

ISSN 1028-4427 (Print)
ISSN 2542-131X (Online)

2025

№2 ^{Том}
31

ГЕНИЙ ОРТОПЕДИИ

Научно-теоретический
и практический журнал



Гений Ортопедии

Orthopaedic Genius

Том 31
№ 2
2025

Научно-теоретический и практический журнал
Основан в память академика Г.А. Илизарова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Бурцев А.В. (Россия, Курган) – **главный редактор**
 Аранович А.М. (Россия, Курган) – **заместитель главного редактора**
 Samchukov M.L. (США) – **заместитель главного редактора**
 Баиндурашвили А.Г. (Россия, Санкт-Петербург)
 Борзунов Д.Ю. (Россия, Екатеринбург)
 Волокитина Е.А. (Россия, Екатеринбург)
 Губин А.В. (Россия, Санкт-Петербург)
 Дьячкова Г.В. (Россия, Курган)
 Коновалов Н.А. (Россия, Москва)
 Котельников Г.П. (Россия, Самара)
 Кутепов С.М. (Россия, Екатеринбург)
 Линник С.А. (Россия, Санкт-Петербург)
 Миromanов А.М. (Россия, Чита)
 Попков А.В. (Россия, Курган)
 Попков Д.А. (Россия, Курган)
 Рябых С.О. (Россия, Москва)
 Скрябин Е.Г. (Россия, Тюмень)
 Суфианов А.А. (Россия, Тюмень)
 Тихилов Р.М. (Россия, Санкт-Петербург)
 Birch J.G. (США)
 Catagni M.A. (Италия)
 Chaudhary M.M. (Индия)
 Dubousset J.F. (Франция)
 Glatt V. (США)
 Hosny G.A. (Египет)
 Kirienko A. (Италия)
 Lascombes P. (Швейцария)
 Madan S. (Великобритания)
 Monsell F. (Великобритания)
 Paley D. (США)
 Pinzur M.S. (США)
 Podeszwa D.A. (США)
 Weiss H.-R. (Германия)

Борзунова О.Б. – ответственный секретарь
 Беляева М.А. – технический секретарь

THE EDITORS

A.V. Burtsev (Russia, Kurgan) – **Editor in Chief**
 A.M. Aranovich (Russia, Kurgan) – **Deputy Editor**
 M.L. Samchukov (USA) – **Deputy Editor**
 A.G. Baindurashvili (Russia, St. Petersburg)
 D.Yu. Borzunov (Russia, Ekaterinburg)
 E.A. Volokitina (Russia, Ekaterinburg)
 A.V. Gubin (Russia, St. Petersburg)
 G.V. Diachkova (Russia, Kurgan)
 N.A. Konovalov (Russia, Moscow)
 G.P. Kotel'nikov (Russia, Samara)
 S.M. Kutepov (Russia, Ekaterinburg)
 S.A. Linnik (Russia, St. Petersburg)
 A.M. Miromanov (Russia, Chita)
 A.V. Popkov (Russia, Kurgan)
 D.A. Popkov (Russia, Kurgan)
 S.O. Ryabykh (Russia, Moscow)
 E.G. Skryabin (Russia, Tyumen)
 A.A. Sufianov (Russia, Tyumen)
 R.M. Tikhilov (Russia, St. Petersburg)
 J.G. Birch (USA)
 M.A. Catagni (Italy)
 M.M. Chaudhary (India)
 J.F. Dubousset (France)
 V. Glatt (USA)
 G.A. Hosny (Egypt)
 A. Kirienko (Italy)
 P. Lascombes (Switzerland)
 S. Madan (UK)
 F. Monsell (UK)
 D. Paley (USA)
 M.S. Pinzur (USA)
 D.A. Podeszwa (USA)
 H.-R. Weiss (Germany)

O.B. Borzunova – Executive Secretary
 M.A. Beliaeva – Technical Secretary



Учредитель и издатель журнала:

**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**



**Издание журнала осуществляется при поддержке
Ассоциации по изучению и применению метода Илизарова России (А.С.А.М.И. Россия)**

Журнал включен в перечень научных специализированных изданий ВАК, в которых могут публиковаться основные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук (3.1.8 – травматология и ортопедия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Журнал включен в библиографические и реферативные базы данных РИНЦ и SCOPUS

Журнал включен в электронные информационные ресурсы базы данных EBSCO

Электронная версия журнала размещена на сайтах

<http://ilizarov-journal.com>

<http://elibrary.ru>

<http://cyberleninka.ru>



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

Адрес: 640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

Телефоны: (3522) 43-06-94 – редакция
(3522) 23-42-60 – реклама

Интернет: <http://ilizarov-journal.com/>

Email: genius@ilizarov.ru

Оригинал-макет изготовлен ОИАиВР ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Язык: русский, английский

Издается 6 раз в год

Цена свободная

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2025

Оригинальные статьи

- Окончательная фиксация открытых переломов большеберцовой кости с использованием кольцевых аппаратов Илизарова — анализ функциональных результатов 143
E. Radhakrishnan, E. Duraisamy
- Лечение детей с политравмой таза методиками малоинвазивного и комбинированного остеосинтеза 153
И.В. Борозда, Р.В. Николаев, М.Ю. Каримов, Ф.Б. Салахитдинов, Ф.А. Машарипов
- Клинико-статистический анализ состояния культей как элемент выявления противопоказаний к протезированию 165
А.В. Пепеляев, А.А. Скоблин
- Сравнительный анализ исходов хирургического лечения пациентов после артрореза и подвешивающей артропластики седловидного сустава 175
А.О. Афанасьев, А.Е. Чижов, Н.В. Абдиба, Л.А. Родоманова
- Факторы риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолями позвоночника 183
Н.С. Заборовский, С.В. Масевнин, В.С. Мураховский, В.С. Мухиддинов, О.А. Смекалёнков, Д.А. Пташников
- Кинематические и кинетические особенности невовлеченной конечности при ходьбе у детей со спастической гемиплегией 194
У.Ф. Мамедов, Т.И. Долганова, Л.В. Смолькова, А.О. Трофимов, О.И. Гатамов, Д.А. Попков
- Этиология инфекционного спондилодисцита: есть ли связь с успехом лечения 202
Л.В. Любимова, Е.А. Любимов, С.И. Павлова
- Способ прогнозирования исхода оперативного лечения пациентов с контрактурой Дюпюитрена на основе показателей лейкоформулы 210
Н.А. Щудло, Л.И. Сбродова, Д.А. Останина
- Зависимость уровня сывороточного прокальцитонина от микрофлоры в очаге инфекции при хроническом остеомиелите 218
И.В. Шипицына, Е.В. Осипова, А.Л. Шастов
- Экспериментальная оценка свойств костнозамещающих материалов на основе $Ca_3(PO_4)_2$ на модели критического дефекта бедренной кости крысы 226
И.М. Щербаков, П.В. Евдокимов, Д.С. Ларионов, В.И. Путляев, Г.А. Шипунов, Н.В. Данилова, А.Ю. Ефименко, Е.С. Новоселецкая, В.Э. Дубров
- Прогнозирование нарушения консолидации переломов длинных костей конечностей с помощью нейросетевого анализа 237
А.М. Мироманов, К.А. Гусев, А.Н. Старосельников, В.А. Мудров
- Диагностическое значение интерлейкина-6 и тимидинфосфорилазы в прогрессировании остеосаркомы 245
В.А. Abdul Azeez, G.S. Abd Alhussain, R.S. Salman, A.A. Al-Fahham

Обзоры литературы

- Антиротационный штифт для проксимального отдела бедра против биполярной гемиартропластики при межвертельных переломах: метаанализ 252
I.G.A.D. Damara, N.S.N. Wijaya, I.W.S. Dusak

Некролог

- Анатолий Григорьевич Каплунов (12.11.1936 – 16.03.2025) 263

Original Articles

Definitive fixation of open tibial fractures using the Ilizarov ring fixator: an analysis of functional outcomes	143
<i>E. Radhakrishnan, E. Duraisamy</i>	
Treatment of children with pelvic polytrauma with minimally invasive and combined osteosynthesis techniques	153
<i>I.V. Borozda, R.V. Nikolaev, M.Yu. Karimov, F.B. Salakhiddinov, F.A. Mashripov</i>	
Clinical and statistical stump characteristics for identifying contraindications to prosthesis	165
<i>A.V. Pepeliaev, A.A. Skoblin</i>	
Comparative analysis of surgical outcomes of arthrodesis and suspension arthroplasty of the saddle joint	175
<i>A.O. Afanasyev, A.E. Chizhov, N.V. Abdiba, L.A. Rodomanova</i>	
Risk factors for hardware failure after total spondylectomy in patients with spinal tumors	183
<i>N.S. Zaborovskii, S.V. Masevnin, V.S. Murakhovsky, R.A. Mukhiddinov, O.A. Smekalyonkov, D.A. Ptashnikov</i>	
Kinematic and kinetic features of an unaffected limb during walking in children with spastic hemiplegia	194
<i>U.F. Mamedov, T.I. Dolganova, L.V. Smolkova, A.O. Trofimov, O.I. Gatamov, D.A. Popkov</i>	
Etiology of infectious spondylodiscitis: is there an associaton with successful treatment?	202
<i>L.V. Lyubimova, E.A. Lyubimov, S.I. Pavlova</i>	
Method of predicting the outcome of surgical treatment in Dupuytren's contractur based on leukocyte formula indices	210
<i>N.A. Shchudlo, L.I. Sbrodova, D.A. Ostanina</i>	
Dependence of serum procalcitonin level on microflora in the infection site in chronic osteomyelitis	218
<i>I.V. Shipitsyna, E.V. Osipova, A.L. Shastov</i>	
Experimental evaluation of $Ca_3(PO_4)_2$ based bone substitutes using rat femoral defect models	226
<i>I.M. Shcherbakov, P.V. Evdokimov, D.S. Larionov, V.I. Putlayev, G.A. Shipunov, N.V. Danilova, A.Yu. Efimenko, E.S. Novoseletskaya, V.E. Dubrov</i>	
Prediction of impaired consolidation of limb long-bone fractures using neural network analysis	237
<i>A.M. Miromanov, K.A. Gusev, A.N. Staroselnikov, V.A. Mudrov</i>	
The diagnostic value of IL-6 and thymidine phosphorylase in the progression of osteosarcoma	245
<i>B.A. Abdul Azeez, G.S. Abd Alhussain, R.S. Salman, A.A. Al-Fahham</i>	

Literature reviews

Proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fractures: a meta-analysis	252
<i>I.G.A.D. Damara, N.S.N. Wijaya, I.W.S. Dusak</i>	

Obituary

Anatoly Grigorievich Kaplunov (11.12.1936 – 03.16.2025)	263
---	-----

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-143-152>

Definitive fixation of open tibial fractures using the Ilizarov ring fixator: an analysis of functional outcomes

E. Radhakrishnan[✉], E. Duraisamy

Government Chengalpattu Medical College, Tamilnadu, India

Corresponding author: Ezhilmaran Radhakrishnan, ezhilmars@yahoo.co.in

Abstract

Introduction Open tibial fractures are generally managed by wound debridement and temporary stabilisation with AO external fixators followed by delayed internal fixation provided the soft tissue cover is adequate and there is no infection.

This study **aims** at analysing the factors influencing the outcome of treatment of open tibial fractures using external fixation with Ilizarov ring fixators as definitive method.

Materials and methods Twenty eight patients of both sexes aged more than 18 years who presented with open tibial fractures were included as our study subjects. The open fractures were classified according to Gustilo-Anderson classification of open fractures. Skeletal stabilisation was done either with Ilizarov ring fixators primarily or with AO external fixators in whom within 5 days since the injury the Ilizarov ring fixators were applied after thorough debridement of wounds. Patients were followed up first 4 weeks after the definitive procedure, then after 6 weeks, 3 months, 6 months and 1 year. The results were analysed using Tuckers criteria.

Results We achieved union in 25 patients without infection. Three patients were lost for follow-up. In majority of patients (48 %) union occurred in 24 weeks. In 10 patients we had pin site infections. The functional outcome was studied using Tucker's Criteria according to which 5 patients (20 %) had excellent outcomes, 9 patients (33 %) had good outcomes, 8 patients (29 %) had fair outcomes and 3 (16 %) had poor outcomes.

Discussion Limitation of the present study is the absence of a comparison group, though it was possible because of the nature of the injuries that these patients had while arriving at the trauma care facility. Another limitation is the follow-up period. We followed the patients for one year but if we followed the patents for longer periods we could have assessed the long-term prognosis.

Conclusion The definitive treatment of open tibial fractures especially Type 3B fractures with the Ilizarov Ring Fixator system is found be optimal and cost-effective.

Keywords: open tibial fractures, Ilizarov method, definitive fixation

For citation: Radhakrishnan E, Duraisamy E. Definitive fixation of open tibial fractures using the Ilizarov ring fixator: an analysis of functional outcomes. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):143-152. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-143-152.

Научная статья

УДК 616.718.5-001.514-089.227.84-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-143-152>



Окончательная фиксация открытых переломов большеберцовой кости с использованием кольцевых аппаратов Илизарова — анализ функциональных результатов

E. Radhakrishnan✉, E. Duraisamy

Government Chengalpattu Medical College, Tamilnadu, India

Автор, ответственный за переписку: Ezhilmaran Radhakrishnan, ezhilmars@yahoo.co.in

Аннотация

Введение. При открытых переломах большеберцовой кости обычно применяют первичную хирургическую обработку раны и временную стабилизацию внешними фиксаторами АО с последующей отсроченной внутренней фиксацией при условии адекватного состояния мягких тканей и отсутствия инфекции.

Цель работы — выявление факторов, влияющих на результат лечения пациентов с открытыми переломами большеберцовой кости с использованием внешней фиксации аппаратом Илизарова в качестве окончательного метода.

Материал и методы. В исследование включены 28 пациентов обоих полов в возрасте старше 18 лет с открытыми переломами большеберцовой кости. Открытые переломы систематизировали в соответствии с классификацией открытых переломов Gustilo – Anderson. Скелетную стабилизацию осуществляли либо кольцевыми аппаратами Илизарова, либо наружными фиксаторами АО, которые в течение пяти дней после травмы при тщательной хирургической обработке ран меняли на аппарат Илизарова. Результаты оценивали через 4 недели после окончательной операции, затем через 6 недель, 3 месяца, 6 месяцев и через 1 год. Результаты анализировали с использованием критериев Tuckers.

Результаты. Сращение без инфекции достигнуто у 25 пациентов. Три пациента исключены из последующего наблюдения. У большинства пациентов (48 %) сращение произошло через 24 недели. У 10 пациентов возникла спицевая инфекция в месте установки. Функциональный результат изучали с использованием критериев Tuckers, согласно которым у 5 пациентов (20 %) результат оценен как отличный, у 9 пациентов (33 %) — хороший, у 8 пациентов (29 %) — удовлетворительный и у 3 (16 %) — плохой.

Обсуждение. Ограничениями данного исследования являются отсутствие группы сравнения и недостаточно длительный период наблюдения за пациентами (в течение одного года).

Заключение. Окончательная фиксация открытых переломов большеберцовой кости, особенно переломов типа 3B, аппаратом Илизарова является оптимальным и экономически эффективным методом лечения.

Ключевые слова: открытые переломы большеберцовой кости, метод Илизарова, окончательная фиксация

Для цитирования: Radhakrishnan E., Duraisamy E. Окончательная фиксация открытых переломов большеберцовой кости с использованием кольцевых аппаратов Илизарова — анализ функциональных результатов. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):143-152. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-143-152.

INTRODUCTION

With the increase in the number of automobiles and national highways, India ranks number two in the list of road traffic accidents among 207 countries as per World Road Statistics 2020 published by the International Road Federation in Geneva. In 2021, India recorded a mammoth 412,432 road traffic accidents. Tamilnadu, a state in the southern India where our hospital is located, recorded the highest number of road accidents in 2021 (55,680) among all the Indian states. This resulted in a greater number of open tibial fractures presented to the Emergency Department of hospitals across the state of Tamilnadu as tibia is the most common long bone fractured in humans and the least soft tissue coverage makes open fractures common in tibia. Hence it is needed to have an optimal and a cost-effective protocol to address these injuries. Though closed tibial fractures are commonly managed by internal fixation methods, there are no clear cut standard guidelines regarding management of open tibial fractures especially Type 3 injuries.

These fractures are generally managed by wound debridement and temporary stabilisation with AO external fixators followed by delayed internal fixation provided the soft tissue cover is adequate and there is no infection. The deep infection rate might be as high as 17 %, delayed union rate 14 % and the need for secondary bone grafting 17 % even if this protocol was followed [1]. Pin-site infection would preclude the use of intramedullary nail in tibial fractures following the use of AO external fixators [2]. There is a need to devise an optimal management protocol in the management of open tibial fractures so that the morbidity they cause decreases and the cost-effectiveness increases. This is more relevant in countries like ours where much of the healthcare costs are borne by the state and the chance of patients having adequate insurance cover is low. Hence this study aims at analysing the factors influencing the outcome of treatment of open tibial fractures using external fixation with Ilizarov ring fixators as definitive method using Tucker's criteria [3].

METHODOLOGY

This prospective study was conducted in the Fracture Clinic of the Department Of Orthopaedic Surgery, Govt Royapettah Medical College & Hospital, Chennai for a period of two years. The study was started after getting approval from the Institutional ethics committee. Informed consent was obtained from all the participants. A non-random purposive sampling technique was followed to select the study subjects. Patients aged more than 18 years of age of both sexes who presented with open tibial fractures were included as our study subjects. Paediatric patients aged under 18 years and patients with pre-existing malignancies and metabolic bone disorders were excluded from the study. Also patients with fractures older than seven days were excluded from our study.

A total of 28 patients reported to the Emergency Department with open tibial fractures satisfying our inclusion criteria during the above mentioned study period. Three patients were lost for follow-up and so finally 25 patients were studied. ATLS protocol was followed in managing these patients. Open fractures were classified according to Gustilo-Anderson classification of open fractures [4]. Once the patients were hemodynamically stabilised and all the life threatening injuries were addressed radiological examination was carried out and skeletal stabilisation was done either with Ilizarov ring fixators primarily or with AO external fixators after thorough debridement of wounds. In those patients where AO external fixators were used initially, the fractures were revisited within five days and the Ilizarov ring fixator was applied. We followed accepted standards in applying Ilizarov ring fixators. We used a leg holder which we were able to construct using Italian arches, rings and threaded rods to keep the leg off the operation table which made the wires to be easily drilled through the bones and soft tissues (Fig. 1).



