. 365, N 4. P. 307–317. doi: 10.1056/NEJMoa1101029
- 28.** Coleman S.R. Structural fat grafting: More than a permanent filler // *Plast Reconstr Surg.* 2006. Vol. 118, N 3, Suppl. P. 108S–120S. doi: 10.1097/01.prs.0000234610.81672.e7
- 29.** Hovius S.E.R., Kan H.J., Smit X., et al. Extensive percutaneous aponeurotomy and lipografting: a new treatment for Dupuytren disease // *Plast Reconstr Surg.* 2011. Vol. 128, N 1. P. 221–228. doi: 10.1097/PRS.0b013e31821741a
- 30.** Degreef I. Therapy-Resisting Dupuytren's Disease: New Perspectives in Adjuvant Treatment (doctoral thesis). Leuven, Belgium: Catholic University Leuven, 2009.
- 31.** Elksniņš-Finoģejevs A., Vidal L., Peredistijs A. Intra-articular platelet-rich plasma vs corticosteroids in the treatment of moderate knee osteoarthritis: a single-center prospective randomized controlled study with a 1-year follow up // *J Orthop Surg Res.* 2020. Vol. 15, N 1. P. 257. doi: 10.1186/s13018-020-01753-z
- 32.** Ahmad H.S., Farrag S.E., Okasha A.E., et al. Clinical outcomes are associated with changes in ultrasonographic structural appearance after platelet-rich plasma treatment for knee osteoarthritis // *Int J Rheum Dis.* 2018. Vol. 21, N 5. P. 960–966. doi: 10.1111/1756-185X.13315
- 33.** Matas J., Orrego M., Amenabar D., et al. Umbilical Cord-Derived Mesenchymal Stromal Cells (MSCs) for Knee Osteoarthritis: Repeated MSC Dosing Is Superior to a Single MSC Dose and to Hyaluronic Acid in a Controlled Randomized Phase I/II Trial // *Stem Cells Transl Med.* 2019. Vol. 8, N 3. P. 215–224. doi: 10.1002/sctm.18-0053
- 34.** Xia T., Yu F., Zhang K., et al. The effectiveness of allogeneic mesenchymal stem cells therapy for knee osteoarthritis in pigs // *Ann Transl Med.* 2018. Vol. 6, N 20. P. 404. doi: 10.21037/atm.2018.09.55
- 35.** Dolanmaz D., Saglam M., Inan O., et al. Monitoring Bone Morphogenetic Protein-2 and -7, Soluble Receptor Activator of Nuclear Factor- κ B Ligand and Osteoprotegerin Levels in the Peri-Implant Sulcular Fluid during the Osseointegration of Hydrophilic-Modified Sandblasted Acid-Etched and Sandblasted // *J Periodont Res.* 2015. Vol. 50, N 1. P. 62–73. doi: 10.1111/jre.12182
- 36.** Loibl M., Lang S., Dendl L.M., et al. Leukocyte-reduced platelet-rich plasma treatment of basal thumb arthritis: a pilot study // *Biomed Res Int.* 2016. N 2016. P. 9262909. doi: 10.1155/2016/9262909
- 37.** Malahias M.A., Roumeliotis L., Nikolaou V.S., et al. Platelet-rich plasma versus corticosteroid intraarticular injections for the treatment of trapeziometacarpal arthritis: a prospective randomized controlled clinical trial // *Cartilage.* 2021. Vol. 12, N 1. P. 51–61. doi: 10.1177/1947603518805230
- 38.** Medina-Porqueres I., Martin-Garcia P., Sanz-De Diego S., et al. Platelet-rich plasma for thumb carpometacarpal joint osteoarthritis in a professional pianist: case-based review // *Rheumatol Int.* 2019. Vol. 39, N 12. P. 2167–2175. doi: 10.1007/s00296-019-04454-x
- 39.** Haas E.M., Eisele A., Arnoldi A., et al. One-year outcomes of intraarticular fat transplantation for thumb carpometacarpal joint osteoarthritis: case review of 99 joints // *Plast Reconstr Surg.* 2020. Vol. 145, N 1. P. 151–159. doi: 10.1097/PRS.0000000000006378
- 40.** Herold C., Rennekampff H.O., Grodeck R., Allert S. Autologous Fat Transfer for Thumb Carpometacarpal Joint Osteoarthritis: A Prospective Study // *Plast Reconstr Surg.* 2017. Vol. 140, N 2. P. 327–335. doi: 10.1097/PRS.0000000000003510
- 41.** Froschauer S.M., Holzbauer M., Wenny R., et al. Autologous Fat Transplantation for Thumb Carpometacarpal Joint Osteoarthritis (Liparthroplasty): A Case Series with Two Years of Follow-UP // *J Clin Med.* 2020. Vol. 10, N 1. P. 113. doi: 10.3390/jcm10010113
- 42.** Bohr S., Rennekampff H.O., Pallua N. Cell-enriched lipospiate arthroplasty: a novel approach to first carpometacarpal joint arthritis // *Hand Surg.* 2015. Vol. 20, N 3. P. 479–481. doi: 10.1142/S0218810415720259
- 43.** Mayoly A., Witters M., Jouve E., et al. Intra Articular Injection of Autologous Microfat and Platelets-Rich Plasma in the Treatment of Wrist Osteoarthritis: A Pilot Study // *J Clin Med.* 2022. Vol. 11, N 19. P. 5786. doi: 10.3390/jcm11195786
- 44.** Cecchi S., Bennet S.J., Arora M. Bone Morphogenetic Protein-7: Review of Signalling and Efficacy in Fracture Healing // *J Orthop Translat.* 2016. N 4. P. 28–34. doi: 10.1016/j.jot.2015.08.001
- 45.** Bilic R., Simic P., Jelic M., et al. Osteogenic protein-1 (BMP-7) accelerates healing of scaphoid non-union with proximal pole sclerosis // *Int Orthop.* 2006. Vol. 30, N 2. P. 128–134. doi: 10.1007/s00264-005-0045-z
- 46.** Jones N.F., Brown E.E., Mostofi A., et al. Healing of a scaphoid nonunion using human bone morphogenetic protein // *J Hand Surg Am.* 2005. Vol. 30, N 3. P. 528–533. doi: 10.1016/j.jhsa.2004.12.005
- 47.** Alobe R.H., Abrams S.S. The use of BMP-2 and screw exchange in the treatment of scaphoid fracture non-union // *Hand Surg.* 2015. Vol. 20, N 1. P. 167–171. doi: 10.1142/S0218810415970023
- 48.** Jones N.F., Brown E.E., Vogelien E., Urist M.R. Bone morphogenetic protein as an adjuvant in the treatment of Kienbock's disease by vascular pedicle implantation // *J Hand Surg Eur.* 2008. Vol. 33, N 3, P. 317–321. doi: 10.1177/1753193408090394
- 49.** Rajfer R.A., Danoff J.R., Metz J.A., Rosenwasser M.P. A novel arthroscopic technique utilizing bone morphogenetic protein in the treatment of Kienbock disease // *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2013. Vol. 17, N 1. P. 2–6. doi: 10.1097/BTH.0b013e3182712ba0
- 50.** Chen X., Jones I.A., Park C., Vangsness C.T. The efficacy of platelet-rich plasma on tendon and ligament healing: a systematic review and meta-analysis with bias assessment // *Am J Sports Med.* 2018. Vol. 46, N 8. P. 2020–2032. doi: 10.1177/0363546517743746
- 51.** Haunschild E.D., Huddleston H.P., Chahla J., et al. Platelet-rich plasma augmentation in meniscal repair surgery: a systematic review of comparative studies // *Arthroscopy.* 2020. Vol. 36, N 6. P. 1765–1774. doi: 10.1016/j.arthro.2020.01.038
- 52.** Belk J.W., Kraeutler M.J., Thon S.G., et al. Augmentation of meniscal repair with platelet-rich plasma: a systematic review of comparative studies // *Orthop J Sports Med.* 2020. Vol. 8, N 6. P. 2325967120926145. doi: 10.1177/2325967120926145