Fig. 1. Leg stand

After the fractures were stabilised with Ilizarov Ring Fixators, the patients were encouraged knee and ankle range of motion the next day of surgery. Patients were followed up first at 4 weeks after the definitive procedure, then at 6 weeks, 3 months, 6 months and at 1 year. Pin sites were cared and any pin-site infection

was noted and classified according Checketts-Otterburn Classification [5] (Table 1). Partial weight-bearing was allowed once the wounds settled and progressed to full weight-bearing which depended on presence or absence of associated injuries and condition of the patient (Fig. 2). We considered removal of the fixator once the patient satisfied the clinical criteria of absence of pain at the fracture site at rest as well as on bearing weight with dynamization and radiological criteria of union evidenced by presence of bridging callus in at least three planes at the fracture site.

Table 1

Checketts-Otterburn classification of pin-site infections

Grades	Characteristics of Infection	Management
Grade I*	Slight discharge, Redness around the pins (problem rather than infection)	Improved pin-site care
Grade II*	Redness of the surrounding skin, pus at the pin site, pain and tenderness in the soft tissue	Oral antibiotics, Improved pin-site care
Grade III*	Similar To Grade-II but fail to settle with oral antibiotics and improved pin site care	The affected pin or pins are re-sited and external fixation can be continued
Grade IV#	Severe soft tissue infection involving several pins, sometimes with associated loosening of the pins	External fixation should be abandoned
Grade V#	In addition to the soft tissue infection, in Grade V infections there is involvement of the bone. Radiographs will show areas of osteolysis and possibly sequestrum formation	External fixation should be abandoned
Grade VI#	These infections occur after fixator removal. The pin track heals initially, but will subsequently break down and discharge at intervals. Radiographs shows new bone formation and sometimes sequestra	Curettage of pin track

* – minor infections; # – major infections.



Fig. 2. Weight-bearing measure

RESULTS

Twenty-five patients that fulfilled the inclusion criteria were included in our study, of which 22 patients (88 %) were males and only 3 patients (12 %) were females. Most of the patients were in their fourth decade of their age (48 %). The commonest mode of injury was road traffic accidents involving motorcycles (52 %) because most of the working class population in this part of the world generally use motorcycles for their daily commuting. In 72 % of the patients, the right leg was injured and in 22 patients (88 %) both tibia and fibula were fractured and only in 3 patients (12 %) we encountered an isolated tibia fracture. According to Gustilo – Anderson classification we had 13 Type 3A injuries (52 %), 5 Type 3B injuries (20 %), 6 Type 2 injuries (24 %) and only one Type 1 injury (4 %). We didn't encounter Type 3C injuries in our study. Of these 25 patients, only two had intra-articular fractures (8 %). In our study 18 patients (72 %) had comminuted fractures and others were simple fractures. By AO classification of fractures, a majority fell under 42 C 1 (15 %), 42 C 2 (11 %) and 42 C 3 (11 %). Of these 25 patients, in 19 patients the fractures were stabilized temporarily with AO external fixators. This was to achieve hemodynamic stability, to address other injuries in the same patient and to plan for definitive management. In remaining 6 patients, Ilizarov ring fixators were used primarily. Of the 19 patients where AO external fixators had been used initially, the ring

fixator was applied in 12 patients on the third day since injury and in 7 patients on the fourth day since injury. Thus, in all the 25 patients the ring fixator was applied within 5 days after injury. In 10 patients we had pin-site infections (Fig. 3, Table 2) which were managed appropriately and during the course of management pin removal and insertion at a different position was needed in 52 % of the fractures for want of flap cover. All patients were able to flex the knee up to 90 degrees as beyond that point the proximal most rings hindered any further movement (Fig. 4). One patient (4 %) had equinus contracture at the ankle which was corrected with physical therapy. At 8 weeks, 18 patients were able to bear full weight on the injured limb. We noticed that with proper education and motivation patients tolerate the fixator and were willing to carry on their routine activities with the fixator (Fig. 5).

Table 2

Pin-Site Infections Managed

Grade	I	II	III	IV	V	VI
Number of Pin-Site Infected	2	5	3	Nil	Nil	Nil



Fig. 3. Pin-site infection



Fig. 4. 90° flexion with fixator on



Fig. 5. Patient feels comfortable with fixator

We achieved union in all the 25 patients without infection (Table 3). In majority of patients (48 %), union occurred after 24 weeks. The signs of clinical union appeared 4 weeks earlier than radiological union. We considered the probability of delayed union when no signs of union were noted radiologically even after 24 weeks since injury. This situation happened in 5 patients, and in 2 patients where diaphyseal fracture site non-union occurred, we did bone grafting following the standard procedure. Two patients needed bone marrow injection alone in metaphyseal fracture non-union. In one patient, we did excision of the non-union and carried out bone transport after corticotomy at the proximal tibia (Fig. 6). All these 5 fractures united after 48 weeks. We had no non-union or residual/deep infection at the end of 1 year follow-up period but two cases of limb shortening, one had 2.0-cm shortening and the other had 1.5-cm shortening. These were managed with shoe-rise alone and no additional procedure was required. We considered fixator removal once the fracture showed signs of union clinically and radiologically. We removed the fixator at the end of 24 weeks in 12 patients (48 %), 32 weeks in 8 patients (32 %) and 48 weeks in 5 patients (20 %) (Fig. 7–9).

Table 3

Period of Bony Union

S.No.	Period For Union	Noof Fractures	Percentage
1	< 4 weeks	0	0 %
2	4 weeks – 6 weeks	1	4 %
3	6 weeks – 3 months	7	28 %
4	3 months – 6 months	12	48 %
5	6 months – 1 year	5	20 %

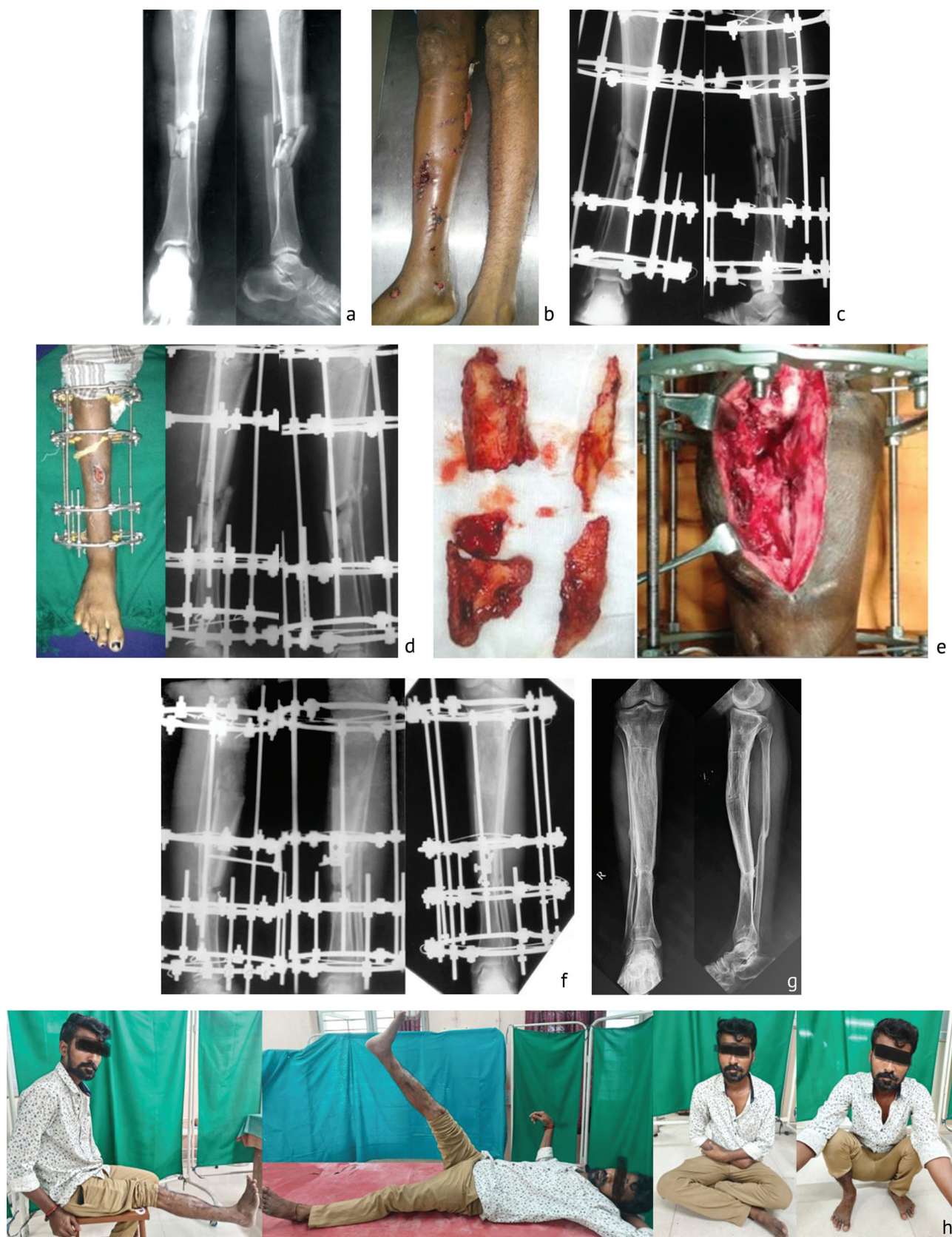


Fig. 6. Patient 1: a — segmental comminuted fracture, day 1; b — condition of the skin at presentation; c — definitive Ilizarov fixation of the fracture; d — patient at 10 weeks — wound open, no signs of union; e — resection of non-union segment; f — corticotomy, distraction, consolidation; g — X-rays AP and lateral views post-fixator removal (well united and consolidated); h — clinical outcome — patient is comfortable in sitting cross-legged and squatting

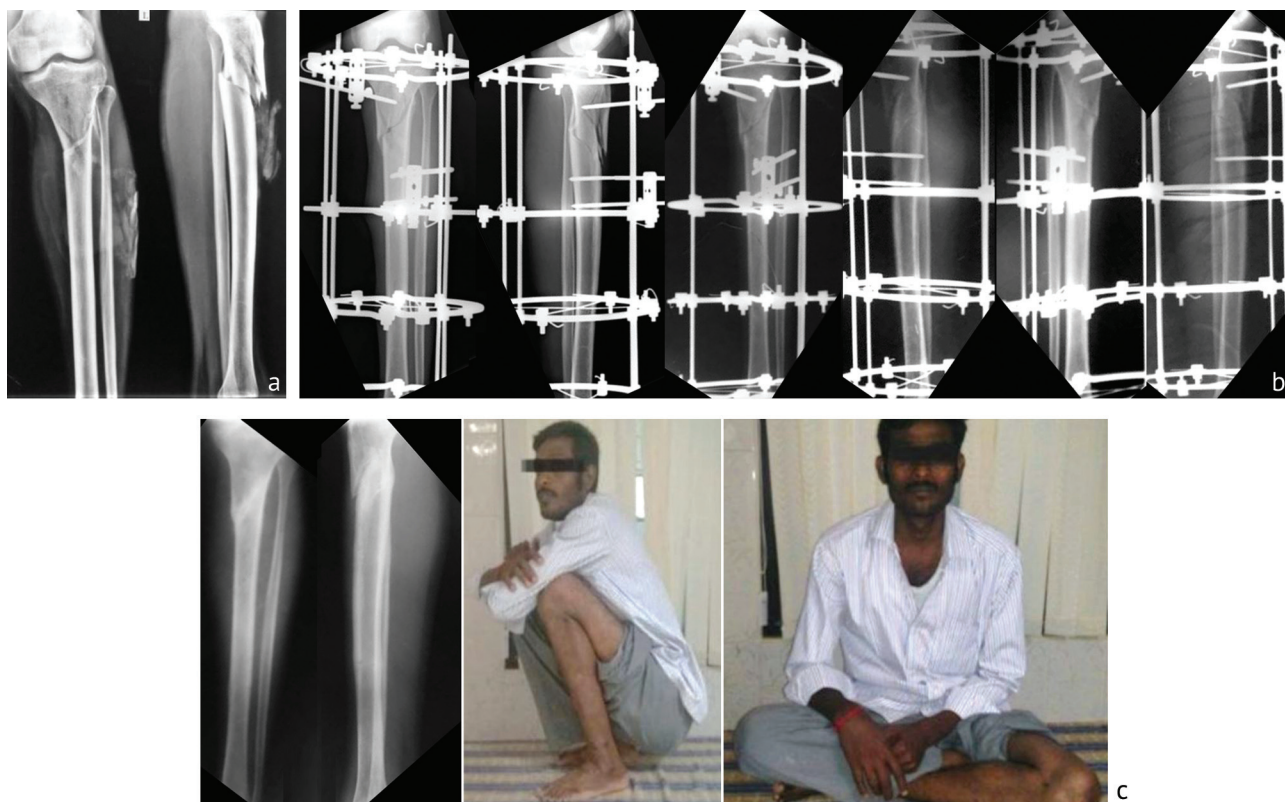


Fig. 7. Patient 2 with comminuted proximal left tibia fracture: a — X ray AP and lateral views; b — post-operative X rays (from left to right — 1st month AP view; 1st month lateral view; 3rd month AP view; 3rd month lateral view; 6th month AP view; 6th month lateral view); c — X ray and photo of the patient after 8 months (patient could squat and sit cross-legged)

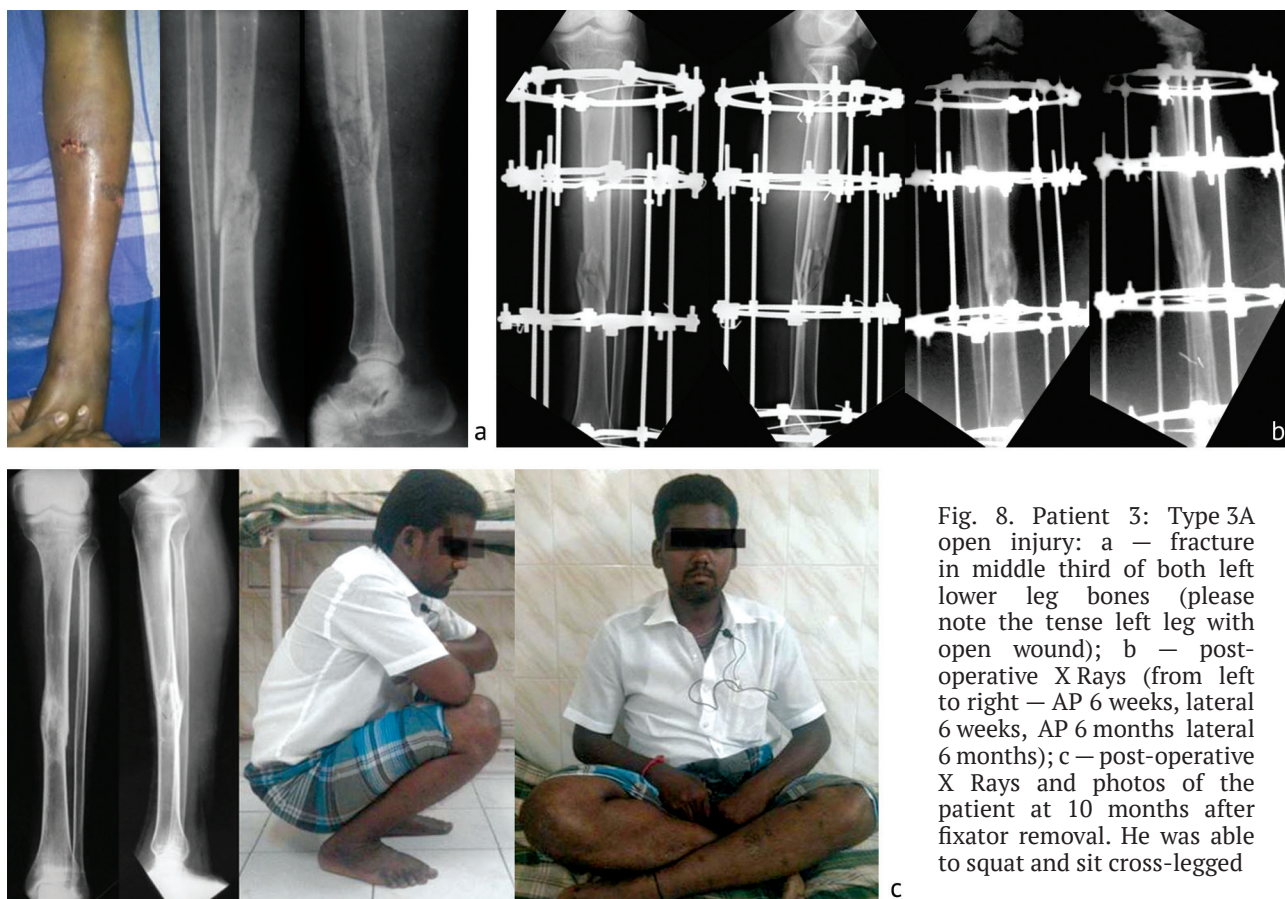


Fig. 8. Patient 3: Type 3A open injury: a — fracture in middle third of both left lower leg bones (please note the tense left leg with open wound); b — post-operative X Rays (from left to right — AP 6 weeks, lateral 6 weeks, AP 6 months lateral 6 months); c — post-operative X Rays and photos of the patient at 10 months after fixator removal. He was able to squat and sit cross-legged

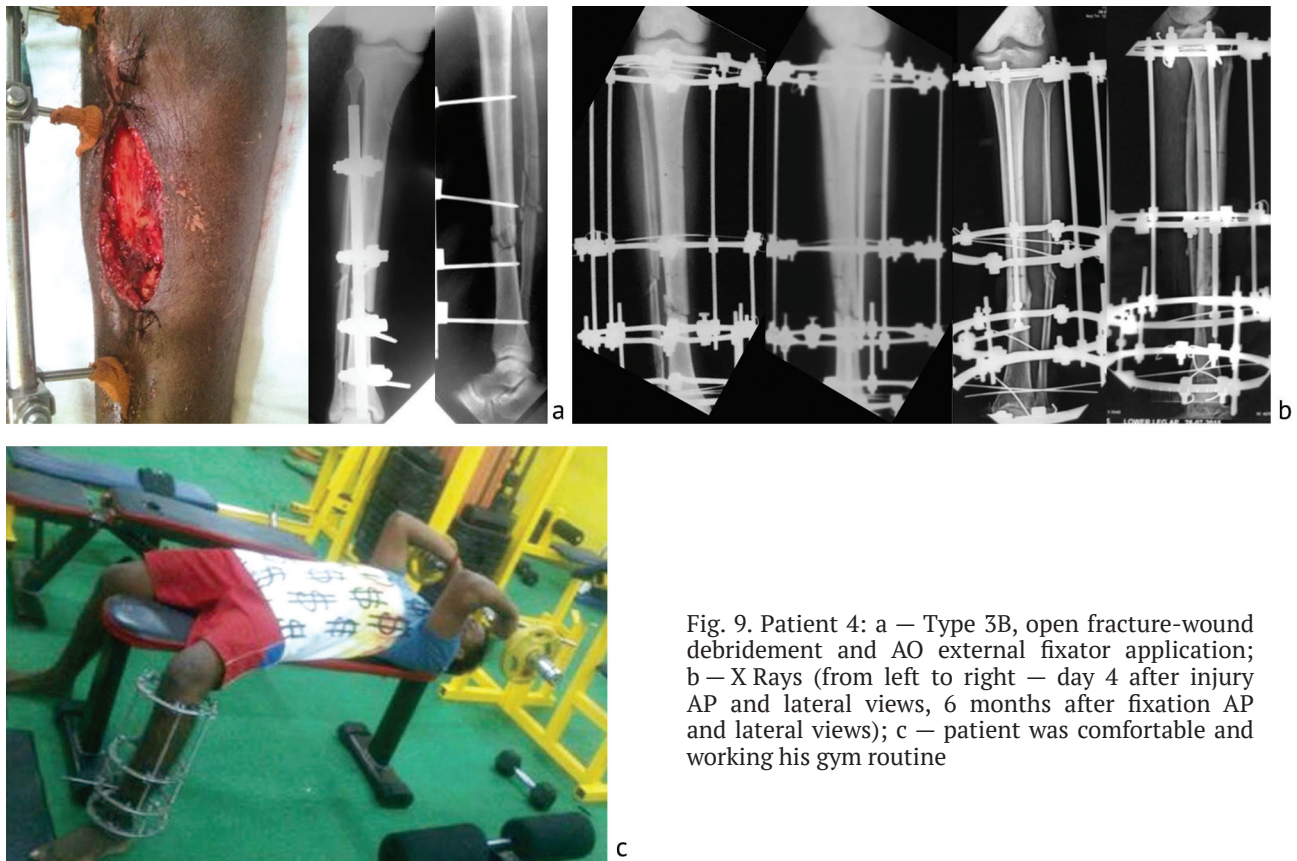


Fig. 9. Patient 4: a — Type 3B, open fracture-wound debridement and AO external fixator application; b — X Rays (from left to right — day 4 after injury AP and lateral views, 6 months after fixation AP and lateral views); c — patient was comfortable and working his gym routine

The functional outcome was studied using Tucker's Criteria (Box 1) according to which 5 patients (20 %) had excellent outcome, 9 patients (33 %) had good outcome, 8 patients (29 %) had fair outcome and 3 (16 %) had poor outcome (Table 4).

Box 1

Tucker's Criteria

Excellent: Fracture union plus full knee extension with 125° knee flexion and 75 % of ankle motion when compared to normal side(if both sides are involved ankle motion above neutral with 30° flexion, no limb length discrepancy greater than 1 cm, angulation not greater than 7° in any plane, rotation not greater than 15° and no infection.

Good: Fracture union with one criteria missing

Fair: Fracture union with two criteria missing

Poor: Fracture union with three criteria missing

Table 4

Functional Outcome using Tucker's Criteria

S. No	Outcome	No of cases	Percentage
1	Excellent	5	20.52 %
2	Good	9	33.33 %
3	Fair	8	29.63 %
4	Poor	3	16.52 %

DISCUSSION

The development of highways along with availability of high performance motor vehicles and rapidly increasing number of motor cycle users with general lack of awareness about road rules result in high velocity injuries in fast developing nations like India. Most of the available literature on open tibial fractures

reveals a male preponderance in the age group of 30–40 years similar to our study [6, 7, 8, 9]. In general, the mainstay of management of open fractures is thorough debridement the principles of which were laid by Desault and Larry [10, 11] which are still relevant today. We did thorough debridement of all the wounds before stabilising the fractures regardless of whether we used AO or ring fixators primarily. A general protocol that is followed across many centres in management of open tibial fractures is thorough debridement, early antibiotics (within 1–3 hours since injury), hemodynamic stabilisation, primary internal fixation with intramedullary nails or temporary stabilisation with AO external fixators followed by secondary internal fixation with intramedullary nailing [12, 13, 14]. Complications like deep infection, delayed union and need for bone grafting is high even if this regimen is followed strictly [1]. Plate fixation in open tibial fractures did not yield favourable results in the past [15]. Limb Reconstruction System (LRS) was studied in open tibial fractures. M.Y. Patil et al. studied 54 patients with Type 3A and Type 3B open tibial fractures who were managed with LRS and stated that LRS was a simple and easy system which could be used for all open tibial fractures but cautioned that their study was limited as it did not have a control group [16]. In our view the LRS, though offers stability and provision of bone transport, is costly and not versatile as it would be difficult with LRS to achieve compression of fracture fragments in comminuted fractures. These would be possible with the Ilizarov ring fixator using drop wires and posts. The Ilizarov ring fixator shows optimal biomechanical properties such as low axial stiffness on axial loading and high axial stiffness to bending loading which promote bone healing [17]. It has axial elasticity and is inherently dynamic. Conventional large pin fixators and LRS could be dynamized but jamming of telescopic rods is often a problem since they are not inherently dynamic. Not many studies are there regarding the use of Ilizarov ring fixators in definitive management of open tibial fractures. N. Wani et al. in their study of 60 patients with Type 2, Type 3A and Type 3B open fractures of the tibia concluded that the Ilizarov external fixator could be recommended as primary modality of fixation in open tibial fractures despite technical difficulties and possible of pin-site infection [18]. The most common complication in their study was pin site-infection (32 patients). We had pin site-infection in 10 patients that were managed appropriately.

The principle of distraction histogenesis could be used to treat soft tissue defects simultaneously while addressing the bone problem. In their series of 34 patients with open tibial fractures treated primarily and definitively with the Ilizarov ring fixator, G. Hosny and M. Fadel used soft tissue distraction system successfully in four patients [19]. In open tibial fractures without bone loss or infection its advantages are less tissue trauma and minimal or no surgical bleeding unlike with the use of internal fixation methods. The Ilizarov method allows the surgeon to treat bone loss and infection simultaneously [20]. In the presence of diaphyseal bone defect with infection the Ilizarov method offers good results [21]. Fortunately, in our study we did not have infected diaphyseal bone defects. Bone defects might be treated with alternative methods like vascularised fibular grafts, free fibular transfers or Papineau technique [22, 23] but these methods need prolonged pre- and post-procedure antibiotic therapy, no mechanism to correct deformities and do not allow the patient to bear weight during treatment. Even though bony union might be achieved by alternative methods, the bone that is formed needs years of remodelling to get the biomechanical structure and radiological appearance as that one formed by bone transport using Ilizarov distraction histogenesis. In our series we had one patient who needed a corticotomy and bone transport to achieve bone union. The mean time of bone union ranged from 21 weeks to 34 weeks in most of the series [18, 19, 20, 21] which is comparable to the present study.

Limitation of the present study is the absence of a comparison group, though it was possible because of the nature of the injuries that the patients had while arriving at the trauma care facility. Another limitation is the follow-up period, we followed the patients for one year but if we followed the patents for longer periods we could have assessed the long-term prognosis.

CONCLUSION

The definitive treatment of open tibial fractures especially Type 3B fractures with the Ilizarov Ring Fixator system is found to be optimal and cost-effective. The Ilizarov Ring Fixator is a versatile tool which allows the orthopaedic surgeon to treat fracture, infection and bone loss simultaneously. Since it is inherently dynamic, weight-bearing is possible even during the treatment period. It yields excellent and good results in the conditions where internal fixation methods would be counterproductive.

Conflicts of Interest None.

Funding None.

REFERENCES

1. Giannoudis PV, Papakostidis C, Roberts C. A review of the management of open fractures of the tibia and femur. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(3):281–289. doi: 10.1302/0301-620X.88B3.16465.
2. Maurer DJ, Merkow RL, Gustilo RB. Infection after intramedullary nailing of severe open tibial fractures initially treated with external fixation. *J Bone Joint Surg Am.* 1989 Jul;71(6):835–838.
3. Tucker HL, Kendra JC, Kinnebrew TE. Management of unstable open and closed tibial fractures using the Ilizarov method. *Clin Orthop*

- Relat Res.* 1992 Jul;(280):125-135.
4. Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(4):453-458.
 5. Checketts RG, MacEachern AG, Otterburn M. Pin Track Infection and the Principles of Pin Site Care. In: De Bastiani G, Apley AG, Goldberg A. (eds.) *Orthofix External Fixation in Trauma and Orthopaedics*. London: Springer; 2000:97-103. doi: 10.1007/978-1-4471-0691-3_11.
 6. Rajasekaran S, Naresh Babu J, Dheenadhyalan J, et al. A score for predicting salvage and outcome in Gustilo type-IIIA and type-IIIB open tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(10):1351-1360. doi: 10.1302/0301-620X.88B10.17631.
 7. Court-Brown CM, Bugler KE, Clement ND, et al. The epidemiology of open fractures in adults. A 15-year review. *Injury.* 2012;43(6):891-897. doi: 10.1016/j.injury.2011.12.007.
 8. Winkler D, Goudie ST, Court-Brown CM. The changing epidemiology of open fractures in vehicle occupants, pedestrians, motorcyclists and cyclists. *Injury.* 2018;49(2):208-212. doi: 10.1016/j.injury.2017.11.009.
 9. Nicolaides M, Pafitanis G, Vris A. Open tibial fractures: An overview. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;20:101483. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101483.
 10. Harkness J. *The History of Management of Open Fractures. Papers Presented to the Innominate Society of Louisville.* 2009. Available from: <http://www.innominate.com/Articles/The%20History%20of%20Management%20of%20Open%20Fractures.htm>. Accessed Nov 4, 2024.
 11. Poletti FL, Macmull S, Mushtaq N, Mobasheri R. Current concepts and principles in open tibial fractures - part i historical background and classification system. *MOJ Orthop Rheumatol.* 2017;8(2):14-12. doi: 10.15406/mojor.2017.08.00304.
 12. Bhandari M, Guyatt GH, Tornetta P 3rd, et al. Current practice in the intramedullary nailing of tibial shaft fractures: an international survey. *J Trauma.* 2002;53(4):725-732. doi: 10.1097/00005373-200210000-00018.
 13. Cross WW 3rd, Swiontkowski MF. Treatment principles in the management of open fractures. *Indian J Orthop.* 2008;42(4):377-386. doi: 10.4103/0019-5413.43373.
 14. Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, et al. *Standards for the management of open fractures of the lower limb.* Royal Society of Medicine Press Publ.; 2009:97.
 15. Clifford RP, Beauchamp CG, Kellam JF, et al. Plate fixation of open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(4):644-648. doi: 10.1302/0301-620X.70B4.3403616.
 16. Patil MY, Gupta SM, Kurupati SK, et al. Definitive Management of Open Tibia Fractures Using Limb Reconstruction System. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(7):RC01-RC04. doi: 10.7860/JCDR/2016/17978.8124.
 17. Paley D. Biomechanics of the Ilizarov external fixator. In: Bianchi-Maiocchi A, Aronsen J (eds). *Operative Principles of Ilizarov.* Baltimore: Williams & Wilkins; 1991:33-41.
 18. Wani N, Baba A, Kangoo K, Mir M. Role of early Ilizarov ring fixator in the definitive management of type II, IIIA and IIIB open tibial shaft fractures. *Int Orthop.* 2011;35(6):915-923. doi: 10.1007/s00264-010-1023-7.
 19. Hosny G, Fadel M. Ilizarov external fixator for open fractures of the tibial shaft. *Int Orthop.* 2003;27(5):303-306. doi: 10.1007/s00264-003-0476-3.
 20. Hasankhani E, Payvandi MT, Birjandinejad A. The Ilizarov ring external fixator in complex open fractures of the tibia. *Eur J Trauma.* 2006;32:63-68. doi: 10.1007/s00068-005-0031-6.
 21. Hosny G, Shawky MS. The treatment of infected non-union of the tibia by compression-distraction techniques using the Ilizarov external fixator. *Int Orthop.* 1998;22(5):298-302. doi: 10.1007/s002640050264.
 22. Banic A, Hertel R. Double vascularized fibulas for reconstruction of large tibial defects. *J Reconstr Microsurg.* 1993;9(6):421-428. doi: 10.1055/s-2007-1006751.
 23. Papineau LJ, Alfageme A, Dalcourt JP, Pilon L. Chronic osteomyelitis: open excision and grafting after saucerization (author's transl). *Int Orthop.* 1979;3(3):165-76. (In French) doi: 10.1007/BF00265708.

The article was submitted 04.04.2023; approved after reviewing 11.09.2023; accepted for publication 21.02.2024.

Статья поступила 04.09.2023; одобрена после рецензирования 11.09.2023; принята к публикации 21.02.2024.

Information about the authors:

Ezhilmaran Radhakrishnan — Senior Assistant Professor, Department of Orthopedic Surgery, ezhilmaras@yahoo.co.in, <https://orcid.org/0000-0002-0181-479X>;

Duraisamy Ezhilmaran — Assistant Professor, Department of Orthopedic Surgery, ezhilmarand@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0229-6312>.

Научная статья

УДК 616.718.19-001-031.14-089.227.84-053.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-153-164>

Лечение детей с политравмой таза методиками малоинвазивного и комбинированного остеосинтеза

И.В. Борозда^{1✉}, Р.В. Николаев², М.Ю. Каримов³, Ф.Б. Салахиддинов³, Ф.А. Машарипов⁴

¹ Амурская государственная медицинская академия, Благовещенск, Россия

² Амурская областная детская клиническая больница, Благовещенск, Россия

³ Ташкентская медицинская академия, Ташкент, Республика Узбекистан

⁴ Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Республика Узбекистан

Автор, ответственный за переписку: Иван Викторович Борозда, bivdok@mail.ru

Аннотация

Введение. Переломы таза у детей — редкие, крайне тяжелые травмы, связанные со значительной угрозой жизни. Поиск новой рациональной тактики оперативного лечения, основанной на комбинации различных малоинвазивных методик остеосинтеза и инструментов для его осуществления, остается актуальным.

Цель работы — оценить результаты этапного лечения и комбинации малоинвазивных методик остеосинтеза в разные периоды травматической болезни у детей с сочетанными и множественными травмами таза.

Материалы и методы. Проведен анализ 48 случаев лечения детей с переломами тазового кольца, получивших сочетанную и множественную травму в 2000–2023 гг. В основную группу включены 23 ребенка, находившихся на лечении в центре детской политравмы Амурской ОДКБ, у которых для противошокового и окончательного остеосинтеза тазового кольца использованы авторские методики и инструменты. В группу сравнения включены 25 больных, получавших лечение в РНЦЭМП (Ташкент). Группа сравнения разделена на три подгруппы в зависимости от метода лечения: консервативное лечение, остеосинтез спицами, остеосинтез аппаратом внешней фиксации (АВФ). Классификацию переломов таза проводили по АО/ASIF, оценку тяжести политравмы — по шкале ISS. Анатомические и функциональные результаты лечения оценивали по методикам И.Л. Шлыкова и S.A. MaJeed.

Результаты. У пациентов основной группы остаточное смещение наблюдали реже на 57,6 %, чем в подгруппе с консервативным лечением, на 32,6 %, чем в подгруппе с остеосинтезом спицами, и на 15,9 %, чем в подгруппе с остеосинтезом АВФ. Функциональный результат лечения больных основной группы достоверно лучше, чем в подгруппах консервативного лечения и остеосинтеза спицами группы сравнения, при отсутствии достоверного различия в сравнении с подгруппой остеосинтеза АВФ.

Обсуждение. Этапное комбинированное лечение с применением разработанных методик и металлоконструкций для остеосинтеза позволяет улучшить репозицию и стабилизацию переломов тазового кольца и достичь хорошего функционального результата. Не все проблемы тазовой хирургии можно решить АВФ, ряд повреждений требует применения погружного остеосинтеза для более точной репозиции. Дезинтегрирующие повреждения таза, сопровождающиеся полной двусторонней нестабильностью, нужно оперировать с использованием временной транспедикулярной фиксации, поскольку альтернативы этому методу не существует.

Заключение. Комбинация внешней фиксации с внутренним остеосинтезом позволяет добиться точной репозиции и надежной стабилизации фрагментов тазового кольца. Этапное оказание специализированной помощи с остановкой внутреннего кровотечения и фиксацией противошоковым аппаратом на первом этапе и окончательной стабилизацией отломков тазового кольца на втором этапе является наиболее рациональным тактическим подходом при политравме у детей. Внешнюю фиксацию можно применять не только как надежную и простую противошоковую фиксацию, но и как метод окончательного остеосинтеза.

Ключевые слова: переломы тазового кольца, травма у детей, множественная и сочетанная травма, damage control orthopedic, аппараты наружной фиксации

Для цитирования: Борозда И.В., Николаев Р.В., Каримов М.Ю., Салахиддинов Ф.Б., Машарипов Ф.А. Лечение детей с политравмой таза методиками малоинвазивного и комбинированного остеосинтеза. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):153-164. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-153-164.