53. Sochacki K.R., Safran M.R., Abrams G.D., et al. Platelet-rich plasma augmentation for isolated arthroscopic meniscal repairs leads to significantly lower failure rates: a systematic review of comparative studies // *Orthop J Sports Med.* 2020. Vol. 8, N 11. P. 2325967120964534. doi: 10.1177/2325967120964534
54. Stachura A., Paskal W., Pawlik W., et al. The Use of Adipose-Derived Stem Cells (ADSCs) and Stromal Vascular Fraction (SVF) in Skin Scar Treatment-A Systematic Review of Clinical Studies // *J Clin Med.* 2021. Vol. 10, N 16. P. 3637. doi: 10.3390/jcm10163637
55. Carstens M.H., Correa D., Lullu R., et al. Subcutaneous reconstruction of hand dorsum and fingers for late sequelae of burn scars using adipose-derived stromal vascular fraction (SVF) // *CellR4.* 2015. Vol. 3, N 5. P. e1675.
56. Carstens M.H., Pérez M., Briceño H., et al. Treatment of late sequelae of burn scar fibrosis with adipose-derived stromal vascular fraction (SVF) cells: A case series // *CellR4.* 2017. Vol. 5, N 3. P. e2404.
57. Azzena B., Mazzoleni F., Abatangelo G., et al. Autologous platelet-rich plasma as an adipocyte in vivo delivery system: case report // *Aesthet Plast Surg.* 2008. Vol. 32, N 1. P. 155–158. Discussion 159–161. doi: 10.1007/s00266-007-9022-9
58. To K., Crowley C., Lim S.-K., Khan W.S. Autologous adipose tissue grafting for the management of the painful scar // *Cytotherapy.* 2019. Vol. 21, N 11. P. 1151–1160. doi: 10.1016/j.jcyt.2019.08.005
59. Krastev T.K., Schop S.J., Hommes J., et al. Autologous fat transfer to treat fibrosis and scar-related conditions: A systematic review and meta-analysis // *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2020. Vol. 73, N 11. P. 2033–2048. doi: 10.1016/j.bjps.2020.08.023
60. Lee J.W., Park S.H., Lee S.J., et al. Clinical Impact of Highly Condensed Stromal Vascular Fraction Injection in Surgical Management of Depressed and Contracted Scars // *Aesthetic Plast Surg.* 2018. Vol. 42, N 6. P. 1689–1698. doi: 10.1007/s00266-018-1216-9
61. Jan S.N., Bashir M.M., Khan F.A., et al. Unfiltered Nanofat Injections Rejuvenate Postburn Scars of Face // *Ann Plast Surg.* 2019. Vol. 82, N 1. P. 28–33. doi: 10.1097/SAP.0000000000001631
62. Gumbel D., Ackerl M., Napp M., et al. Retrospective analysis of 56 soft tissue defects treated with one-stage reconstruction using dermal skin substitutes // *J Dtsch Dermatol Ges.* 2016. Vol. 14, N 6. P. 595–601. doi: 10.1111/ddg.12874
63. Liu Q., Zhang N., Li Z., He H. Efficacy of autologous platelet-rich plasma gel in the treatment of refractory pressure injuries and its effect on wound healing time and patient quality of life // *Clinics (Sao Paulo).* 2021. N 76. P. e2355. doi: 10.6061/clinics/2021/e2355
64. O'Connell B., Wragg N.M., Wilson S.L. The use of PRP injections in the management of knee osteoarthritis // *Cell Tissue Res.* 2019. Vol. 376, N 2. P. 143–152. doi: 10.1007/s00441-019-02996-x
65. Deng Z., Long Z.S., Gong F.P., Chen G. The efficacy and safety of platelet-rich plasma in the tendon-exposed wounds: a preliminary study // *J Orthop Surg Res.* 2022. Vol. 17, N 1. P. 497. doi: 10.1186/s13018-022-03401-0
66. Spartalis E., Tomos P., Konofaos P., et al. The effect of autologous platelet-rich plasma on bronchial stump tissue granulation after pneumonectomy: experimental study // *ISRN Surg.* 2013. N 2013. P. 864350. doi: 10.1155/2013/864350
67. Menchisheva Y., Mirzakulova U., Yui R. Use of platelet-rich plasma to facilitate wound healing // *Int Wound J.* 2019. Vol. 16, N 2. P. 343–353. doi: 10.1111/iwj.13034
68. Guo S.C., Tao S.C., Yin W.J., et al. Exosomes derived from platelet-rich plasma promote the re-epithelization of chronic cutaneous wounds via activation of YAP in a diabetic rat model // *Theranostics.* 2017. Vol. 7, N 1. P. 81–96. doi: 10.7150/thno.16803
69. Dong C., Sun Y., Qi Y., et al. Effect of Platelet-Rich Plasma Injection on Mild or Moderate Carpal Tunnel Syndrome: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials // *Biomed Res Int.* 2020. N 2020. P. 5089378. doi: 10.1155/2020/5089378
70. Kim H.J., Park S.H. Median nerve injuries caused by carpal tunnel injections // *Korean J Pain.* 2014. Vol. 27, N 2. P. 112–117. doi: 10.3344/kjp.2014.27.2.112
71. Ding X.G., Li S.W., Zheng X.M., et al. The effect of platelet-rich plasma on cavernous nerve regeneration in a rat model // *Asian J Androl.* 2009. Vol. 11, N 2. P. 215–221. doi: 10.1038/aja.2008.37
72. Cass S.P. Ultrasound-Guided Nerve Hydrodissection: What Is it? A Review of the Literature // *Curr Sports Med Rep.* 2016. Vol. 15, N 1. P. 20–22. doi: 10.1249/JSR.0000000000000226
73. Senna M.K., Shaat R.M., Ali A.A.A. Platelet-rich plasma in treatment of patients with idiopathic carpal tunnel syndrome // *Clin Rheumatol.* 2019. Vol. 38, N 12. P. 3643–3654. doi: 10.1007/s10067-019-04719-7
74. Malahias M.A., Nikolaou V.S., Johnson E.O., et al. Platelet-rich plasma ultrasound-guided injection in the treatment of carpal tunnel syndrome: a placebo-controlled clinical study // *J Tissue Eng Regen Med.* 2018. Vol. 12, N 3. P. e1480–e1488. doi: 10.1002/term.2566
75. Wu Y.T., Ho T.Y., Chou Y.C., et al. Six-month efficacy of platelet-rich plasma for carpal tunnel syndrome: a prospective randomized, single-blind controlled trial // *Sci Rep.* 2017. Vol. 7, N 1. P. 94. doi: 10.1038/s41598-017-00224-6
76. Shen Y.P., Li T.Y., Chou Y.C., et al. Comparison of perineural platelet rich plasma and dextrose injections for moderate carpal tunnel syndrome: a prospective randomized, single-blind, head-to-head comparative trial // *J Tissue Eng Regen Med.* 2019. Vol. 13, N 11. P. 2009–2017. doi: 10.1002/term.2950
77. Chen S.R., Shen Y.P., Ho T.Y., et al. One-Year Efficacy of Platelet-Rich Plasma for Moderate-to-Severe Carpal Tunnel Syndrome: A Prospective, Randomized, Double-Blind, Controlled Trial // *Arch Phys Med Rehabil.* 2021. Vol. 102, N 5. P. 951–958. doi: 10.1016/j.apmr.2020.12.025
78. Trull-Ahuir C., Sala D., Chismol-Abad J., et al. Efficacy of platelet-rich plasma as an adjuvant to surgical carpal ligament release: a prospective, randomized controlled clinical trial // *Sci Rep.* 2020. Vol. 10, N 1. P. 2085. doi: 10.1038/s41598-020-59113-0
79. Kuo Y.C., Lee C.C., Hsieh L.F. Ultrasound-guided perineural injection with platelet-rich plasma improved the neurophysiological parameters of carpal tunnel syndrome: a case report // *J Clin Neurosci.* 2017. N 44. P. 234–236. doi: 10.1016/j.jocn.2017.06.053
80. Chen L.C., Ho C.W., Sun C.H., et al. Ultrasound-guided pulsed radiofrequency for carpal tunnel syndrome: a single-blinded randomized controlled study // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, N 6. Article e0129918. doi: 10.1371/journal.pone.0129918
81. Ustün N., Tok F., Yagz A.E., et al. Ultrasound-guided vs. Blind Steroid Injections in Carpal Tunnel Syndrome: A Single-Blind Randomized Prospective Study // *Am J Phys Med Rehabil.* 2013. Vol. 92, N 11. P. 999–1004. doi: 10.1097/PHM.0b013e31829b4d72
82. Stokvis A., van der Avoort D.J., van Neck J.W., et al. Surgical management of neuroma pain: a prospective follow-up study // *Pain.* 2010. Vol. 151, N 3. P. 862–869. doi: 10.1016/j.pain.2010.09.032