Treatment of children with pelvic polytrauma with minimally invasive and combined osteosynthesis techniques

I.V. Borozda^{1✉}, R.V. Nikolaev², M.Yu. Karimov³, F.B. Salakhiddinov³, F.A. Mashripov⁴

¹ Amur State Medical Academy of the Ministry of Health of Russia Blagoveshchensk, Russian Federation

² Amur State Clinic Hospital of the Ministry of Health of Russia, Blagoveshchensk, Russian Federation

³ Tashkent Medical Academy, Tashkent, Republic of Uzbekistan

⁴ Republican Scientific Center for Emergency Medical Care, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Corresponding author: Ivan V. Borozda, bivdok@mail.ru

Abstract

Introduction Pelvic fractures in children are rare but extremely severe injuries associated with a significant threat to life. The search for new rational tactics of their surgical treatment based on a combination of various minimally invasive osteosynthesis techniques and instruments for its implementation remains relevant.

The **aim** of the work was to evaluate the results of staged treatment and a combination of minimally invasive osteosynthesis techniques at different periods of traumatic disease in children with combined and multiple pelvic injuries.

Materials and methods An analysis of 48 cases of treating pelvic ring fractures in children who sustained combined and multiple injuries within the period of 2000 to 2023 was carried out. The study group included 23 children treated at the pediatric polytrauma center of the Amur Regional Children's Clinical Hospital, in whom the author's methods and instruments were used for anti-shock and final osteosynthesis of the pelvic ring. The comparison group included 25 patients treated at the Republican Scientific Center for Emergency Medical Care (Tashkent). The comparison group was divided into three subgroups based on the treatment method: conservative treatment, osteosynthesis with pins, osteosynthesis with an external fixation device (EFD). Pelvic fractures were classified according to AO/ASIF; the severity of polytrauma was assessed according to the ISS scale. Anatomical and functional treatment results were evaluated using the methods of I.L. Shlykov and S.A. Majeed.

Results In patients of the main study group, residual displacement was observed by 57.6 % less frequently than in the subgroup with conservative treatment, by 32.6 % than in the subgroup with wire osteosynthesis and by 15.9 % than in the subgroup with osteosynthesis with an external fixation device (EFD). The functional treatment result of patients in the main study group was significantly better than in the subgroups of conservative treatment and wire osteosynthesis of the comparison group, with no significant difference when compared with the subgroup of EFD osteosynthesis.

Discussion Staged combined treatment using developed techniques and metal structures for osteosynthesis allows better reduction and stabilization of pelvic ring fractures and achieves good functional results. Not all problems of pelvic surgery can be solved with EFD; a number of injuries require the use of internal osteosynthesis for more accurate reduction. Disintegrating pelvic injuries accompanied by complete bilateral instability should be operated using temporary transpedicular fixation, since there is no alternative to this method.

Conclusion The combination of external fixation with internal osteosynthesis provides accurate reduction and reliable stabilization of pelvic ring fragments. Staged specialized care including internal bleeding arrest and fixation with an anti-shock device at the first stage and final stabilization of pelvic ring fragments at the second stage is the most rational tactical approach to polytrauma in children. External fixation can be used not only as a reliable and simple anti-shock fixation, but also as a method of final osteosynthesis.

Keywords: pelvic ring fractures, paediatric trauma, multiple and combined trauma, damage control orthopaedics, external fixation device

For citation: Borozda IV, Nikolaev RV, Karimov MYu, Salakhiddinov FB, Mashripov FA. Treatment of children with pelvic polytrauma with minimally invasive and combined osteosynthesis techniques. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):153-164. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-153-164.

ВВЕДЕНИЕ

Переломы таза у детей — это редкие, но крайне тяжелые травмы, связанные со значительной угрозой жизни и необходимостью оперативных вмешательств [1]. Анатомически незрелый скелет растущего ребенка обладает повышенной гибкостью при большей амплитуде движений крестцово-подвздошных суставов и лобкового сочленения. К факторам, способствующим общей упругости детского таза, относятся обилие хрящевой ткани, обеспечивающей превосходную амортизацию ударов, и повышенный потенциал ремоделирования [2, 3, 4]. Следовательно, перелом таза у детей является показателем тяжелой, разрушительной травмы, что приводит к повреждениям других систем организма и, соответственно, увеличению смертности.

Как показывают современные исследования, травма таза у детей встречается в 1,6–2 % случаев, при этом наиболее распространенной причиной травм таза являются дорожно-транспортные происшествия [5]. По данным анализа 163 случаев госпитализации B. Michelle et al. [6] выявили, что наиболее распространенной сопутствующей травмой у детей с переломами тазового кольца являются переломы других сегментов опорно-двигательного аппарата (60 %), повреждения паренхиматозных органов брюшной полости (55 %) и органов грудной клетки (48 %), при этом большинство детей (61 %) получило повреждения нескольких органов. Нестабильные переломы таза связаны с повреждениями грудной клетки (70 % против 40 %), сердца (15 % против 2 %) и селезенки (40 % против 18 %), $p < 0,05$. Сопутствующие травмы часто являются причиной таких отдаленных последствий как хроническая боль, сколиоз, сексуальная дисфункция, несоответствие длины ног и даже задержка роста, которые наблюдаются до 30 % случаев переломов таза у детей [7]. В ретроспективном исследовании 29 переломов вертлужной впадины у детей в возрасте от 2 до 16 лет со средним периодом наблюдения 14 лет M. Neeg et al. показали, что у пациентов с центральными вывихами бедра результат был относительно плохим, и только у одного из четырех пациентов, прошедших хирургическое лечение, достигнута конгруэнтность [7]. Исследователи отмечают, что наиболее распространенными осложнениями, зарегистрированными после переломов таза, являются асимметрия таза (9,2 %), хромота (6,0 %) и разница в длине ног (5,0 %) [8]. Хотя переломы таза наблюдаются у сравнительно небольшой части детей с травмами, уровень смертности при них достигает 25 %, что обусловлено в основном сопутствующими повреждениями других органов и систем. При этом смертность у мальчиков на 13 % выше, чем у девочек (18 % против 5 %) [1, 9–14].

Большинство современных авторов сходятся во мнении, что классификации и стратегии лечения, применяемые для взрослых, не применимы к детям из-за различий в физиологии и механизмах повреждения таза [1, 15–17]. Вместе с тем, публикации на данную тему имеют малый объем выборки, ограниченный анализ или просто устарели, что отмечает целый ряд исследователей. Большинство статей основано только на анализе характера и локализации переломов и не содержит данных о сопутствующих травмах, их лечении и исходах [2, 3, 16–21]. Все это приводит к отсутствию четких рекомендаций по ведению и лечению пациентов детского возраста с травмами таза [5, 11]. Поиск новой рациональной тактики оперативного лечения, основанной на комбинации различных малоинвазивных методик остеосинтеза и инструментов для его осуществления, остается актуальным.

Цель работы — оценить результаты этапного лечения и комбинации малоинвазивных методик остеосинтеза в разные периоды травматической болезни у детей с сочетанными и множественными травмами таза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами проанализированы результаты лечения 48 детей, получивших сочетанные и множественные травмы тазового кольца в период с 2000 по 2023 гг.

Критерии включения: возраст пациентов до 17 лет, переломы тазового кольца с нарушением его стабильности — относительно-стабильные и нестабильные по классификации АО/ASIF [22] в сочетании с повреждениями других костей скелета и внутренних органов (множественные и сочетанные повреждения).

На основании проведенного ретроспективного анализа сформированы две клинические группы: основная группа ($n = 23$) и группа сравнения ($n = 25$).

В основную группу клинического исследования включены дети в возрасте от 3 до 17 лет, находившиеся на лечении в центре детской политравмы (ТЦ I уровня) в Амурской областной детской клинической больнице (АОДКБ, Благовещенск). При лечении пациентов использованы авторские методики и инструменты.

Группа сравнения сформирована из больных в возрасте от 5 до 17 лет, которые получали лечение в Республиканском научном центре экстренной медицинской помощи (РНЦЭМП, Ташкент, Республика Узбекистан), и разделена на три подгруппы в зависимости от метода лечения: консервативное лечение ($n = 8$), остеосинтез спицами ($n = 9$), остеосинтез АВФ ($n = 8$).

Временной промежуток исследования начался с 2000 г., когда впервые в означенных выше лечебных учреждениях начали применять чрескостный остеосинтез аппаратами внешней фиксации (АВФ). Данные учреждения являются региональными (республиканскими) центрами оказания специализированной помощи детям, что обеспечило случайный характер формирования исследуемых групп, поскольку всех пациентов, получивших тяжелую травму таза в регионе, доставляли в эти учреждения.

По полу и возрасту основная группа и группа сравнения сформированы однородно и не имеют статистически значимых отличий. Среднее значение возрастных групп составило: в основной — 13,5, а в группе сравнения — 14,4 года ($p > 0,05$) (табл. 1).

В подавляющем большинстве случаев причиной полученных травм стали дорожно-транспортные происшествия (табл. 2).

Таблица 1

Распределение больных по полу и возрасту

Группы пациентов		Пол		Возраст					среднее значение
		муж.	жен.	0–3	4–7	8–11	12–15	16–17	
Основная группа (n = 23)	абс.	14	9	1	2	2	7	11	13,5
	%	60,9	39,1	4,3	8,7	8,7	30,4	47,8	
Группа сравнения (n = 25)	абс.	14	11	–	1	1	8	15	14,4
	%	56	44	–	4	4	32	60	

Таблица 2

Распределение больных в зависимости от травмирующего агента

Обстоятельства травмы	Основная группа ($n = 23$)		Группа сравнения ($n = 25$)	
	абс.	%	абс.	%
Автомобильная травма	19	82,6	22	88
Падение с высоты	3	13,1	2	8
Сдавление	1	4,3	1	4

У всех пациентов основной группы диагностированы закрытые переломы тазового кольца типа В и С по классификации АО/ASIF и переломы вертлужной впадины, сопровождавшиеся травматическим шоком. Повреждения таза дети получили в результате высокоэнергетических травм, преимущественно автомобильной и кататравмы, все эти травмы были сочетанными и множественными (табл. 3). Оценка тяжести полученных травм по шкале ISS составила от 15 до 50 баллов.

У всех больных группы сравнения также диагностированы закрытые переломы тазового кольца типа В и С по классификации АО/ASIF и переломы вертлужной впадины, сопровождавшиеся травматическим шоком (табл. 3).

Таблица 3

Распределение больных в зависимости от вида сопутствующей патологии

Осложнения и сопутствующие повреждения	Вид повреждения таза											
	Относительно-стабильное				Нестабильное				Перелом вертлужной впадины			
	Основная группа ($n = 23$)		Группа сравнения ($n = 25$)		Основная группа ($n = 23$)		Группа сравнения ($n = 25$)		Основная группа ($n = 23$)		Группа сравнения ($n = 25$)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Травматический шок	15	65,2	19	76	8	34,8	6	24	12	52,2	12	48
Переломы других сегментов	1	4,3	3	12	2	8,7	2	8	–		2	8
Черепно-мозговая травма	1	4,3	6	24	3	13,1	4	16	4	17,4	2	8
Травма органов брюшной полости	2	8,7	7	28	7	30,4	7	28	3	13,1	1	4

Пять пациентов основной группы (преимущественно жители областного центра) доставлены в АОДКБ в течение первых трех часов после травмы, 18 больных транспортированы в клинику в сроки от одних суток до двух недель из травматологических центров II уровня. Тактика лечения основана на принципах этапного оказания медицинской помощи в полном соответствии с damage control orthopedic. Всем пациентам в травмоцентре II уровня дежурной бригадой или силами выездной бригады травмоцентра I уровня выполнен протокол ATLS и применена фиксация противошоковыми аппаратами с передней рамой. Затем, после полной стабилизации общего состояния, на шестые–восьмые сутки проводили окончательную репозицию и стабилизацию отломков тазового кольца одной из выбранных методик, согласно разработанному алгоритму (рацпредложение № 1837 от 20.03.2012).

Для противошокового и окончательного остеосинтеза тазового кольца использованы следующие собственные методики и инструменты: устройства для репозиции и фиксации переломов таза [23, 24]; способ комбинированного остеосинтеза нестабильного повреждения таза с разрывом крестцово-подвздошного сочленения [25], способ чрескостного остеосинтеза нестабильного повреждения таза с вертикальным переломом крестца [26], способ чрескостного остеосинтеза нестабильного повреждения таза [27] и чрескостный модуль для репозиции и фиксации задних отделов таза [28]. Остеосинтез крестцово-подвздошного сочленения винтом с фиксацией стержневым аппаратом с передним модулем применен у четырех больных. Трем пациентам выполнена окончательная репозиция и фиксация аппаратом с задним внешним модулем в дополнение к противошоковому аппарату с передней рамой. Остеосинтез перелома вертлужной впадины винтами, как окончательный остеосинтез после конверсии противошокового аппарата с передней внешней рамой, выполнен двум пациентам.

В течение первых трех часов после травмы в РНЦЭМП доставлены 12 пациентов группы сравнения, а 13 пострадавших транспортированы из районных лечебных учреждений в сроки от одних суток до двух недель. Все больные получили высокоэнергетическую травму (автодорожная и кататравма). Оценка тяжести полученных травм по шкале ISS составила от 15 до 50 баллов, как и в случае с пострадавшими основной группы. Восемью пострадавшим детям (32 %) проводили интенсивное противошоковое лечение, остановку внутриполостного кровотечения и стабилизацию отломков тазового кольца скелетным вытяжением вплоть до консолидации переломов (консервативное лечение). Тактика damage control и протокол ATLS применены у 17 пациентов (68 %). Остеосинтез таза аппаратом внешней фиксации с передней рамой выполнен восьми больным (32 %), погружной остеосинтез таза спицами Киршнера (36 %) — девяти больным.

Анатомические и функциональные результаты лечения оценивали по методикам И.Л. Шлыкова [29] и S.A. Majeed [30]. По методике И.Л. Шлыкова оценивали остаточную деформацию (анатомический результат), по методике S.A. Majeed — функциональный результат лечения (за исключением сексуальной дисфункции, так как на момент оценки не все пациенты были совершеннолетними). Таким образом, совмещение этих шкал позволило получить интегративный показатель (общий результат), о котором мы сообщали в более ранних своих исследованиях [31].

Статистический анализ проводили с использованием пакетов прикладных программ Statistica v 12.0. Достоверность различий средних значений оценивали с помощью непараметрического критерия Стьюдента (для независимых выборок). Для оценки показателей выборок вычисляли среднее арифметическое (M) и ошибку средней (m). Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты лечения прослежены в сроки от одного года до 14 лет после травмы (табл. 4). Для оценки анатомического результата лечения использовали анализ наличия и величины остаточного смещения [29]. У пациентов основной группы остаточное смещение выявлено в четырех (17 %) наблюдениях. Средняя величина показателя составила ($5,0 \pm 0,3$) мм.

Таблица 4

Результаты лечения

Результат лечения	Основная группа		Группа сравнения (n = 25)					
			Консервативное лечение		Остеосинтез спицами		Остеосинтез АВФ	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Число пациентов	23	100	8	32	9	36	8	32
Анатомический результат								
Число случаев остаточного смещения	4	17,4	6	75	6	66,6	4	50
Величина остаточного смещения Нср, M ± m, мм	5,0 ± 0,3		9,5 ± 1,1		6,0 ± 0,33		6,0 ± 0,38	
	p _{1,2} < 0,001				p _{1,3} < 0,05		p _{1,4} < 0,05	
Функциональный результат по шкале Majeed (1989)								
Отличный (85–96 баллов)	12	52,2	2	25,0	1	11,1	4	50,0
Хороший (70–84 балла)	6	26,1	–	–	3	33,3	2	25,0
Удовлетворительный (55–69 баллов)	5	21,7	2	25,0	1	11,1	2	25,0
Неудовлетворительный (< 55 баллов)	–	–	4	50,0	4	44,5	–	–
Среднее значение, M ± m, баллы	77,0 ± 2,5		69,0 ± 1,09		70,0 ± 1,33		79,0 ± 2,82	
	p _{1,2} < 0,01				p _{1,3} < 0,05		p _{1,4} > 0,05	
Общий результат								
Хороший	19	82,6	2	25,0	4	44,5	6	75,0
Удовлетворительный	4	17,4	2	25,0	3	33,3	2	25,0
Плохой	–	–	4	50,0	2	22,2	–	–

Примечание: $p_{1,x}$ — значение критерия достоверности различия между показателями в основной группе и группе сравнения

Таким образом, функциональный результат лечения ($77,0 \pm 2,5$) балла у больных основной группы достоверно лучше, чем в подгруппах консервативного лечения, ($69,0 \pm 1,09$) балла ($p_{1,2} < 0,01$), и остеосинтеза спицами группы сравнения, ($70,0 \pm 1,33$) балла ($p_{1,3} < 0,05$), при отсутствии достоверного различия в сравнении с подгруппой остеосинтеза АВФ ($79,0 \pm 2,82$) балла ($p_{1,4} > 0,05$). Следовательно, использование остеосинтеза АВФ в лечении детей с сочетанными травмами таза позволяет получить лучшие функциональные результаты по сравнению с консервативным лечением и остеосинтезом спицами.

В то же время остаточная деформация по окончании лечения выявлена у 16 (64 %) пациентов группы сравнения. Значения этого показателя составили: в подгруппе с консервативным лечением у шести (75 %) пациентов — ($9,5 \pm 1,1$) мм ($p_{1,2} < 0,001$); в подгруппе с остеосинтезом спицами у шести (66,6 %) пациентов — при Нср = ($6,0 \pm 0,33$) мм ($p_{1,3} < 0,05$); в подгруппе с остеосинтезом аппаратом внешней фиксации (АВФ) у четырех пациентов (50 %) — при Нср = ($6,0 \pm 0,38$) мм ($p_{1,4} < 0,05$).

Таким образом, у пациентов основной группы по сравнению с подгруппой с консервативным лечением остаточное смещение наблюдалось реже на 57,6 %, с подгруппой с остеосинтезом спицами — на 32,6 %, с подгруппой с остеосинтезом АВФ — на 15,9 %. Средняя величина остаточного смещения у пациентов основной группы была достоверно меньше, чем у пациентов группы сравнения во всех сравниваемых подгруппах. Следовательно, применение разработанных методик и металлоконструкций для остеосинтеза у пациентов основной группы позволяет добиться более точной репозиции и надежной фиксации переломов таза, чем при применении консервативного лечения и традиционных методов остеосинтеза.

При оценке общего результата лечения у больных основной группы выявлено, что число хороших результатов было на 57,6 % выше, чем у пациентов, которых лечили консервативно, на 38,1 % выше, чем у пациентов с остеосинтезом спицами, и на 7,6 % лучше, чем в подгруппе с остеосинтезом традиционными АВФ. Число удовлетворительных результатов меньше, чем в подгруппах группы сравнения, а плохие результаты у пациентов основной группы и группы сравнения с остеосинтезом АВФ отсутствовали.

У двух пациентов основной группы, получивших тяжелую высокоэнергетическую травму таза в результате падения с высоты пятиэтажного дома (мальчик 15 лет) и наезда трактора (девочка 9 лет), отдаленный результат лечения расценен как удовлетворительный, несмотря на полное восстановление опорно-двигательного аппарата, так как в первом случае оставался неврологический дефицит из-за разрыва корешков крестцового сплетения, а во втором — отдаленные последствия повреждения мочевыводящих путей.

Клинический пример 1 (пациент основной группы)

Пациент 3., 14 лет, получил автодорожную травму: управляя мопедом, допустил столкновение с автомобилем. Первая медицинская помощь оказана бригадой скорой медицинской помощи (СМП). Транспортирован в ЦРБ по месту жительства (травмоцентр II уровня), где при обследовании выявлены повреждение тазового кольца, закрытая черепно-мозговая травма, перелом костей предплечья, тупая травма живота, травматический шок I–II ст. Проведена противошоковая терапия.

Клинический диагноз: Автодорожная тяжёлая сочетанная травма. Закрытый перелом костей таза: перелом верхней ветви левой лонной и седалищной кости без смещения фрагментов, разрыв лонного сочленения со смещением, разрыв крестцово-подвздошного сочленения справа с диастазом в верхнем отделе до 2 см и костными фрагментами (тип С 1.2 по классификации АО). Закрытый перелом правого поперечного отростка L5 со смещением фрагментов. Закрытый перелом средней трети правой лучевой кости со смещением. Тупая травма живота. Закрытая черепно-мозговая травма. Сотрясение головного мозга. Множественные ссадины и ушибы верхних и нижних конечностей, волосистой части головы, туловища. Травматический шок II ст. ISS = 21.

На КТ таза обнаружен разрыв лонного и правого крестцово-подвздошного сочленений с вертикальным смещением правой половины таза, перелом лонной и седалищной костей слева без смещения, перелом правого поперечного отростка L5 со смещением фрагментов (рис. 1, а).

В экстренном порядке через два часа после поступления выполнен остеосинтез противошоковым стержневым АВФ с передней рамой. После стабилизации общего состояния через два дня санитарной авиацией ребёнок доставлен в центр детской политравмы I уровня АОДКБ, где трое суток находился на лечении в реанимационно-анестезиологическом отделении, затем переведен в отделение.

Повторно оперирован в плановом порядке через 10 суток после травмы, выполнен остеосинтез дополнительным задним модулем по собственной методике с целью окончательной репозиции фрагментов таза (рис. 1, б). Курс восстановительного лечения проводили со вторых суток после операции (рис. 2, а).

АВФ демонтировали через восемь недель. Частичную нагрузку на правую ногу разрешили через месяц после операции, полную — через два месяца. Срок лечения больного составил три месяца. Отдаленный результат оценен через год после травмы (рис. 2, б). Общий результат лечения — хороший. Остаточное смещение отсутствует, функциональный результат — 90 баллов по шкале Majeed.

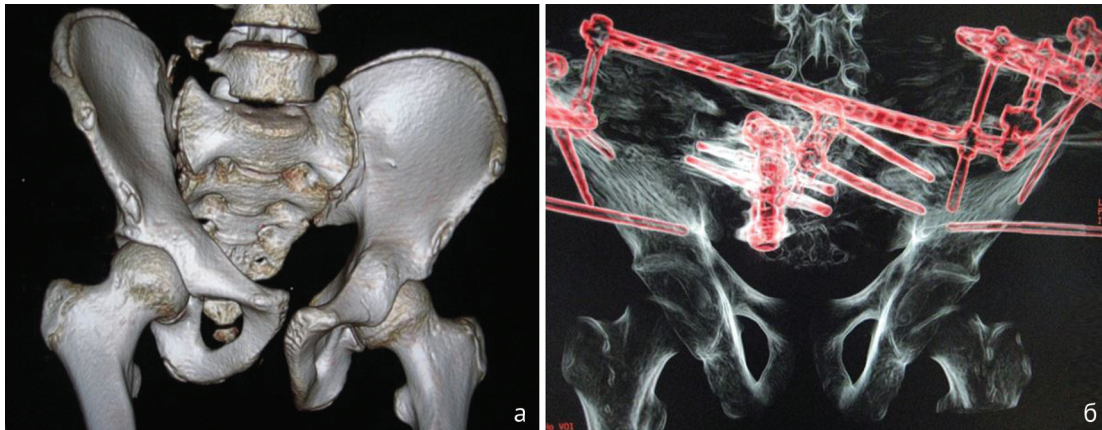


Рис. 1. КТ таза с 3D-реконструкцией: а — разрыв лонного и правого крестцово-подвздошного сочленения, перелом лонной и седалищной костей слева, перелом правого поперечного отростка L5 со смещением фрагментов; б — состояние после окончательного остеосинтеза стержневым АВФ с двумя модулями

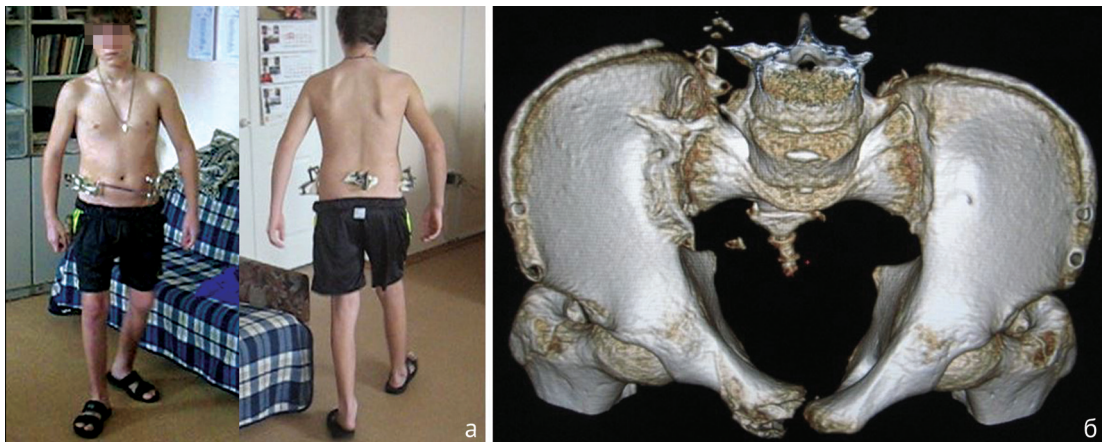


Рис. 2. Результат лечения пациента основной группы: а — фото в процессе лечения, занятия ЛФК; б — КТ таза с 3D-реконструкцией через 1 год после травмы

Клинический пример 2 (пациент основной группы)

Больная С., 5 лет, получила травму в результате падения тяжелого металлического предмета (слесарные тиски) на область таза. Доставлена бригадой СМП в ЦРБ (травмоцентр II уровня) через 30 минут после получения травмы.

Диагноз при поступлении: Тяжёлая сочетанная травма. Открытый нестабильный многооскольчатый перелом лонных и седалищных костей с разрывом лонного и крестцово-подвздошных сочленений (тип В 1 по классификации АО) (рис. 3, а). Размозжение уретры, ранение влагалища, разрыв мочевого пузыря. Травматический шок III ст. ISS = 33.

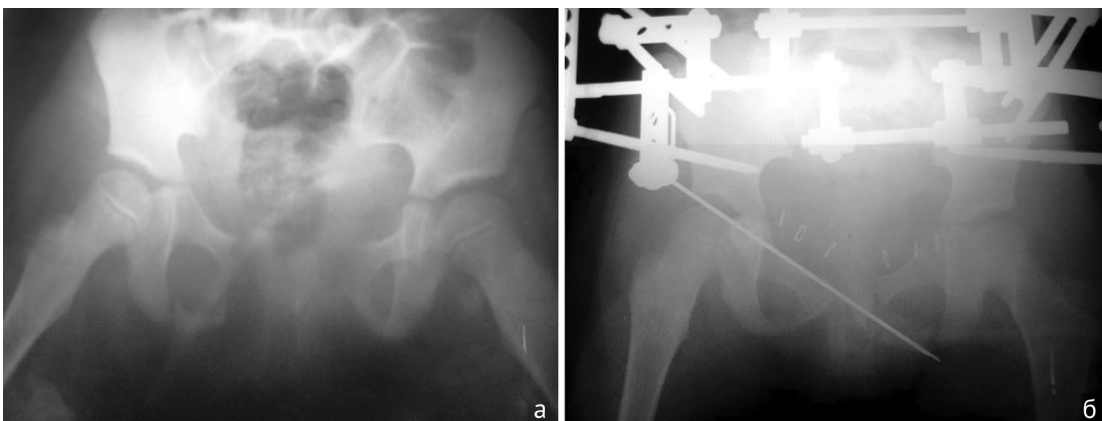


Рис. 3. Рентгенограммы таза: а — при поступлении (прямая проекция, перелом лонных и седалищных костей с разрывом лонного и крестцово-подвздошных сочленений); б — состояние после операции (реконструкция уретры, остеосинтез таза спице-стержневым АВФ)

На фоне проведения противошоковой терапии в экстренном порядке произведено ушивание раны мочевого пузыря, первичная хирургическая обработка раны влагалища, эпицистостомия. Выполнена фиксация скелетным вытяжением. Через двое суток после стабилизации состояния переведена в травмоцентр I уровня (АОДКБ). Оперирована в плановом порядке, на третьи сутки после травмы выполнен остеосинтез таза АВФ и реконструкция уретры (рис. 3, б). Стабилизация АВФ продолжалась в течение четырех недель (рис. 4).

Демонтаж аппарата произведен через четыре недели, после чего проведен курс восстановительного лечения. Восстановление функции произвольного мочеиспускания произошло через три месяца после операции. Срок лечения составил четыре месяца. Отдаленный результат оценен через три года (рис. 5, а) и через 10 лет после травмы (рис. 5, б). Общий результат лечения расценен как хороший. Остаточное смещение отсутствует, функциональный результат — 90 баллов по шкале Majeed.

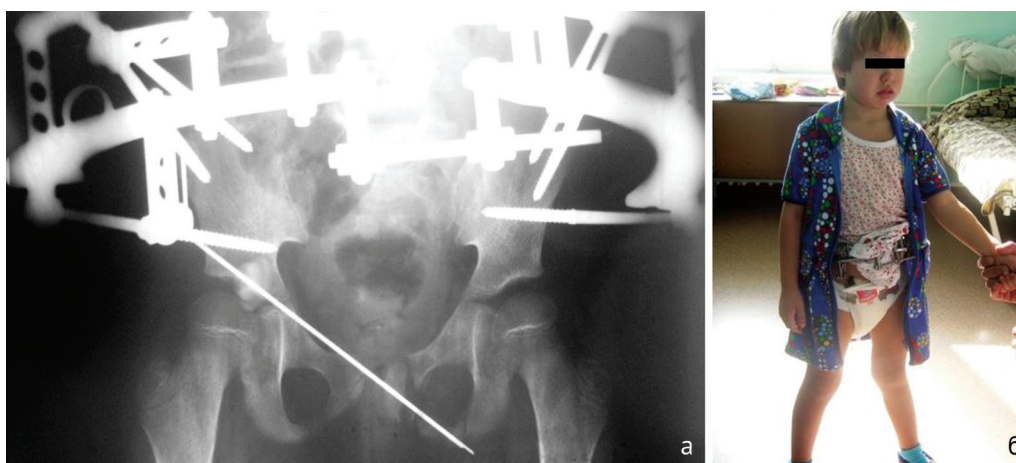


Рис. 4. Пациентка через 4 недели после операции перед демонтажом аппарата внешней фиксации: а — рентгенограмма таза; б — фото в процессе лечения



Рис. 5. Отдаленный результат лечения: а — фото пациентки через 3 года после травмы; б — КТ таза с 3D-реконструкцией через 10 лет после травмы

Клинический пример 3 (пациент группы сравнения)

Пациент Г., 16 лет, придавлен стопкой досок, упавших на область таза. Через 40 минут бригадой СМП доставлен в городское медицинское объединение г. Маргилана. После проведенного обследования выставлен клинический диагноз: Сочетанная травма. Множественные переломы костей таза. Закрытый перелом лонной и седалищной костей с обеих сторон со смещением костных отломков с переходом на дно вертлужных впадин, разрыв симфиза, перелом боковой массы крестца справа с переходом на тела S1,2 (Тип С 1.3 по классификации АО). Полный отрыв мембранозного отдела уретры. Травматический шок I–II ст. ISS = 25 баллов.

На рентгенограмме костей таза — перелом лонной и седалищной костей с обеих сторон со смещением костных отломков с переходом на дно вертлужных впадин с обеих сторон, разрыв симфиза, перелом боковой массы крестца справа с переходом на тела S1,2 (рис. 6, а). На цистографии (при наполненном контрастом мочевом пузыре) мочевой пузырь полностью заполнен, имеет округлую форму, отмечается затёк контраста в проекции мембранозного отдела уретры (рис. 6, б).



Рис. 6. Рентгенограмма таза: а — перелом лонной и седалищной костей с обеих сторон со смещением костных отломков с переходом на дно вертлужных впадин с обеих сторон, разрыв симфиза, перелом боковой массы крестца справа с переходом на тела S1,2; б — затек контраста в проекции мембранозного отдела уретры

По экстренным показаниям произведены лапаротомия, ревизия брюшной полости, эпицистостомия, тампонирующее и дренирование малого таза. Отломки таза фиксированы скелетным вытяжением и «гамаком». После стабилизации общего состояния пациент на следующий день транспортирован в РНЦЭМП.

На 13-ый день после травмы под эндотрахеальным наркозом произведена передняя стабилизация костей таза стержневым АВФ, устранение разрыва симфиза. На контрольной рентгенографии костей таза выявлено: стояние костных отломков удовлетворительное, разрыв симфиза устранен (рис. 7, а).

Также интраоперационно произведена диагностическая уретроскопия: по уретре свободно проведен тубус уретроцистоскопа 19 СН. При ревизии слизистая висячего отдела и бульбозной части уретры без патологии. На уровне мембранозного отдела уретры отмечается отечность слизистой и резкое сужение просвета уретры, далее полная облитерация, в связи с чем провести тубус цистоскопа не удалось. Решено завершить диагностику, тубус цистоскопа удален. Осложнений нет. Курс восстановительного лечения был начат со вторых суток после операции (рис. 7, б).

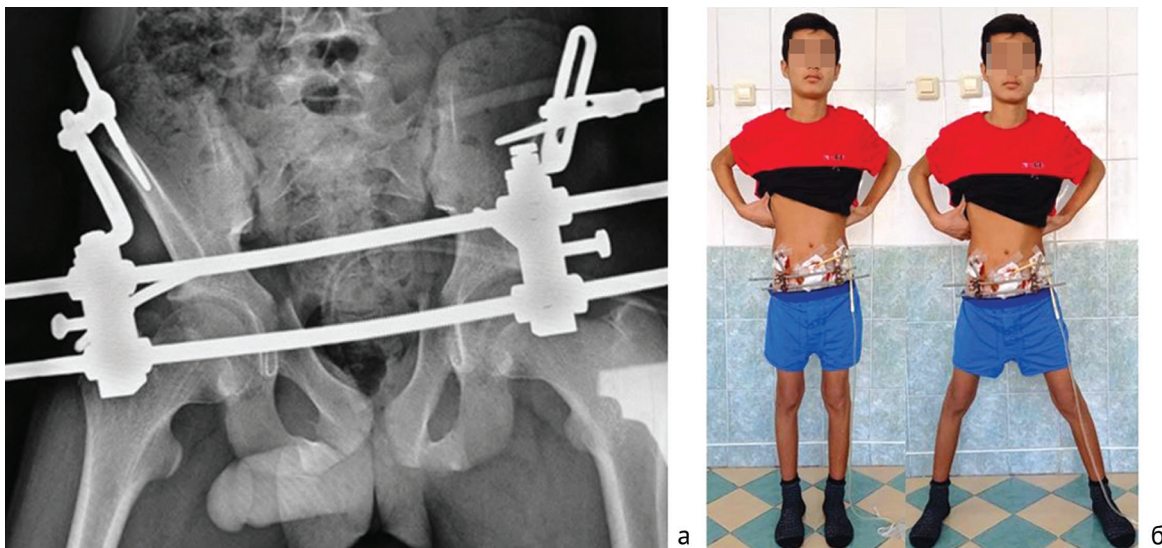


Рис. 7. Период восстановительного лечения: а — рентгенограмма таза с фиксацией АВФ; б — фото в процессе лечения, занятия ЛФК

АВФ демонтировали через восемь недель. Частичную нагрузку на правую ногу разрешили через месяц после операции, полную — через два месяца. Срок лечения больного составил три месяца. Отдаленный результат оценен через год после травмы (рис. 8). Общий результат лечения — хороший, остаточное смещение отсутствует, функциональный результат — 90 баллов по шкале Majeed.



Рис. 8. Рентгенограмма таза через 1 год после травмы

ОБСУЖДЕНИЕ

Использование этапного комбинированного лечения с применением разработанных методик и металлоконструкций для остеосинтеза позволяет улучшить репозицию и стабилизацию переломов тазового кольца и достичь хорошего функционального результата лечения.

Следовательно, этапный чрескостный остеосинтез при лечении детей с переломами таза и политравмой может позиционироваться, как метод выбора при борьбе с шоком в первый период травматической болезни, и также с успехом быть использован для окончательной репозиции и стабильной фиксации отломков таза.

Чрескостный остеосинтез обладает целым рядом преимуществ, которые особенно важны в лечении пострадавших с политравмой: прежде всего, малотравматичность при использовании чрескостных элементов, возможность управлять отломками «во времени» и комбинировать метод с погружными технологиями лечения.