- 83.** Lutz B.S., Ma S.F., Chuang D.C., et al. Interposition of a pedicle fat flap significantly improves specificity of reinnervation and motor recovery after repair of transected nerves in adjacency in rats // *Plast Reconstr Surg.* 2001. Vol. 107, N 1. P. 116–123. doi: 10.1097/00006534-200101000-00017
- 84.** Guo J., Nguyen A., Banyard D.A., Fadavi D., et al. Stromal vascular fraction: a regenerative reality? Part 2: mechanisms of regenerative action // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2015. Vol. 69, N 2. P. 180–188. doi: 10.1016/j.bjps.2015.10.014
- 85.** Zimmermann S., Fakin R.M., Giovanoli P., Calcagni M. Outcome of Stromal Vascular Fraction-Enriched Fat Grafting Compared to Intramuscular Transposition in Painful End-Neuromas of Superficial Radial Nerve: Preliminary Results // *Front Surg.* 2018. N 5. P. 10. doi: 10.3389/fsurg.2018.00010
- 86.** Calcagni M., Zimmermann S., Scaglioni M.F., et al. The novel treatment of SVF-enriched fat grafting for painful end-neuromas of superficial radial nerve // *Microsurgery.* 2018. Vol. 38, N 3. P. 264–269. doi: 10.1002/micr.30122
- 87.** Yu T., Xu Y., Ahmad M.A., Javed R., et al. Exosomes as a Promising Therapeutic Strategy for Peripheral Nerve Injury // *Curr Neuropharmacol.* 2021. Vol. 19, N 12. P. 2141–2151. doi: 10.2174/1570159X19666210203161559
- 88.** Tang B.L. Promoting axonal regeneration through exosomes: An update of recent findings on exosomal PTEN and mTOR modifiers // *Brain Res Bull.* 2018. N 143. P. 123–131. doi: 10.1016/j.brainresbull.2018.10.008
- 89.** Wieringa P.A., Gonçalves de Pinho A.R., Micera S., et al. Biomimetic architectures for peripheral nerve repair: a review of biofabrication strategies // *Adv Healthc Mater.* 2018. Vol. 7, N 8. P. e1701164. doi: 10.1002/adhm.201701164
- 90.** Panayi A.C., Orgill D.P. Current use of biological scaffolds in plastic surgery // *Plast Reconstr Surg.* 2019. Vol. 143, N 1. P. 209–220. doi: 10.1097/PRS.00000000000005102
- 91.** Li D., Huang S., Yin Z., et al. Increases in miR-124-3p in microglial exosomes confer neuroprotective effects by targeting FIP200-mediated neuronal autophagy following traumatic brain injury // *Neurochem Res.* 2019. Vol. 44, N 8. P. 1903–1923. doi: 10.1007/s11064-019-02825-1
- 92.** Ma Z., Wang Y., Li H. Applications of extracellular vesicles in tissue regeneration // *Biomicrofluidics.* 2020. Vol. 14, N 1. P. 011501. doi: 10.1063/1.5127077
- 93.** Rao F., Zhang D., Fang T., et al. Exosomes from human gingiva-derived mesenchymal stem cells combined with biodegradable chitin conduits promote rat sciatic nerve Regeneration // *Stem Cells Int.* 2019. N 2019. P. 2546367. doi: 10.1155/2019/2546367
- 94.** Chen J., Ren S., Duscher D., et al. Exosomes from human adipose-derived stem cells promote sciatic nerve regeneration via optimizing Schwann cell function // *J Cell Physiol.* 2019. Vol. 234, N 12. P. 23097–23110. doi: 10.1002/jcp.28873
- 95.** Liu C.Y., Yin G., Sun Y.D., et al. Effect of exosomes from adipose-derived stem cells on the apoptosis of Schwann cells in peripheral nerve injury // *CNS Neurosci Ther.* 2020. Vol. 26, N 2. P. 189–196. doi: 10.1111/cns.13187
- 96.** Bucan V., Vaslaitis D., Peck C.T., et al. Effect of Exosomes from rat adipose-derived mesenchymal stem cells on neurite outgrowth and sciatic nerve regeneration after crush injury // *Mol Neurobiol.* 2019. Vol. 56, N 3. P. 1812–1824. doi: 10.1007/s12035-018-1172-z
- 97.** Mohammadi R., Sanaei N., Ahsan S., et al. Repair of nerve defect with chitosan graft supplemented by uncultured characterized stromal vascular fraction in streptozotocin induced diabetic rats // *Int J Surg.* 2014. Vol. 12, N 5. P. 33–40. doi: 10.1016/j.ijisu.2013.10.018
- 98.** Erba P., Mantovani C., Kalbermatten D.F., et al. Regeneration potential and survival of transplanted undifferentiated adipose tissue-derived stem cells in peripheral nerve conduits // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2010. Vol. 63, N 12. P. e811–e817. doi: 10.1016/j.bjps.2010.08.013
- 99.** Liu G., Cheng Y., Guo S., et al. Transplantation of adipose-derived stem cells for peripheral nerve repair // *Int J Mol Med.* 2011. Vol. 28, N 4. P. 565–572. doi: 10.3892/ijmm.2011.725
- 100.** Pappalardo M., Montesano L., Toia F., et al. Immunomodulation in vascularized composite allotransplantation: what is the role for adipose-derived stem cells? // *Ann Plast Surg.* 2019. Vol. 82, N 2. P. 245–251. doi: 10.1097/SAP.0000000000001763
- 101.** Staronni M., Pappalardo M., Spinella A., et al. Systemic sclerosis cutaneous expression: Management of skin fibrosis and digital ulcers // *Ann Med Surg (Lond).* 2021. N 71. P. 102984. doi: 10.1016/j.amsu.2021.102984
- 102.** Pignatti M., Spinella A., Cocchiara E., et al. Autologous Fat Grafting for the Oral and Digital Complications of Systemic Sclerosis: Results of a Prospective Study // *Aesthetic Plast Surg.* 2020. Vol. 44, N 5. P. 1820–1832. doi: 10.1007/s00266-020-01848-2
- 103.** Scuderi N., Ceccarelli S., Onesti M.G., et al. Human adipose-derived stromal cells for cell-based therapies in the treatment of systemic sclerosis // *Cell Transpl.* 2013. Vol. 22, N 5. P. 779–795. doi: 10.3727/096368912X639017
- 104.** Bene M.D., Pozzi M.R., Rovati L., et al. Autologous fat grafting for scleroderma-induced digital ulcers. An effective technique in patients with systemic sclerosis // *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2014. Vol. 46, N 4. P. 242–247. doi: 10.1055/s-0034-1376970
- 105.** Granel B., Daumas A., Jouve E., et al. Safety, tolerability and potential efficacy of injection of autologous adipose-derived stromal vascular fraction in the fingers of patients with systemic sclerosis: an open-label phase I trial // *Ann Rheum Dis.* 2015. Vol. 74, N 12. P. 2175–2182. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205681
- 106.** Bank J., Fuller S.M., Henry G.I., Zachary L.S. Fat grafting to the hand in patients with Raynaud phenomenon: a novel therapeutic modality // *Plast Reconstr Surg.* 2014. Vol. 133, N 5. P. 1109–1118. doi: 10.1097/PRS.0000000000000104
- 107.** Jiang J., Xing F., Luo R., Liu M. Effectiveness of Platelet-Rich Plasma for Patients With Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis of Current Evidence in Randomized Controlled Trials // *Front Pharmacol.* 2022. N 13. P. 834213. doi: 10.3389/fphar.2022.834213

REFERENCES

1. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. Efficacy and safety of corticosteroid injections and other injections for management of tendinopathy: a systematic review of randomised controlled trials. *Lancet.* 2010;376(9754):1751–1767. doi: 10.1016/S0140-6736(10)61160-9
2. Khanna A, Friel M, Gougoulas N, et al. Prevention of adhesions in surgery of the flexor tendons of the hand: what is the evidence? *Br Med Bull.* 2009;90:85–109. doi: 10.1093/bmb/ldp013

3. Piazzini DB, Aprile I, Ferrara PE, et al. A systematic review of conservative treatment of carpal tunnel syndrome. *Clin Rehabil*. 2016;21(4):299–314. doi: 10.1177/0269215507077294
4. Tsuji W, Rubin JP, Marra KG. Adipose-derived stem cells: Implications in tissue regeneration. *World J Stem Cells*. 2014;6(3):312–321. doi: 10.4252/wjsc.v6.i3.312
5. Ramesh R, Jeyaraman M, Prajwal GS. The prospective study on efficacy and functional outcome of autologous platelet rich plasma injection in musculoskeletal disorders. *EC Orthopaedics*. 2018;9(12):849e863.
6. Yeh KT, Wu WT, Wang JH, Shih JT. Arthroscopic foveal repair with suture anchors for traumatic tears of the triangular fibrocartilage complex. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):634. doi: 10.1186/s12891-022-05588-z
7. Karim KE, Wu CM, Giladi AM, Murphy MS. Orthobiologics in Hand Surgery. *J Hand Surg Am*. 2021;46(5):409–415. doi: 10.1016/j.jhsa.2021.01.006
8. Oh JK, Messing S, Hyrien O, Hammert WC. Effectiveness of Corticosteroid Injections for Treatment of de Quervain's Tenosynovitis. *Hand (N Y)*. 2017;12(4):357–361. doi: 10.1177/1558944716681976
9. Ippolito JA, Hauser S, Patel J, et al. Nonsurgical Treatment of De Quervain Tenosynovitis: A Prospective Randomized Trial. *Hand (N Y)*. 2020;15(2):215–219. doi: 10.1177/1558944718791187
10. Zhang J, Nie D, Williamson K, et al. Selectively activated PRP exerts differential effects on tendon stem/progenitor cells and tendon healing. *J Tissue Eng*. 2019;10:2041731418820034. doi: 10.1177/2041731418820034
11. Everts P, Onishi K, Jayaram P, et al. Platelet-Rich Plasma: New Performance Understandings and Therapeutic Considerations in 2020. *Int J Mol Sci*. 2020;21(20):7794. doi: 10.3390/ijms21207794
12. Peck E, Ely E. Successful treatment of de Quervain tenosynovitis with ultrasound-guided percutaneous needle tenotomy and platelet trich plasma injection: a case presentation. *PM R*. 2013;5(5):438–441. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.02.006
13. Leppanen OV, Karjalainen T, Goransson H, et al. Outcomes after flexor tendon repair combined with the application of human amniotic membrane allograft. *J Hand Surg Am*. 2017;42(6):474.e1–474.e8. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.03.006
14. Golash A, Kay A, Warner JG, et al. Efficacy of ADCON-T/N after primary flexor tendon repair in Zone II: a controlled clinical trial. *J Hand Surg Br*. 2003;28(2):113–115. doi: 10.1016/s0266-7681(02)00249-8
15. Lee YJ, Ryoo HJ, Shim HS. Prevention of postoperative adhesions after flexor tendon repair with acellular dermal matrix in Zones III, IV, and V of the hand: A randomized controlled (CONSORT-compliant) trial. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(3):e28630. doi: 10.1097/MD.00000000000028630
16. Shim HS, Park KS, Kim SW. Preventing postoperative adhesions after hand tendon repair using acellular dermal matrix. *J Wound Care*. 2021;30(11):890–895. doi: 10.12968/jowc.2021.30.11.890
17. Liu C, Bai J, Yu K, et al. Biological Amnion Prevents Flexor Tendon Adhesion in Zone II: A Controlled, Multicentre Clinical Trial. *Biomed Res Int*. 2019;2019:2354325. doi: 10.1155/2019/2354325
18. Tarpada SP, Morris MT, Lian J, Rashidi S. Current advances in the treatment of medial and lateral epicondylitis. *J Orthop*. 2018;15(1):107–110. doi: 10.1016/j.jor.2018.01.040
19. Via AG, Frizziero A, Oliva F. Biological properties of mesenchymal Stem Cells from different sources. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2012;2(3):154–162.
20. Halpern BC, Chaudhury S, Rodeo SA. The role of platelet-rich plasma in inducing musculoskeletal tissue healing. *HSS J*. 2012;8(2):137–145. doi: 10.1007/s11420-011-9239-7
21. Arora KK, Kapila R, Kapila S, et al. Management of Lateral Epicondylitis: A Prospective Comparative Study Comparing the Local Infiltrations of Leucocyte Enriched Platelet-Rich Plasma (L-aPRP), Glucocorticoid and Normal Saline. *Malays Orthop J*. 2022;16(1):58–69. doi: 10.5704/MOJ.2203.009
22. Singh A, Gangwar DS, Singh S. Bone marrow injection: a novel treatment for tennis elbow. *J Nat Sci Biol Med*. 2014;5(2):389–391. doi: 10.4103/0976-9668.136198
23. Connell D, Datir A, Alyas F, Curtis M. Treatment of lateral epicondylitis using skin-derived tenocyte-like cells. *Br J Sports Med*. 2009;43(4):293–298. doi: 10.1136/bjsm.2008.056457
24. Wang A, Mackie K, Breidahl W, et al. Evidence for the durability of autologous tenocyte injection for treatment of chronic resistant lateral epicondylitis: mean 4.5-Year clinical follow-up. *Am J Sports Med*. 2015;43(7):1775–1783. doi: 10.1177/0363546515579185
25. Lee SY, Kim W, Lim C, Chung SG. Treatment of lateral epicondylitis by using allogeneic adipose-derived mesenchymal stem cells: a pilot study. *Stem Cells*. 2015;33(10):2995–3005. doi: 10.1002/stem.2110
26. Khoury M, Tabben M, Rolón AU, et al. Promising improvement of chronic lateral elbow tendinopathy by using adipose derived mesenchymal stromal cells: a pilot study. *J Exp Orthop*. 2021;8(1):6. doi: 10.1186/s40634-020-00320-z
27. Dolmans GH, Werker PM, Hennies HC, et al. Wnt signaling and Dupuytren's disease. *N Engl J Med*. 2011;365(4):307–317. doi: 10.1056/NEJMoa1101029
28. Coleman SR. Structural fat grafting: More than a permanent filler. *Plast Reconstr Surg*. 2006;118(3 Suppl):108S–120S. doi: 10.1097/01.prs.0000234610.81672.e7
29. Hovius SER, Kan HJ, Smit X, et al. Extensive percutaneous aponeurotomy and lipografting: a new treatment for Dupuytren disease. *Plast Reconstr Surg*. 2011;128(1):221–228. doi: 10.1097/PRS.0b013e31821741a
30. Degreeef I. *Therapy-Resisting Dupuytren's Disease: New Perspectives in Adjuvant Treatment (doctoral thesis)*. Leuven, Belgium: Catholic University Leuven; 2009.
31. Elksniņš-Finogejevs A, Vidal L, Peredistijs A. Intra-articular platelet-rich plasma vs corticosteroids in the treatment of moderate knee osteoarthritis: a single-center prospective randomized controlled study with a 1-year follow up. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):257. doi: 10.1186/s13018-020-01753-z
32. Ahmad HS, Farrag SE, Okasha AE, et al. Clinical outcomes are associated with changes in ultrasonographic structural appearance after platelet-rich plasma treatment for knee osteoarthritis. *Int J Rheum Dis*. 2018;21(5):960–966. doi: 10.1111/1756-185X.13315
33. Matas J, Orrego M, Amenabar D, et al. Umbilical Cord-Derived Mesenchymal Stromal Cells (MSCs) for Knee Osteoarthritis: Repeated MSC Dosing Is Superior to a Single MSC Dose and to Hyaluronic Acid in a Controlled Randomized Phase I/II Trial. *Stem Cells Transl Med*. 2019;8(3):215–224. doi: 10.1002/sctm.18-0053
34. Xia T, Yu F, Zhang K, et al. The effectiveness of allogeneic mesenchymal stem cells therapy for knee osteoarthritis in pigs. *Ann Transl Med*. 2018;6(20):404. doi: 10.21037/atm.2018.09.55
35. Dolanmaz D, Saglam M, Inan O, et al. Monitoring Bone Morphogenetic Protein-2 and -7, Soluble Receptor Activator of Nuclear Factor-κB Ligand and Osteoprotegerin Levels in the Peri-