Авторами из Уральского НИИТО еще в 2004 г. продемонстрирована серия технологических решений для лечения больных с застарелыми повреждениями таза, позволяющих полностью или частично исправлять деформацию и стабилизировать тазовое кольцо [29]. Если исправлению стержневыми аппаратами наружной фиксации с успехом поддаются самые грубые пространственные деформации тазового кольца, то использование этих же аппаратов для окончательной репозиции и удержания костных фрагментов позволяет гарантированно получить хорошие анатомические и функциональные результаты лечения.

Вместе с тем, не все проблемы в тазовой хирургии можно решить с помощью АВФ, ряд повреждений требуют применения погружного остеосинтеза для более точной репозиции, прежде всего, переломы вертлужной впадины и переломы крестца с компрессией корешков поясничного сплетения. B. Michelle et al. [6] и M. Heeg et al. [7] указывают, что именно эти переломы становятся причиной таких отдаленных последствий, как хроническая боль, сколиоз, сексуальная дисфункция, несоответствие длины ног и даже задержка роста, которые наблюдаются в 30 % случаев переломов таза у детей. Однако чрескостный остеосинтез и в этом случае может быть применен в качестве противошоковой фиксации, после чего можно произвести конверсию на открытую репозицию с внутренней фиксацией.

Предложенные нами технические решения позволяют устранить деформацию и надежно удерживать отломки до полной консолидации при односторонней вертикальной нестабильности тазового кольца, как в случае с пациентом из клинического примера 1. Однако пациентов с дезинтегрирующими повреждениями таза, сопровождающимися полной двусторонней нестабильностью, нужно оперировать с использованием временной транспедикулярной фиксации, поскольку альтернативы этому методу не существует. В случае переломов крестца с компрессией нервных корешков необходима ранняя их декомпрессия в условиях специализированного стационара с обязательным участием нейрохирурга.

При повреждении мочевыводящих и половых путей у пострадавших следует стремиться тщательно восстановить анатомию тазового кольца. При этом также необходим командный подход с участием уролога и, при необходимости, гинеколога, что позволит в будущем избежать тяжелых посттравматических осложнений не только со стороны опорно-двигательного аппарата, но и внутренних органов таза, как в клиническом примере 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация тактики этапного лечения детей с сочетанными и множественными травмами таза с применением рациональной диагностики и малоинвазивного остеосинтеза с использованием оригинальных конструкций позволила получить большее количество хороших и удовлетворительных результатов в основной группе по сравнению с лечением традиционными оперативными методами в группе сравнения. При оценке тяжести травмы у детей с переломами таза, равной 15 баллам шкалы ISS, необходимо использовать тактику damage control. Внешнюю фиксацию можно применять не только как надежную и простую противошоковую фиксацию, но и как метод окончательного остеосинтеза. Комбинация внешней фиксации с внутренним остеосинтезом позволяет добиться точной репозиции и надежной стабилизации фрагментов тазового кольца. Этапное оказание специализированной помощи с остановкой внутреннего кровотечения и фиксацией противошоковым аппаратом на первом этапе и окончательной стабилизацией отломков тазового кольца на втором этапе является наиболее рациональным тактическим подходом при политравме с повреждением таза у детей.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

Этическая экспертиза. Исследования одобрены этическим комитетом.

Информированное согласие. Родители пациентов дали информированное согласие на участие в исследовании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Hermans E, Cornelisse ST, Biert J, et al. Paediatric pelvic fractures: how do they differ from adults? *J Child Orthop*. 2017;11(1):49-56. doi: 10.1302/1863-2548-11-160138.
- Shaath MK, Koury KL, Gibson PD, et al. Analysis of pelvic fracture pattern and overall orthopaedic injury burden in children sustaining pelvic fractures based on skeletal maturity. *J Child Orthop*. 2017;11(3):195-200. doi: 10.1302/1863-2548.11.160266.
- Kruppa CG, Khoriaty JD, Sietsema DL, et al. Pediatric pelvic ring injuries: How benign are they? *Injury*. 2016;47(10):2228-2234. doi: 10.1016/j.injury.2016.07.002.
- Schlickewei W, Keck T. Pelvic and acetabular fractures in childhood. *Injury*. 2005;36 Suppl 1:A57-63. doi: 10.1016/j.injury.2004.12.014.
- Sridharan SS, You D, Ponich B, et al. Outcomes following pelvic ring fractures in the paediatric population: A systematic review. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(6):963-969. doi: 10.1016/j.jcot.2020.10.005.
- Mulder MB, Maggart MJ, Yang WJ, et al. Outcomes of Pediatric Pelvic Fractures: A Level I Trauma Center's 20-Year Experience. *J Surg Res*. 2019;243:515-523. doi: 10.1016/j.jss.2019.07.011.
- Heeg M, de Ridder VA, Tornetta P 3rd, de Lange S, Klasen HJ. Acetabular fractures in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;(376):80-86. doi: 10.1097/00003086-200007000-00012.
- Nguyen ATM, Drynan DP, Holland AJA. Paediatric pelvic fractures - an updated literature review. *ANZ J Surg*. 2022;92(12):3182-3194. doi: 10.1111/ans.17890.
- Gänsslen A, Hildebrand F, Heidari N, Weinberg AM. Pelvic ring injuries in children. Part I: Epidemiology and primary evaluation. A review of the literature. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2012;79(6):493-498. doi: 10.55095/achot2012/071.
- Shaath MK, Koury KL, Gibson PD, Adams MR, Sirkin MS, Reilly MC. Associated Injuries in Skeletally Immature Children with Pelvic Fractures. *J Emerg Med*. 2016;51(3):246-251. doi: 10.1016/j.jemermed.2016.05.031.
- Amorosa LF, Kloen P, Helfet DL. High-energy pediatric pelvic and acetabular fractures. *Orthop Clin North Am*. 2014;45(4):483-500. doi: 10.1016/j.ocl.2014.06.009.
- Holden CP, Holman J, Herman MJ. Pediatric pelvic fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2007;15(3):172-177. doi: 10.5435/00124635-200703000-00007.
- McIntyre RC Jr, Bensard DD, Moore EE, et al. Pelvic fracture geometry predicts risk of life-threatening hemorrhage in children. *J Trauma*. 1993;35(3):423-429. doi: 10.1097/00005373-199309000-00015.
- Quinby WC Jr. Fractures of the pelvis and associated injuries in children. *J Pediatr Surg*. 1966;1(4):353-364. doi: 10.1016/0022-3468(66)90338-1.
- Demetriades D, Karaiskakis M, Velmahos GC, et al. Pelvic fractures in pediatric and adult trauma patients: are they different injuries? *J Trauma*. 2003;54(6):1146-1451; discussion 1151. doi: 10.1097/01.TA.0000044352.00377.8F.
- de la Calva C, Jover N, Alonso J, Salom M. Pediatric Pelvic Fractures and Differences Compared With the Adult Population. *Pediatr Emerg Care*. 2020;36(11):519-522. doi: 10.1097/PEC.0000000000001411.
- Silber JS, Flynn JM. Changing patterns of pediatric pelvic fractures with skeletal maturation: implications for classification and management. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(1):22-26.
- Spiguel L, Glynn L, Liu D, Statter M. Pediatric pelvic fractures: a marker for injury severity. *Am Surg*. 2006;72(6):481-484.
- Banerjee S, Barry MJ, Paterson JM. Paediatric pelvic fractures: 10 years experience in a trauma centre. *Injury*. 2009;40(4):410-413. doi: 10.1016/j.injury.2008.10.019.
- Grisoni N, Connor S, Marsh E, Thompson GH, Cooperman DR, Blakemore LC. Pelvic fractures in a pediatric level I trauma center. *J Orthop Trauma*. 2002;16(7):458-463. doi: 10.1097/00005131-200208000-00003.
- Leonard M, Ibrahim M, McKenna P, et al. Paediatric pelvic ring fractures and associated injuries. *Injury*. 2011;42(10):1027-1030. doi: 10.1016/j.injury.2010.08.005.
- Tile M. Acute Pelvic Fractures: I. Causation and Classification. *J Am Acad Orthop Surg*. 1996;4(3):143-151. doi: 10.5435/00124635-199605000-00004.
- Борозда И.В., Воронин Н.И., Волков С.П. Устройство для репозиции и фиксации переломов костей таза. Патент РФ на изобретение № 2159091. 20.11.2000. Бюл. № 32. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5898&DocNumber=2159091&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.
- Епифанцев А.В., Борозда И.В., Воронин Н.И. Устройство для репозиции и фиксации переломов костей таза. Патент РФ на изобретение № 2234277. 20.08.2004. Бюл. № 23. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=9688&DocNumber=2234277&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.
- Борозда И.В., Воронин Н.И., Воронцов В.Н., Епифанцев А.В. Способ комбинированного остеосинтеза нестабильного повреждения таза с разрывом крестцово-подвздошного сочленения. Патент РФ на изобретение № 2306895. 27.09.2007. Бюл. № 23. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7422&DocNumber=2306895&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.

26. Борозда И.В., Воронин Н.И., Бушманов А.В. *Способ чрескостного остеосинтеза нестабильного повреждения таза с вертикальным переломом крестца*. Патент РФ на изобретение № 2306896. 27.09.2007. Бюл. № 27. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7422&DocNumber=2306896&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.
27. Борозда И.В., Каневец Д.В., Николаев Р.В. и др. *Способ чрескостного остеосинтеза односторонних нестабильных повреждений таза*. Патент РФ на изобретение № 2457805. 10.08.2012. Бюл. № 27. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7967&DocNumber=2457805&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.
28. Борозда И.В., Ганжуров Н.А., Капустянский А.А. *Чрескостный модуль для репозиции и фиксации задних отделов таза*. Патент РФ на изобретение № 2559739. 10.08.2015. Бюл. № 22. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5080&DocNumber=2559739&TypeFile=html. Ссылка активна на 28.11.2024.
29. Шлыков И.Л. *Оперативное лечение больных с последствиями повреждений тазового кольца: автореф. дис.... канд. мед. наук*. Курган; 2004:28. Доступно по: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://new-disser.ru/_avtoreferats/01004067514.pdf. Ссылка активна на 28.11.2024.
30. Majeed SA. Grading the outcome of pelvic fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(2):304-306. doi: 10.1302/0301-620X.71B2.2925751.
31. Борозда И.В. *Комплексная диагностика сочетанных повреждений таза, проектирование и управление аппаратами внешней фиксации: дис. ... д-ра мед. наук*. Якутск, 2009:279. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/kompleksnaya-diagnostika-sochetannykh-povrezhdenii-taza-proektirovanie-i-upravlenie-apparata>. Ссылка активна на 28.11.2024.

Статья поступила 18.06.2024; одобрена после рецензирования 26.11.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 18.06.2024; approved after reviewing 26.11.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Иван Викторович Борозда — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, bivdok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4537-7528>;

Роман Валерьевич Николаев — старший ординатор, dr.nickolaeff@inbox.ru;

Муродулл Юлдашевич Каримов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, m.karimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9867-2176>;

Фахриддин Бахриддинович Салохиддинов — доктор медицинских наук, доцент кафедры, fb.doc@mail.ru;

Фахриддин Атаевич Машарипов — заведующий отделением, fma-xiva77@mail.ru.

Information about the authors:

Ivan V. Borozda — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, bivdok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4537-7528>;

Roman V. Nikolaev — Senior Resident, dr.nickolaeff@inbox.ru;

Murodulla Yu. Karimov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, m.karimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9867-2176>;

Fakhriddin B. Salokhiddinov — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, fb.doc@mail.ru;

Fakhriddin A. Masharipov — PhD, Head of Department, fma-xiva77@mail.ru.

Научная статья

УДК 616-089.873:617.58-77-035.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-165-174>

Клинико-статистический анализ состояния культи как элемент выявления противопоказаний к протезированию

А.В. Пепеляев✉, А.А. Скоблин

Центр инновационных технологий в ортопедии (ЦИТО), Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Вячеславович Пепеляев, a.pelyaev@mail.ru

Аннотация

Введение. Ампутация конечностей приводит к серьезным физическим изъясам, снижающим качество жизни. Проблема осложнений после ампутации и протезирования остается актуальной в связи с увеличением числа людей, нуждающихся в протезах, вызванным как ростом числа сосудистых заболеваний, так и продолжающимися военными конфликтами.

Цель работы — выявление противопоказаний к протезированию на основе клинико-статистического анализа состояния культи.

Материалы и методы. Выполнен анализ медицинской документации 253 пациентов в возрасте от 18 до 85 лет с культями нижних конечностей (15 человек — с парными ампутациями, 238 — с односторонней). Причинами ампутаций нижних конечностей были минно-взрывные ранения, сосудистые и инфекционные патологии, травмы мирного времени, врожденные аномалии, остеомиелит, остеосаркома. Оценка состояния культи проведена в 2023 г. мультидисциплинарными командами на базах протезно-ортопедического предприятия, военных госпиталей и лечебно-профилактических учреждений. Культи пациентов обследовали рентгенологически и с применением ультразвуковой диагностики. Изготовлены 228 протезов (120 — для голени и 108 — для бедра), уровень овладения которыми оценивали с помощью стабилметрической платформы и реабилитационного комплекса.

Результаты. Установлены пороки культи, осложняющие протезирование: остеофиты, расположение опиала малоберцовой кости дистальнее опиала большеберцовой кости, выстояние опиала кости под кожей или рубцом, инородные тела мягких тканей, тугоподвижность рубцов, высокое расположение усеченных мышц. Протезирование было затруднено в 59 случаях (23,3 %), из которых 33 случая (56 %) имели абсолютные противопоказания.

Обсуждение. Исследование подтвердило значимость своевременной оценки и подготовки культи для эффективного протезирования. Внедрение современных технологий и методов реабилитации способствует улучшению качества жизни пациентов после ампутации. Выявлены основные проблемы, связанные с процессом первично-постоянного протезирования, включая жалобы пациентов на болевой синдром и психологические трудности. Результаты исследования подтверждают необходимость мультидисциплинарного подхода для успешного протезирования и реабилитации пациентов. Ампутация конечностей, вызванная как боевыми травмами, так и иными причинами, значительно влияет на качество жизни пациента, создавая серьезные физические ограничения.

Заключение. Абсолютным противопоказанием к протезированию является невозможность изготовления приёмной гильзы, позволяющей пациенту опираться на культю и полноценно пользоваться протезом. К относительным противопоказаниям относятся неправильный опиал большеберцовой кости, булавообразная или чрезмерно коническая культя, слишком короткая или слишком длинная культя, остеомиелит, длительно гранулирующая рана или язва, лигатурные свищи.

Ключевые слова: ампутация, культя, протезирование, реабилитация, мультидисциплинарный подход, цифровые технологии, клинический анализ, digital twins, визуализация мягких тканей, цифровая реабилитация

Для цитирования: Пепеляев А.В., Скоблин А.А. Клинико-статистический анализ состояния культи как элемент выявления противопоказаний к протезированию. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):165-174. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-165-174.



Clinical and statistical stump characteristics for identifying contraindications to prosthesis

A.V. Pepeliaev✉, A.A. Skoblin

Center for Innovative Technologies in Orthopedics (CITO), Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Aleksandr V. Pepeliaev, a.pepelyaev@mail.ru

Abstract

Introduction Limb amputation impacts physical activity and quality of life. Complications of limb amputation and prosthesis are essential for individuals who are losing limbs from vascular diseases and in military casualties.

The **objective** was to identify contraindications to prosthesis based on clinical and statistical stump characteristics.

Material and methods Medical records of 253 lower limb amputees aged 18 to 85 years including 15 individuals with bilateral amputations and 238 with unilateral amputations caused by mine blast injuries, vascular diseases and infections, peacetime injuries, congenital anomalies, osteomyelitis, osteosarcoma. Assessment of the amputee was produced by multidisciplinary teams at the prosthetic orthopedic company, military hospitals, medical and preventive healthcare institutions in 2023. The patients' stumps were examined radiologically and with ultrasound. A total 228 prostheses were manufactured including 120 for tibia and 108 femur amputees. Stabilometric platform and a rehabilitation complex were used for suitable alignment of lower limb prostheses.

Results The stump defects that complicated prosthesis included osteophytes, the fibula cut located distally to the tibia cut, the bone cut protruding to under the skin or a scar, foreign bodies of soft tissues, stiff scars, high location of truncated muscles. Prosthesis was complicated in 59 cases (23.3 %), of which 33 patients (56 %) had absolute contraindications.

Discussion The findings indicated the importance of timely assessment and preparation of stumps for effective prosthesis. Modern technologies and rehabilitation methods help improve quality of life of amputees. Pain and psychological difficulties were the main problems associated with primary permanent prosthesis. The multidisciplinary approach appeared to be practical for successful prosthesis and rehabilitation of patients. Limb amputation caused by combat injuries and other reasons is associated with physical challenges affecting the patient's quality of life.

Conclusion A failure to maintain proper prosthetic socket fit is an absolute contraindication to prosthesis preventing the patient from prosthetic use after amputation. Inadequately cut tibia, club-shaped or excessively conical stump, a stump being too short or too long, osteomyelitis, impaired wound healing or ulcer, ligature fistulas are relative contraindications.

Keywords: amputation, stump, prosthesis, rehabilitation, multidisciplinary approach, digital technologies, clinical analysis, digital twins, soft tissue visualization, digital rehabilitation

For citation: Pepeliaev AV, Skoblin AA. Clinical and statistical stump characteristics for identifying contraindications to prosthesis. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):165-174. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-165-174.

ВВЕДЕНИЕ

Ампутация конечностей приводит к серьезным физическим изъяснам, которые снижают качество жизни большого числа людей во всем мире. По данным ВОЗ, на сегодняшний день насчитывается около 40 млн. людей с культями конечностей вследствие ампутации или врожденного недоразвития [1]. Рост числа сосудистых патологий и непрекращающиеся военные конфликты увеличивают число инвалидов, что, в свою очередь, требует улучшения методик протезирования культей конечностей.