- Implant Sulcular Fluid during the Osseointegration of Hydrophilic-Modified Sandblasted Acid-Etched and Sandblaste. *J Periodont Res*. 2015;50(1):62–73. doi: 10.1111/jre.12182
- 36.** Loibl M, Lang S, Dendl LM, et al. Leukocyte-reduced platelet-rich plasma treatment of basal thumb arthritis: a pilot study. *Biomed Res Int*. 2016;2016:9262909. doi: 10.1155/2016/9262909
- 37.** Malahias MA, Roumeliotis L, Nikolaou VS, et al. Platelet-rich plasma versus corticosteroid intraarticular injections for the treatment of trapeziometacarpal arthritis: a prospective randomized controlled clinical trial. *Cartilage*. 2021;12(1):51–61. doi: 10.1177/1947603518805230
- 38.** Medina-Porqueres I, Martin-Garcia P, Sanz-De Diego S, et al. Platelet-rich plasma for thumb carpometacarpal joint osteoarthritis in a professional pianist: case-based review. *Rheumatol Int*. 2019;39(12):2167–2175. doi: 10.1007/s00296-019-04454-x
- 39.** Haas EM, Eisele A, Arnoldi A, et al. One-year outcomes of intraarticular fat transplantation for thumb carpometacarpal joint osteoarthritis: case review of 99 joints. *Plast Reconstr Surg*. 2020;145(1):151–159. doi: 10.1097/PRS.00000000000006378
- 40.** Herold C, Rennekampff HO, Groddeck R, Allert S. Autologous Fat Transfer for Thumb Carpometacarpal Joint Osteoarthritis: A Prospective Study. *Plast Reconstr Surg*. 2017;140(2):327–335. doi: 10.1097/PRS.00000000000003510
- 41.** Froschauer SM, Holzbauer M, Wenny R, et al. Autologous Fat Transplantation for Thumb Carpometacarpal Joint Osteoarthritis (Liparthroplasty): A Case Series with Two Years of Follow-UP. *J Clin Med*. 2020;10(1):113. doi: 10.3390/jcm10010113
- 42.** Bohr S, Rennekampff HO, Pallua N. Cell-enriched lipoaspirate arthroplasty: a novel approach to first carpometacarpal joint arthritis. *Hand Surg*. 2015;20(3):479–481. doi: 10.1142/S0218810415720259
- 43.** Mayoly A, Witters M, Jouve E, et al. Intra Articular Injection of Autologous Microfat and Platelets-Rich Plasma in the Treatment of Wrist Osteoarthritis: A Pilot Study. *J Clin Med*. 2022;11(19):5786. doi: 10.3390/jcm11195786
- 44.** Cecchi S, Bennet SJ, Arora M. Bone Morphogenetic Protein-7: Review of Signalling and Efficacy in Fracture Healing. *J Orthop Translat*. 2016;4:28–34. doi: 10.1016/j.jot.2015.08.001
- 45.** Bilic R, Simic P, Jelic M, et al. Osteogenic protein-1 (BMP-7) accelerates healing of scaphoid non-union with proximal pole sclerosis. *Int Orthop*. 2006;30(2):128–134. doi: 10.1007/s00264-005-0045-z
- 46.** Jones NF, Brown EE, Mostofi A, et al. Healing of a scaphoid nonunion using human bone morphogenetic protein. *J Hand Surg Am*. 2005;30(3):528–533. doi: 10.1016/j.jhsa.2004.12.005
- 47.** Ablove RH, Abrams SS. The use of BMP-2 and screw exchange in the treatment of scaphoid fracture non-union. *Hand Surg*. 2015;20(1):167–171. doi: 10.1142/S0218810415970023
- 48.** Jones NF, Brown EE, Vogelien E, Urist MR. Bone morphogenetic protein as an adjuvant in the treatment of Kienbock's disease by vascular pedicle implantation. *J Hand Surg Eur*. 2008;33(3):317–321. doi: 10.1177/1753193408090394
- 49.** Rajfer RA, Danoff JR, Metzl JA, Rosenwasser MP. A novel arthroscopic technique utilizing bone morphogenetic protein in the treatment of Kienbock disease. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2013;17(1):2–6. doi: 10.1097/BTH.0b013e3182712ba0
- 50.** Chen X, Jones IA, Park C, Vangness CT. The efficacy of platelet-rich plasma on tendon and ligament healing: a systematic review and meta-analysis with bias assessment. *Am J Sports Med*. 2018;46(8):2020–2032. doi: 10.1177/0363546517743746
- 51.** Haunschild ED, Huddleston HP, Chahla J, et al. Platelet-rich plasma augmentation in meniscal repair surgery: a systematic review of comparative studies. *Arthroscopy*. 2020;36(6):1765–1774. doi: 10.1016/j.arthro.2020.01.038
- 52.** Belk JW, Kraeutler MJ, Thon SG, et al. Augmentation of meniscal repair with platelet-rich plasma: a systematic review of comparative studies. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(6):2325967120926145. doi: 10.1177/2325967120926145
- 53.** Sochacki KR, Safran MR, Abrams GD, et al. Platelet-rich plasma augmentation for isolated arthroscopic meniscal repairs leads to significantly lower failure rates: a systematic review of comparative studies. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(11):2325967120964534. doi: 10.1177/2325967120964534
- 54.** Stachura A, Paskal W, Pawlik W, et al. The Use of Adipose-Derived Stem Cells (ADSCs) and Stromal Vascular Fraction (SVF) in Skin Scar Treatment-A Systematic Review of Clinical Studies. *J Clin Med*. 2021;10(16):3637. doi: 10.3390/jcm10163637
- 55.** Carstens MH, Correa D, Llull R, et al. Subcutaneous reconstruction of hand dorsum and fingers for late sequelae of burn scars using adipose-derived stromal vascular fraction (SVF). *CellR4*. 2015;3(5):e1675.
- 56.** Carstens MH, Pérez M, Briceño H, et al. Treatment of late sequelae of burn scar fibrosis with adi-pose-derived stromal vascular fraction (SVF) cells: A case series. *CellR4*. 2017;5(3):e2404.
- 57.** Azzena B, Mazzoleni F, Abatangelo G, et al. Autologous platelet-rich plasma as an adipocyte in vivo delivery system: case report. *Aesthet Plast Surg*. 2008;32(1):155–158;discussion 159–161. doi: 10.1007/s00266-007-9022-9
- 58.** To K, Crowley C, Lim S-K, Khan WS. Autologous adipose tissue grafting for the management of the painful scar. *Cytotherapy*. 2019;21(11):1151–1160. doi: 10.1016/j.jcyt.2019.08.005
- 59.** Krastev TK, Schop SJ, Hommes J, et al. Autologous fat transfer to treat fibrosis and scar-related conditions: A systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg*. 2020;73(11):2033–2048. doi: 10.1016/j.bjps.2020.08.023
- 60.** Lee JW, Park SH, Lee SJ, et al. Clinical Impact of Highly Condensed Stromal Vascular Fraction Injection in Surgical Management of Depressed and Contracted Scars. *Aesthetic Plast Surg*. 2018;42(6):1689–1698. doi: 10.1007/s00266-018-1216-9
- 61.** Jan SN, Bashir MM, Khan FA, et al. Unfiltered Nanofat Injections Rejuvenate Postburn Scars of Face. *Ann Plast Surg*. 2019;82(1):28–33. doi: 10.1097/SAP.0000000000001631
- 62.** Gümbel D, Ackerl M, Napp M, et al. Retrospective analysis of 56 soft tissue defects treated with one-stage reconstruction using dermal skin substitutes. *J Dtsch Dermatol Ges*. 2016;14(6):595–601. doi: 10.1111/ddg.12874
- 63.** Liu Q, Zhang N, Li Z, He H. Efficacy of autologous platelet-rich plasma gel in the treatment of refractory pressure injuries and its effect on wound healing time and patient quality of life. *Clinics (Sao Paulo)*. 2021;76:e2355. doi: 10.6061/clinics/2021/e2355
- 64.** O'Connell B, Wragg NM, Wilson SL. The use of PRP injections in the management of knee osteoarthritis. *Cell Tissue Res*. 2019;376(2):143–152. doi: 10.1007/s00441-019-02996-x
- 65.** Deng Z, Long ZS, Gong FP, Chen G. The efficacy and safety of platelet-rich plasma in the tendon-exposed wounds: a preliminary study. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):497. doi: 10.1186/s13018-022-03401-0
- 66.** Spartalis E, Tomos P, Konofaos P, et al. The effect of autologous platelet-rich plasma on bronchial stump tissue granulation after