Исследователи к основным причинам ампутаций нижних конечностей относят облитерирующий эндартериит, сахарный диабет (в том числе синдром диабетической стопы), онкопатологию, травмы (в том числе производственные, полученные в результате ДТП и катаклизмов), ранения при боевых действиях [2]. Среди причин ампутаций нижних конечностей также встречаются венозный, артериальный тромбоз нижних конечностей с развитием острой тромбоэмболии магистральных сосудов, как следствие несвоевременного лечения, ненадлежащего наблюдения пациентов или непонимание патогенеза возбудителя на начальном этапе пандемии COVID-19 [3]. Наличие хронической ишемии провоцирует нарушение гемостаза в скомпрометированных конечностях, что, соответственно, приводит к кратному увеличению проксимальных тромбозов и высоким ампутациям [4].

Довольно часто ампутацию сегмента конечности выполняют существенно проксимальнее уровня поражённой области, что вызвано потребностью хирурга завершить лечение быстро и одномоментно, не принимая во внимание топографо-анатомические уровни повреждения и функциональные изменения сохранившихся тканей. Зачастую высокие ампутации отрицательно сказываются на освоении протеза и качестве жизни молодых инвалидов [5]. При выполнении ампутации нижних конечностей стремятся к сохранению коленного сустава, играющего важную роль в биомеханике опорно-двигательного аппарата и проприоцептивной иннервации [6], что создаёт условия для оптимального протезирования [7].

Отсутствие сустава конечности вкупе с болевыми ощущениями в культе приводит к тому, что инвалиды могут дезадаптироваться в обществе: самостигматизация, возникновение чувства жалости к себе, отвержение своего телесного образа, когнитивное неприятие случившегося и, как итог, снижение мотивации пользоваться протезом [8].

С другой стороны, сохранение слишком коротких культей без вычленения в вышележащем суставе также может привести к осложнениям при протезировании, увеличивая или ухудшая период восстановления и адаптации, в связи с необходимостью более тщательной подгонки приёмной гильзы протеза [9].

Тем не менее, высокие ампутации выполняют и сегодня, в связи с чем необходимо подходить к вопросу восстановления таких пациентов подбором оптимальных конструкций протезов. Следует принимать во внимание особенности поражённой области при дефиците тканей и специфичность трансплантируемых участков кожи, которые по завершению свободной аутопластики в послеоперационном периоде становятся опорными площадками и в некоторых случаях порождают пороки и болезни сформированных культей. В вышеупомянутых ситуациях необходимо избегать подобных несоответствий, выполнять более высокую ампутацию и уменьшать нагрузку на пересаженную кожу [10].

Цель работы — выявление противопоказаний к протезированию на основе клинико-статистического анализа состояния культей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в 2023 г. на базе протезно-ортопедического предприятия АО «ЦИТО», военных госпиталей и лечебно-профилактических учреждений. В исследование включены данные 253 пациентов с культями нижних конечностей в возрасте от 18 до 85 лет, из них 15 пациентов имели парные ампутации (5,93 %), а 238 — односторонние ампутации (94,07 %).

В нашем исследовании к функциональным культям отнесено 209 случаев (78 %), 26 случаев (10 %) — к малофункциональным и 33 случаев (12 %) — к нефункциональным.

Тип исследования: клиническое наблюдательное.

Дизайн исследования: ретроспективный анализ медицинских данных и наблюдений.

Критерии включения: пациенты, прошедшие ампутацию нижних конечностей, находящиеся на этапе реабилитации и протезирования, выразившие согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: пациенты с ампутациями верхних конечностей, пациенты с обострением сопутствующих заболеваний, которые могли бы помешать протезированию, или пациенты, у которых не удалось получить полный комплект медицинских документов.

Готовность пациентов к протезированию оценивали по наличию или отсутствию пороков и болезней культей [11].

Методика проведения измерений. Оценку состояния культей проводили мультидисциплинарной командой, включающей врачей травматологов-ортопедов, техников-протезистов и реабилитологов. Использовали данные медицинской документации (выписные эпикризы, карты стационарного больного, истории болезни, бланки заказов на изготовление протезов, анкеты) и результаты 135 представленных пациентами инструментальных исследований. Культю пациентов обследовали рентгенологически и с применением ультразвуковой диагностики. Тем не менее, не всех пациентов удалось включить в процесс снятия гипсового слепка и производства пробной приёмной гильзы, что было обусловлено факторами, препятствующими адаптации пациента к протезу. В ходе исследования пациентам изготовлено 228 протезов, из которых 120 — для голени и 108 — для бедра. Пациентов направляли на протезирование через 2–13 мес. после ампутации, в зависимости от объективных и субъективных факторов.

Этические принципы. Все пациенты проинформированы об условиях исследования и дали письменное согласие на участие. Исследование проводили в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Обработка данных. Данные анализировали для оценки распространенности пороков и болезней культей, их влияния на процесс протезирования и реабилитации.

Пороки и заболевания, затрагивающие протезируемую конечность, значительно снижают функциональность культи, усложняют процесс протезирования и увеличивают время, необходимое для реабилитации и подготовки усечённого участка к протезированию. Такие случаи относятся к категории осложнённых. Функциональность культи определяют ее состояние, подготовленность к протезированию, способность воспринимать механическое воздействие со стороны протеза. Таким образом, культю по функциональности разделены на три категории: функциональные, малофункциональные и нефункциональные, что дало возможность оценить готовность культей к протезированию и разработать дальнейшие стратегии реабилитации [12].

Уровень овладения протезом определяли с помощью стабилметрической платформы COBS с биологической обратной связью и реабилитационного комплекса Motek C-Mill. Инструктор ЛФК оценивал расстояние, пройденное пациентом в протезе, способность держать равновесие на платформе и справляться с тестами на инновационной сенсорной беговой дорожке. Кроме того, принимали во внимание пространственно-временные параметры, например, длину и ширину шага, учитывая разницу слева и справа (в метрах), а также динамические параметры, — ходьбу по меткам, Butterfly, Aggregated force, распределение веса при опоре на одну ногу, частоту шагов.

Целью лечения является улучшение симметрии между левым и правым шагом, а также улучшение характеристик силы реакции на опору во время ходьбы пациента по платформе. Выгружаемые сведения служат важным показателем выявления и коррекции патологической походки. Полученная информация важна для дальнейшего более точного отслеживания прогресса освоения протеза и формирования правильного двигательного стереотипа ходьбы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно данным медицинской документации, у 194 пациентов рана культи заживала первичным натяжением, швы сняты в срок (табл. 1). Также выявлены болезни культи, обусловленные присоединившейся инфекцией: длительно гранулирующая рана или язва, заживление раны вторичным натяжением, образование свищевого хода, остеомиелит. Установлены пороки культи, осложняющие протезирование: остеофиты, расположение опиала малоберцовой кости дистальнее опиала большеберцовой кости, выстояние опиала кости под кожей или рубцом, инородные тела мягких тканей, тугоподвижность рубцов, высокое расположение усечённых мышц.

Таблица 1

Клинические данные пациентов, полученные при оценке состояниях культей

Состояние	Количество случаев	
	абс.	%
Заживление раны первичным натяжением	194	76,6
Болезни культей (инфекция)	24	9,5
Пороки культей	20	7,9
Болезненные невромы	10	4,0
Неуточненная боль в культе	4	1,6
Неврит малоберцового нерва	1	0,4
Итого	253	100

Причинами ампутаций нижних конечностей были минно-взрывные ранения, травмы мирного времени, остеомиелит, остеосаркома (рис. 1). В двух случаях конечности были непригодны к протезированию по причине врождённого недоразвития, так как не являлись опорными, поэтому с целью формирования культи выполняли ампутации. Диагностированные в 76 случаях (30 %) диабет и атеросклероз приводили к развитию гангрены и последующей ампутации. Прогрессирующие тромбангииты, обли-

терирующие эндартерииты, эмболии и тромбозы магистральных артерий с развитием последующей критической ишемии конечности выявлены в 12 случаях (4,7 %). Эти данные подтверждают высокую значимость проблем, связанных с военными травмами и хроническими сосудистыми заболеваниями, в контексте ампутации конечностей, а также реабилитационного потенциала последних.

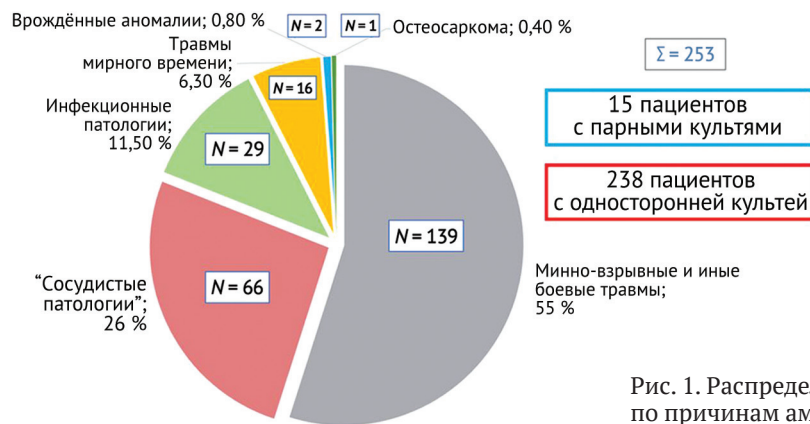


Рис. 1. Распределение пациентов по причинам ампутаций

Протезирование было затруднено в 59 случаях (23,3 %), из которых в 33 случаях (56 %) имелись абсолютные противопоказания, такие как пороки культей или инфекционные осложнения, требующие дополнительного лечения до начала протезирования (рис. 2).

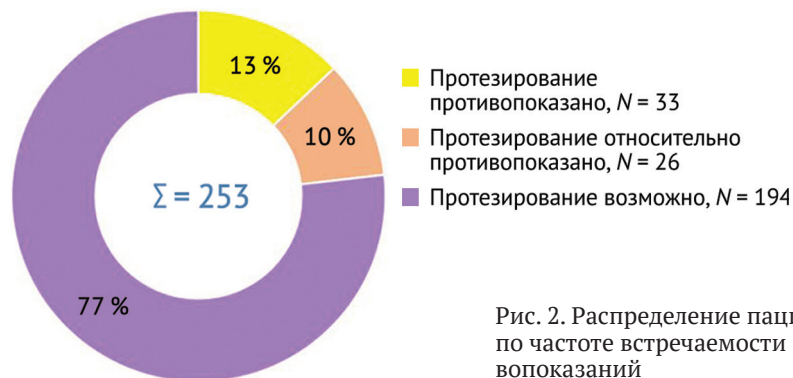


Рис. 2. Распределение пациентов по частоте встречаемости противопоказаний

Из относительных противопоказаний у пациентов отмечали пороки культей, в том числе и после проведенной повторной ампутации, что на момент осмотра являлось абсолютным противопоказанием к протезированию и требовало проведения дополнительной диагностики и дальнейших лечебных манипуляций, в том числе реампутации.

Рентгенологические и ультразвуковые исследования позволили верифицировать пороки культей и обосновать необходимость выполнения реампутации. До обращения с целью протезирования в 42 случаях (16 %) реампутацию проводили однократно, в пяти случаях (2 %) повторные оперативные вмешательства на культях нижних конечностей приходилось выполнять снова. После повторной ампутации в трех случаях (1 %) выявлены остеофиты, что потребовало оперативного лечения.

Согласно полученным данным, к абсолютным противопоказаниям к протезированию можно относить случаи, когда усилиями специалистов невозможно изготовить приёмную гильзу таким образом, чтобы в ней пациент мог опираться на культю и полноценно пользоваться протезом. Среди болезней культей к таким случаям относятся невромы культей нервов, болезненные остеофиты опилов костей в местах усечения конечностей. Среди встречающихся пороков — выстояние опилов кости под кожей или рубцом, более дистальное расположение уровня малоберцовой кости относительно большеберцовой, выстоящая культя кости без мышечного футляра с дефицитом покрывающих мягких тканей в области послеоперационного рубца культей, выраженный болевой синдром в области послеоперационной раны неустановленного генеза.

К относительным противопоказаниям можно отнести следующие пороки: неправильный опилов большеберцовой кости, булавовидная или чрезмерно коническая культя, чрезмерно короткая или слишком длинная культя и болезни, — остеомиелит, длительно гранулирующая рана или язва, лигатурные свищи. Последние могут являться препятствием к выдаче изделия и отсрочить освоение инвалидом протеза. Однако со временем, путём выполнения лечебно-восстановительных процедур, в том числе с применением реабилитационных комплексов и ЛФК, можно устранить осложняющий фактор или уменьшить его влияние.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для подготовки пациентов к первичному протезированию используют как консервативные, так и оперативные методы. Уже при первичном осмотре на протезном предприятии опытные ортопеды могут принять решение о необходимости проведения реампутации. Но, тем не менее, любое оперативное вмешательство — это риск для пациента, поэтому предварительно мы проводим консервативное лечение, включая лечебную физкультуру, массаж и воздействие физическими методами [13]. После осмотра 59 пациентов, имевших порочные культы и нуждавшихся в оперативной подготовке к протезированию, были выданы медико-технические заключения о необходимости выполнения хирургического лечения. В 29 % случаев (17 человек) операция была проведена. На момент проведения исследования не все пациенты дали добровольное согласие на хирургическое лечение.

Обращаясь к источникам времен Второй мировой войны, в частности к классификации П.А. Куприянова и Н.Н. Бурденко, мы рассматриваем разделение ампутаций на виды, систематизированные и подтвержденные современными научными работами, которые также подчеркивают важность разделения ампутаций по времени на первичные, вторичные, поздние и повторные ампутации (реампутации) для изучения клинических исходов. Эта классификация остается актуальной и сегодня, когда необходимость мультидисциплинарного подхода и своевременной диагностики остается решающей для снижения осложнений [14].

Основная идея работы подтверждается другими современными авторами, которые отмечают важность адекватного формирования культы при первичной ампутации для минимизации риска реампутаций и улучшения реабилитационных перспектив [15, 16].

Особое внимание заслуживают случаи минно-взрывных ранений, которые стали причиной ампутации у 55 % пациентов. Это подчеркивает актуальность проблемы военных травм и необходимость специальных подходов к лечению и реабилитации таких пациентов. Также важен факт, что 30 % ампутаций вызваны диабетом и атеросклерозом, что говорит о значимости профилактики и своевременного лечения хронических заболеваний [17]. При современных травмах кожные покровы конечностей часто повреждаются на большой площади, что акцентирует значимость сохранения максимальной длины поврежденных участков с помощью ранней кожной пластики, о чем говорится в классических руководствах [18] и остается актуальным, особенно в современных условиях минно-взрывных ранений, описанных в более поздних источниках [19]. Существующие принципы оперативного лечения при минно-взрывных ранениях предполагают предварительное удаление нежизнеспособных тканей поражённой нижней конечности в условиях полевого госпиталя с целью избежания угрозы жизни. Дальнейшая обработка и формирование культы происходит уже в условиях специализированного стационара [5].

От уровня ампутации и правильного формирования культы зависит то, как быстро пациент пройдет реабилитацию. Хирургическая техника ампутации определяется уровнем усечения конечности и анатомических особенностей сегмента. Уровень ампутации является краеугольным камнем дискуссий между хирургами и специалистами, занимающимися протезированием утраченных конечностей. На этапе предоперационного планирования выбранный уровень резекции не всегда совпадает с определённой интраоперационно демаркационной линией жизнеспособных тканей [2, 5, 6], что также может повлиять на вероятность развития пороков и болезней культей.

Литературные источники подтверждают, что отсроченная первичная ампутация позволяет минимизировать повреждение тканей и облегчить процесс реабилитации. При выполнении ампутации на уровне нежизнеспособных тканей следует избегать излишней резекции здоровых тканей. Хотя некоторые поврежденные ткани могут восстановить свою жизнеспособность после соответствующей терапии, нельзя исключить возможности развития вторичного некроза из-за локальной гипоксии и отека в послеоперационном периоде [14].

Иногда ссадины, трещины и раздражение кожных покровов могут возникать под влиянием давления протеза на культю. Крайне редко это может происходить при использовании протеза без силиконового чехла, препятствующего формированию кожных складок. В таких случаях возможно развитие воспалительных процессов, присоединение инфекции. Образованию инфильтратов и узлов на месте зон нагрузки на протез может способствовать наличие избытка кожи на культе. В то же время образовавшиеся узлы могут благоприятствовать формированию послеоперационных рубцов. Н.Н. Приоров рекомендовал обращаться к пластике кожи в исключительных случаях и по мере возможностей стараться избегать широких и длинных лоскутов, а при их наличии укреплять трансплантированную кожу путем гимнастики и самомассажа [20]. На сегодняшний день эти рекомендации не теряют своей актуальности [21].

Требования к культе сформулированы практически во всех руководствах по протезированию [10, 19] следующим образом: усечённая конечность должна быть как можно длиннее, покрыта неповреждённой кожей без язв, наминов, осаднений, фликтен, не должна быть чрезмерно конической или булавовид-

ной формы. Послеоперационный рубец должен быть подвижным, гладким, располагаться вне опорных зон приёмной гильзы, мышцы должны быть достаточно развиты. Ещё одним требованием является отсутствие невром, а костный опил должен быть горизонтальным, гладким, движения в суставах не ограничены [22, 23]. К культям голени предъявляют дополнительное требование, — формирование опила гребня большеберцовой кости под углом 45° к продольной оси.

Форма культей меняется из булавовидной в умеренно-коническую, изменяется натяжение тканей и кожи, в результате чего усиливаются болевые ощущения в местах локализации концевых невром и послеампутационных болезней кожи. В этих случаях применяют смягчающие вкладыши, силиконовые лайнеры с демпфирующими свойствами и ложементы, которые позволяют разгрузить триггерные болезненные точки контакта культи с гильзой. Предварительное использование силиконовых чехлов при первичном протезировании пациентам в среднем было рекомендовано на срок до двух недель.

Результаты данного исследования показывают, что состояние культей является критическим фактором успешности протезирования. У большинства пациентов (76,6 %) раны заживали первичным натяжением, что указывает на эффективность оперативного лечения. Тем не менее, почти четверть пациентов (23,3 %) сталкивалась с проблемами (инфекции, пороки культей и болевые невромы), которые усложняли протезирование. Полученные результаты согласуются с литературными данными о значении правильной хирургической техники и подготовки культи для успешного протезирования [24]. Например, пороки культей, такие как остеофиты и неправильное положение опилов костей, затрудняющие протезирование, выявлены в 7,9 % случаев. Это соответствует данным других авторов, которые также указывают на необходимость более тщательной подготовки и постоянного наблюдения за состоянием культи [25].