- pneumectomy: experimental study. *ISRN Surg.* 2013;2013:864350. doi: 10.1155/2013/864350
67. Menchisheva Y, Mirzakulova U, Yui R. Use of platelet-rich plasma to facilitate wound healing. *Int Wound J.* 2019;16(2):343–353. doi: 10.1111/iwj.13034
68. Guo SC, Tao SC, Yin WJ, et al. Exosomes derived from platelet-rich plasma promote the re-epithelization of chronic cutaneous wounds via activation of YAP in a diabetic rat model. *Theranostics.* 2017;7(1):81–96. doi: 10.7150/thno.16803
69. Dong C, Sun Y, Qi Y, et al. Effect of Platelet-Rich Plasma Injection on Mild or Moderate Carpal Tunnel Syndrome: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Biomed Res Int.* 2020;2020:5089378. doi: 10.1155/2020/5089378
70. Kim HJ, Park SH. Median nerve injuries caused by carpal tunnel injections. *Korean J Pain.* 2014;27(2):112–117. doi: 10.3344/kjp.2014.27.2.112
71. Ding XG, Li SW, Zheng XM, et al. The effect of platelet-rich plasma on cavernous nerve regeneration in a rat model. *Asian J Androl.* 2009;11(2):215–221. doi: 10.1038/aja.2008.37
72. Cass SP. Ultrasound-Guided Nerve Hydrodissection: What Is it? A Review of the Literature. *Curr Sports Med Rep.* 2016;15(1):20–22. doi: 10.1249/JSR.0000000000000226
73. Senna MK, Shaat RM, Ali AAA. Platelet-rich plasma in treatment of patients with idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clin Rheumatol.* 2019;38(12):3643–3654. doi: 10.1007/s10067-019-04719-7
74. Malahias MA, Nikolaou VS, Johnson EO, et al. Platelet-rich plasma ultrasound-guided injection in the treatment of carpal tunnel syndrome: a placebo-controlled clinical study. *J Tissue Eng Regen Med.* 2018;12(3):e1480–e1488. doi: 10.1002/term.2566
75. Wu YT, Ho TY, Chou YC, et al. Six-month efficacy of platelet-rich plasma for carpal tunnel syndrome: a prospective randomized, single-blind controlled trial. *Sci Rep.* 2017;7(1):94. doi: 10.1038/s41598-017-00224-6
76. Shen YP, Li TY, Chou YC, et al. Comparison of perineural platelet rich plasma and dextrose injections for moderate carpal tunnel syndrome: a prospective randomized, single-blind, head-to-head comparative trial. *J Tissue Eng Regen Med.* 2019;13(11):2009–2017. doi: 10.1002/term.2950
77. Chen SR, Shen YP, Ho TY, et al. One-Year Efficacy of Platelet-Rich Plasma for Moderate-to-Severe Carpal Tunnel Syndrome: A Prospective, Randomized, Double-Blind, Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(5):951–958. doi: 10.1016/j.apmr.2020.12.025
78. Trull-Ahuir C, Sala D, Chismol-Abad J, et al. Efficacy of platelet-rich plasma as an adjuvant to surgical carpal ligament release: a prospective, randomized controlled clinical trial. *Sci Rep.* 2020;10(1):2085. doi: 10.1038/s41598-020-59113-0
79. Kuo YC, Lee CC, Hsieh LF. Ultrasound-guided perineural injection with platelet-rich plasma improved the neurophysiological parameters of carpal tunnel syndrome: a case report. *J Clin Neurosci.* 2017;44:234–236. doi: 10.1016/j.jocn.2017.06.053
80. Chen LC, Ho CW, Sun CH, et al. Ultrasound-guided pulsed radiofrequency for carpal tunnel syndrome: a single-blinded randomized controlled study. *PLoS One.* 2015;10(6):e0129918. doi: 10.1371/journal.pone.0129918
81. Ustün N, Tok F, Yagz AE, et al. Ultrasound-guided vs. Blind Steroid Injections in Carpal Tunnel Syndrome: A Single-Blind Randomized Prospective Study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013;92(11):999–1004. doi: 10.1097/PHM.0b013e31829b4d72
82. Stokvis A, van der Avoort DJ, van Neck JW, et al. Surgical management of neuroma pain: a prospective follow-up study. *Pain.* 2010;151(3):862–869. doi: 10.1016/j.pain.2010.09.032
83. Lutz BS, Ma SF, Chuang DC, et al. Interposition of a pedicle fat flap significantly improves specificity of reinnervation and motor recovery after repair of transected nerves in adjacency in rats. *Plast Reconstr Surg.* 2001;107(1):116–123. doi: 10.1097/00006534-200101000-00017
84. Guo J, Nguyen A, Banyard DA, Fadavi D, et al. Stromal vascular fraction: a regenerative reality? Part 2: mechanisms of regenerative action. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2015;69(2):180–188. doi: 10.1016/j.bjps.2015.10.014
85. Zimmermann S, Fakin RM, Giovanoli P, Calcagni M. Outcome of Stromal Vascular Fraction-Enriched Fat Grafting Compared to Intramuscular Transposition in Painful End-Neuromas of Superficial Radial Nerve: Preliminary Results. *Front Surg.* 2018;5:10. doi: 10.3389/fsurg.2018.00010
86. Calcagni M, Zimmermann S, Scaglioni MF, et al. The novel treatment of SVF-enriched fat grafting for painful end-neuromas of superficial radial nerve. *Microsurgery.* 2018;38(3):264–269. doi: 10.1002/micr.30122
87. Yu T, Xu Y, Ahmad MA, Javed R, et al. Exosomes as a Promising Therapeutic Strategy for Peripheral Nerve Injury. *Curr Neuropharmacol.* 2021;19(12):2141–2151. doi: 10.2174/1570159X19666210203161559
88. Tang BL. Promoting axonal regeneration through exosomes: An update of recent findings on exosomal PTEN and mTOR modifiers. *Brain Res Bull.* 2018;143:123–131. doi: 10.1016/j.brainresbull.2018.10.008
89. Wieringa PA, Gonçalves de Pinho AR, Micera S, et al. Biomimetic architectures for peripheral nerve repair: a review of biofabrication strategies. *Adv Healthc Mater.* 2018;7(8):e1701164. doi: 10.1002/adhm.201701164
90. Panayi AC, Orgill DP. Current use of biological scaffolds in plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(1):209–220. doi: 10.1097/PRS.00000000000005102
91. Li D, Huang S, Yin Z, et al. Increases in miR-124-3p in microglial exosomes confer neuroprotective effects by targeting FIP200-mediated neuronal autophagy following traumatic brain injury. *Neurochem Res.* 2019;44(8):1903–1923. doi: 10.1007/s11064-019-02825-1
92. Ma Z, Wang Y, Li H. Applications of extracellular vesicles in tissue regeneration. *Biomicrofluidics.* 2020;14(1):011501. doi: 10.1063/1.5127077
93. Rao F, Zhang D, Fang T, et al. Exosomes from human gingiva-derived mesenchymal stem cells combined with biodegradable chitin conduits promote rat sciatic nerve Regeneration. *Stem Cells Int.* 2019;2019:2546367. doi: 10.1155/2019/2546367
94. Chen J, Ren S, Duscher D, et al. Exosomes from human adipose-derived stem cells promote sciatic nerve regeneration via optimizing Schwann cell function. *J Cell Physiol.* 2019;234(12):23097–23110. doi: 10.1002/jcp.28873
95. Liu CY, Yin G, Sun YD, et al. Effect of exosomes from adipose-derived stem cells on the apoptosis of Schwann cells in peripheral nerve injury. *CNS Neurosci Ther.* 2020;26(2):189–196. doi: 10.1111/cns.13187
96. Bucan V, Vaslaitis D, Peck CT, et al. Effect of Exosomes from rat adipose-derived mesenchymal stem cells on neurite outgrowth and sciatic nerve regeneration after crush injury. *Mol Neurobiol.* 2019;56(3):1812–1824. doi: 10.1007/s12035-018-1172-z
97. Mohammadi R, Sanaei N, Ahsan S, et al. Repair of nerve defect with chitosan graft supplemented by uncultured characterized

stromal vascular fraction in streptozotocin induced diabetic rats. *Int J Surg.* 2014;12(5):33–40. doi: 10.1016/j.jisu.2013.10.018

98. Erba P, Mantovani C, Kalbermatten DF, et al. Regeneration potential and survival of transplanted undifferentiated adipose tissue-derived stem cells in peripheral nerve conduits. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2010;63(12):e811–e817. doi: 10.1016/j.bjps.2010.08.013

99. Liu G, Cheng Y, Guo S, et al. Transplantation of adipose-derived stem cells for peripheral nerve repair. *Int J Mol Med.* 2011;28(4):565–572. doi: 10.3892/ijmm.2011.725

100. Pappalardo M, Montesano L, Toia F, et al. Immunomodulation in vascularized composite allotransplantation: what is the role for adipose-derived stem cells? *Ann Plast Surg.* 2019;82(2):245–251. doi: 10.1097/SAP.0000000000001763

101. Starnoni M, Pappalardo M, Spinella A, et al. Systemic sclerosis cutaneous expression: Management of skin fibrosis and digital ulcers. *Ann Med Surg (Lond).* 2021;71:102984. doi: 10.1016/j.amsu.2021.102984

102. Pignatti M, Spinella A, Cocchiara E, et al. Autologous Fat Grafting for the Oral and Digital Complications of Systemic Sclerosis: Results of a Prospective Study. *Aesthetic Plast Surg.* 2020;44(5):1820–1832. doi: 10.1007/s00266-020-01848-2

103. Scuderi N, Ceccarelli S, Onesti MG, et al. Human adipose-derived stromal cells for cell-based therapies in the treatment of systemic sclerosis. *Cell Transpl.* 2013;22(5):779–795. doi: 10.3727/096368912X639017

104. Bene MD, Pozzi MR, Rovati L, et al. Autologous fat grafting for scleroderma-induced digital ulcers. An effective technique in patients with systemic sclerosis. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2014;46(4):242–247. doi: 10.1055/s-0034-1376970

105. Granel B, Daumas A, Jouve E, et al. Safety, tolerability and potential efficacy of injection of autologous adipose-derived stromal vascular fraction in the fingers of patients with systemic sclerosis: an open-label phase I trial. *Ann Rheum Dis.* 2015;74(12):2175–2182. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205681

106. Bank J, Fuller SM, Henry GI, Zachary LS. Fat grafting to the hand in patients with Raynaud phenomenon: a novel therapeutic modality. *Plast Reconstr Surg.* 2014;133(5):1109–1118. doi: 10.1097/PRS.000000000000104

107. Jiang J, Xing F, Luo R, Liu M. Effectiveness of Platelet-Rich Plasma for Patients With Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review and meta-Analysis of Current Evidence in Randomized Controlled Trials. *Front Pharmacol.* 2022;13:834213. doi: 10.3389/fphar.2022.834213

ОБ АВТОРАХ

* **Гребень Анастасия Игоревна**, ординатор, младший научный сотрудник; адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1; ORCID: 0000-0002-2423-523X; e-mail: aik-nastya@mail.ru

Ерёмин Петр Серафимович, научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-8832-8470; eLibrary SPIN: 8597-6596; e-mail: ereminps@gmail.com

Бялик Юлия Владимировна, врач травматолог-ортопед; ORCID: 0009-0001-0601-9066; e-mail: yulyabyalik@ya.ru

Костромина Елена Юрьевна, к.б.н., старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-9728-7938; eLibrary SPIN: 5698-7489; e-mail: bioimed07@hotmail.com

Парсаданян Гайк Каренович, врач травматолог-ортопед; ORCID: 0009-0008-7877-8951; e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Марков Павел Александрович, к.б.н., старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-4803-4803; eLibrary SPIN: 7493-5203; e-mail: p.a.markov@mail.ru

Афанасьев Алексей Валерьевич, к.м.н., врач травматолог-ортопед; ORCID: 0009-0000-8645-6292; e-mail: afaled13@mail.ru

Гребень Татьяна Николаевна, главный врач; ORCID: 0000-0002-6001-0804; e-mail: greben72@inbox.ru

AUTHORS INFO

* **Anastasiya I. Greben**, resident, junior researcher; address: 1 Ostrovityanova Str., 117997, Moscow, Russia; ORCID: 0000-0002-2423-523X; e-mail: aik-nastya@mail.ru

Peter S. Eremin, researcher; ORCID: 0000-0001-8832-8470; eLibrary SPIN: 8597-6596; e-mail: ereminps@gmail.com

Juliya V. Byalik, traumatologist-orthopedist; ORCID: 0009-0001-0601-9066; e-mail: yulyabyalik@ya.ru

Elena Yu. Kostromina, Cand. Sci. (Bio.), senior researcher; ORCID: 0000-0002-9728-7938; eLibrary SPIN: 5698-7489; e-mail: bioimed07@hotmail.com

Gajk K. Parsadanyan, traumatologist-orthopedist; ORCID: 0009-0008-7877-8951; e-mail: gaikparsadanyan@yandex.ru

Markov A. Pavel, Cand. Sci. (Bio.), senior researcher; ORCID: 0000-0002-4803-4803; eLibrary SPIN: 7493-5203; e-mail: p.a.markov@mail.ru

Aleksei V. Afanasiev, MD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: 0009-0000-8645-6292; e-mail: afaled13@mail.ru

Tatiana N. Greben, chief medical officer; ORCID: 0000-0002-6001-0804; e-mail: greben72@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author