Несоблюдение этапов оперативного лечения, хирургических принципов выполнения ампутации, недостаточные диагностика и наблюдение в послеоперационном периоде могут вызывать образование болезней и пороков культей, развитие контрактур сохранившихся суставов. Это может быть обусловлено как последствиями оперативного лечения, так и неадекватным протезированием [15, 26].

Исследование подчеркивает важность подготовки культи для протезирования, что подтверждается другими работами [14, 26, 27]. Перед началом протезирования, учитывая антропометрические и статодинамические особенности пациентов, мы проводили мероприятия по предварительному формированию и подготовке культи: эластическое бинтование, использование компрессионного трикотажа, чехлов из полимерного материала, выполнение массажа, физиотерапевтических процедур и лечебной физкультуры. Пренебрежение подготовкой к протезированию также индуцирует процесс формирования проблемных культей.

Строгое соблюдение техники операции и послеоперационного ухода, а также привлечение специалистов на всех этапах лечения позволяют существенно сократить число нефункциональных или малофункциональных культей и повысить качество протезирования [15]. Следует иметь в виду, что относительно стабильная форма культи образуется приблизительно через 10–12 месяцев после ампутации. Формирование культи происходит в зависимости от сроков начала использования имеющегося протеза и активности его эксплуатации. Не стоит пренебрегать правилами бинтования конечностей, так как неправильное исполнение техники может приводить к появлению порочных булавовидных культей бедра и голени.

У пациентов, соблюдающих рекомендации по предварительному формированию культи, размеры культи значительно отличаются от размеров культи пациентов, не следующих предписаниям. После ампутации конечности происходит перестройка тканей и приспособление к новым анатомо-физиологическим особенностям, а именно: усечение мышц, лишение зон прикрепления сухожилий в дистальных отделах, обнажение костномозгового канала и изменение трофики. В процессе протезирования и дальнейшего использования протеза очень важно стремиться к соответствию объёмных размеров гильзы и культи, чтобы пациент мог начать пользоваться протезом. Вследствие динамичного изменения объёма мягких тканей культи усечённой конечности, обусловленного мышечной атрофией и перераспределением нагрузки на опорные площадки, не всегда удаётся одномоментно на этапе изготовления и выдачи пробной приёмной гильзы протеза точно сопоставить размеры культи и приёмной гильзы. Часто возникает необходимость коррекции или замены пробной приёмной гильзы с поиском альтернативного силиконового лайнера не меньших размеров. Иногда при проведении протезирования, несмотря на неоднократные коррекции приёмной гильзы и смены системы крепления, в местах контакта приёмной гильзы с культей могут возникать осложнения, приводящие к повторным оперативным вмешательствам, требующим в дальнейшем ремонта (замены приёмной гильзы) протеза вплоть до полной его смены [19]. Трофические нарушения, травматизация мягких тканей при контакте с приёмной гильзой протеза замедляют реабилитацию и социализацию инвалида [28].

Изготовление идеальной гильзы — сложный процесс, который должен учитывать множество факторов, влияющих на долгосрочное использование, комфорт при эксплуатации и общую функциональность протеза [29]. Персонализированный подход в процессе производства протезов для пациентов с ампутациями конечностей является ключом к широкому внедрению технологии, которая должна быть доступной и удовлетворяющей потребности инвалида [30].

В этом контексте особую значимость приобретают цифровые технологии, включая концепцию цифровых двойников. Создание персонализированных цифровых моделей культей позволяет прогнозировать взаимодействие тканей с протезом, адаптировать конструкцию гильзы и повысить общую эффективность реабилитации. Современные методы — от количественной MPT (T2 mapping) до 3D-моделирования и биомеханических симуляций — находят применение в клинической практике. А. Gentili и соавт. [31] демонстрируют экономическую обоснованность этих решений. В условиях ограниченных бюджетов здравоохранения важно учитывать стоимость технологий и их вклад в восстановление трудоспособности пациентов, применяя модели оценки экономической эффективности (CEA, BIA, CBA).

Наше исследование также затрагивает проблему развития инфекционных и других гнойных осложнений, что препятствует успешному протезированию. Это согласуется с данными, представленными в работах, описывающих повышенные риски тромбозов и ампутаций при инфекциях, таких как COVID-19, что также демонстрирует важность тщательного послеоперационного наблюдения [3, 4]. Такие послеампутационные болезни культей также относятся к абсолютным противопоказаниям к протезированию. Согласно литературным данным, подтверждаемых настоящим исследованием, основными причинами их формирования являются игнорирование профилактической иммобилизации, лечебной физкультуры и эластического бинтования в послеоперационном периоде. Обсуждение представленных данных подчеркивает важность соблюдения хирургических и реабилитационных принципов при лечении пациентов с ампутациями, а также необходимость внедрения новых технологий в процесс протезирования. Клинические данные свидетельствуют о важности тщательной подготовки культи и правильного выбора протеза, что согласуется с международными исследованиями.

Несмотря на развитие протезирования за последние десятилетия, в некоторых случаях пациенты не пользуются выданными протезно-ортопедическими изделиями из-за дискомфорта при использовании протеза, что в основном происходит по причине несоответствием приёмной гильзы текущим размерам и особенностям культи ампутированной конечности [3, 16].

Ограничением данного исследования является отсутствие возможности наблюдения пациентов до поступления в протезно-ортопедическое предприятие, а также длительного наблюдения, что могло бы дать более полное представление о долгосрочной эффективности протезирования. Тем не менее, полученные данные подтверждают важность мультидисциплинарного подхода и персонализированной подготовки культи для успешного протезирования.

Учитывая вышесказанное, необходимо подчеркнуть важность междисциплинарного сотрудничества профессионалов, участвующих в оказании первичной специализированной медицинской помощи, и экспертов в области протезирования утраченных конечностей. Соотнесение целей ампутации и возможности протезирования достигается путём повышения компетенций в данных областях знаний, непрерывного обучения и профессиональной коммуникации. Научный фокус сегодня смещается в сторону преимущественно прогрессивных технологий, оставляя в тени необходимость детального рассмотрения актуальных проблем применения традиционных методов. Современные исследования подчеркивают важность использования высокотехнологичных методов биомеханического анализа и точной визуализации при оценке культей для предотвращения осложнений. Внедрение инновационных методов, таких как 3D-печать, CAD/CAM, роботизированные протезы и биомеханическая оценка, могут значительно улучшить процесс адаптации пациентов к протезам и реабилитации инвалида [32].

Следует отметить, что в условиях увеличения числа пациентов с утраченными конечностями совершенствуются и применяемые подходы к протезированию конечностей. Растущий опыт взаимодействия с инвалидами влечёт за собой необходимость улучшения имеющихся методик, как в военно-полевых условиях, так и в случаях оказания помощи гражданскому населению с усечёнными конечностями. Но также важно принимать во внимание экономическую целесообразность внедрения новых технологий с оценкой, которая позволит в рамках бюджета получить максимальную пользу для здоровья людей. Несмотря на растущий интерес к инвестированию в цифровые инструменты в здравоохранении, данные об их экономической эффективности остаются скудными и ограниченными [31]. Необходимы дальнейшие исследования, основанные на стандартизированном подходе, для методичного анализа инкрементных коэффициентов «затраты – эффективность», затраты и пользу для здоровья и диагностики, так как высокая стоимость этих технологий может быть препятствием для их широкого внедрения [30].

Однако подчеркнём, что для клиницистов имеет приоритет разработка количественных критериев и стандартизированных методов диагностики, что говорит о необходимости внедрения объективных шкал для улучшения оценки состояния культи и протеза, а также для снижения возможных ошибок при использовании современных технологий [23].

По нашим наблюдениям, повторные реампутации по причине развившегося болевого синдрома выполнены в пяти случаях (2 %). Иногда специалисты вынуждены рекомендовать проведение повторной ампутации без ярко выраженного болевого синдрома, но с имеющимися рентгенологическими данными наличия остеофитов, которые с большой долей вероятности в будущем могут привести к затруднению использования протезно-ортопедического изделия, вплоть до полного отказа от использования последнего. Среди исследуемых на инвазивное лечение соглашались не все, что может быть продиктовано возникновением психологических барьеров при осознании перспективы повторного переживания аналогичного опыта.

Несмотря на выявление у пациентов препятствий для дальнейшего протезирования, необходимо предпринимать всё возможное, чтобы изготавливаемые протезы даже в условиях атипичного протезирования были удобны в использовании, позволяли пострадавшим адаптироваться к новым обстоятельствам, возвращаться к привычному образу жизни и общественно полезному труду. Исследование вносит важный вклад в понимание проблематики реабилитации и протезирования пациентов с ампутациями и подтверждает необходимость дальнейшего изучения этой области. Результаты данного анализа подтверждают выводы ряда международных источников о важности правильного выбора приемной гильзы и тщательной подготовки культи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследуемой выборке пациентов большую часть представляют случаи, вызванные минно-взрывными травмами, второе место по частоте встречаемости занимают ампутационные культи у пациентов с сосудистыми патологиями. Исследование показало, что в 23 % случаев пороки и послеампутационные болезни значительно усложнили дальнейшее протезирование.

Абсолютным противопоказанием к протезированию является невозможность изготовления приёмной гильзы, позволяющей пациенту опираться на культю и полноценно пользоваться протезом. К относительным противопоказаниям можно отнести неправильный опилов большеберцовой кости, булавовидную или чрезмерно коническую культю, слишком короткую или слишком длинную культю, остеомиелит, длительно гранулирующую рану или язву, лигатурные свищи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование финансировалось за счёт внутренних ресурсов учреждения. Внешнего финансирования не привлекалось.

Этическая экспертиза. Этическая экспертиза проведена локальным комитетом по этике. Заключение о соответствии исследования этическим нормам получено до его начала.

Информированное согласие. Все пациенты, участвующие в исследовании, добровольно подписали информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hagberg K, Brånemark R. One hundred patients treated with osseointegrated transfemoral amputation prostheses--rehabilitation perspective. *J Rehabil Res Dev*. 2009;46(3):331-344.
2. Сепреев С.В. Ампутации нижних конечностей и протезирование. *Практическая медицина*. 2021;19(3):126-128. doi: 10.32000/2072-1757-2021-3-126-128.
3. Goldman IA, Ye K, Scheinfeld MH. Lower-extremity Arterial Thrombosis Associated with COVID-19 Is Characterized by Greater Thrombus Burden and Increased Rate of Amputation and Death. *Radiology*. 2020;297(2):E263-E269. doi: 10.1148/radiol.2020202348.
4. Lancaster EM, Wu B, Iannuzzi J, et al. Impact of the coronavirus disease 2019 pandemic on an academic vascular practice and a multidisciplinary limb preservation program. *J Vasc Surg*. 2020;72(6):1850-1855. doi: 10.1016/j.jvs.2020.08.132.
5. Пильников С.А. Лечение раненых с отрывами нижних конечностей при минно-взрывных ранениях: дис. ... канд. мед. наук. М.; 2020:134. Доступно по: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010246484/. Ссылка активна на 18.11.2024.
6. Baumgartner R. Transtibial amputation. *Oper Orthop Traumatol*. 2011;23(4):280-288. (In German) doi: 10.1007/s00064-011-0040-z.
7. Бобров М.И., Живцов О.П., Самойлов Д.В. и др. Высокие ампутации нижних конечностей. Раны и раневые инфекции. *Журнал имени проф. Б.М. Костюченко*. 2019;6(3):6-23. doi: 10.25199/2408-9613-2019-6-3-6-23.
8. Маликова Л.А. Психологическая реабилитация лиц с ампутациями конечностей: теоретический обзор. *Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие*. 2018;6(2):343-360. doi: 10.23888/humJ201812343-360.
9. Гусев М.Г., Малыхин А.С., Щербина К.К., Современный метод биомеханической оценки рациональности изготовления приемных гильз протезов нижних конечностей. *Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова*. 2007;8(3):186-189.
10. Монахова М.И., Киракозов Л.Р., Смирнова Л.М. Назначение вида и конструкции протезов пациентам с частичной ампутацией стопы, используя технологию персонализированного синтеза протезов нижних конечностей. *Медицина и высокие технологии*. 2018;(2):50-56.

11. Суслев В.Г., Щербина К.К., Смирнова Л.М. и др. Медицинская технология раннего восстановления способности к самостоятельному передвижению после ампутации нижней конечности. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2019;21(2):101-109. doi: 10.17816/brmma25928.
12. Лаврова Д.И., Шишкин Б.В. Оценка нарушений функций ходьбы и стояния при ампутации стопы. *Медико-социальные проблемы инвалидности*. 2017;(1):44-47.
13. Курдыбайло С.Ф., Щербина К.К., Суслев В.Г. и др. *Повышение эффективности реабилитации инвалидов вследствие боевых действий и военной травмы, перенёсших ампутации конечностей*. СПб: Человек и его здоровье; 2006:86.
14. Мазаев М.С., Мальчевский В.А., Аксельров М.А., Данилова А.В. Общие принципы и технологии реабилитации пациентов с ампутационной культей бедра (обзор литературы). *Вятский медицинский вестник*. 2019;(3):84-91.
15. Баумгартнер Р., Ботта П. *Ампутация и протезирование нижних конечностей*. М.: Медицина, 2002:486.
16. Capsi-Morales P, Piazza C, Sjoberg L, et al. Functional assessment of current upper limb prostheses: An integrated clinical and technological perspective. *PLoS One*. 2023;18(8):e0289978. doi: 10.1371/journal.pone.0289978.
17. Чернядьев С.А., Погосян В.А., Фадин Б.В. Ампутации нижних конечностей. Клиническая и экспериментальная хирургия. *Журнал имени академика Б.В. Петровского*. 2022;10(2):54-59. doi: 10.33029/2308-1198-2022-10-2-54-59.
18. Кондрашин Н.И. *Руководство по протезированию*. М.: Медицина; 1988:542.
19. Greitemann V, Brückner L, Schäfer M, Baumgartner R. *Amputation and prosthetics*. Stuttgart: Thieme; 2016. doi:10.1055/b-003-128281.
20. Приоров Н.Н. Ампутации конечностей и протезы. М.: Медгиз; 1941:107.
21. Романов И.Н., Князева М.В., Сорокина О.А., Тюменков Ю.О. Особенности сестринского процесса в лечении пациентов с обширными ранами методом свободной кожной пластики. *Медицинская сестра*. 2020;22(2):13-16. doi: 10.29296/25879979-2020-02-04.
22. Gordon W, Balsamo L, Talbot M, et al. Amputation: Evaluation and Treatment. *Mil Med*. 2018;183(suppl_2):112-114. doi: 10.1093/milmed/usy075.
23. Осмоналиев И.Ж., Бильгильдеев М.Г., Эргашев Х.Х. и др. Шкалы оценки морфометрической готовности культы конечности к протезированию и технического состояния эксплуатируемого протеза. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2023;29(1):161-173. doi: 10.17816/vto114726.
24. Войновский Е.А., Пильников С.А., Ковалев А.С. и др. Причины пороков и болезней ампутационных культей нижних конечностей после минно-взрывной травмы. *Медицинский вестник МВД*. 2013;(2):20-30.
25. Сергеев С.В., Минасов Б.Ш., Риос Э.А. Ампутации конечностей и протезирование. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2019;1(4):39-41. doi: 10.36425/2658-6843-2019-4-39-41.
26. Выключок М.В. *Лучевая диагностика состояния культы бедра после минно-взрывных ранений: дис. ... канд. мед наук*. Обнинск, 2004:110. Доступно по: <http://www.dslib.net/luch-diagnostika/luchevaja-diagnostika-sostojaniya-kulti-bedra-posle-minno-vzryvnyh-ranenij.html>. Ссылка активна на 18.11.2024.
27. Васильев А.Ю., Егорова Е.А., Смысленова М.В. Лучевая диагностика изменений культей нижних конечностей при протезировании. *Современные технологии в медицине*. 2013;5(1):51-56.
28. Воротников А.А., Ключко С.В., Марков Н.Н. Порочные и проблемные культы нижних конечностей (частота встречаемости, причины образования). Возможности повышения клинической эффективности реабилитации инвалидов. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2010;(10):29-33.
29. Paterno L, Ibrahimi M, Gruppioni E, et al. Sockets for Limb Prostheses: A Review of Existing Technologies and Open Challenges. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2018;65(9):1996-2010. doi: 10.1109/TBME.2017.2775100.
30. Marino M, Pattni S, Greenberg M, et al. Access to prosthetic devices in developing countries: Pathways and challenges. In: *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*. Seattle, WA, USA, 2015:45-51. doi: 10.1109/GHTC.2015.7343953.
31. Gentili A, Failla G, Melnyk A, et al. The cost-effectiveness of digital health interventions: A systematic review of the literature. *Front Public Health*. 2022;10:787135. doi: 10.3389/fpubh.2022.787135.
32. Ballit A, Mougharbel I, Ghaziri H, Dao TT. Fast soft tissue deformation and stump-socket interaction toward a computer-aided design system for lower limb prostheses. *IRBM*. 2020;(41):276-285. doi: 10.1016/j.irbm.2020.02.003.

Статья поступила 18.06.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 18.06.2024; approved after reviewing 06.11.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Александр Вячеславович Пепеляев — аспирант, врач — травматолог-ортопед, a.pepelyaev@mail.ru;
Алексей Анатольевич Скоблин — доктор медицинских наук, заместитель генерального директора, skoblin@cito-pro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5309-3357>.

Information about the authors:

Aleksandr V. Pepelyaev — postgraduate student, orthopaedic surgeon, a.pepelyaev@mail.ru;
Aleksei A. Skoblin — Doctor of Medical Sciences, Deputy General Director, skoblin@cito-pro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5309-3357>.

Научная статья

УДК 616.727.61-089.881:616.727.61-089.844:616-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-175-182>

Сравнительный анализ исходов хирургического лечения пациентов после артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава

А.О. Афанасьев, А.Е. Чижов✉, Н.В. Абдиба, Л.А. Родоманова

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Чижов, Santillabox@mail.ru

Аннотация

Введение. Артроз трапецио-пястного сустава считается часто встречающейся патологией, приводящей к прогрессирующей потере функциональности I пальца кисти. Основными хирургическими методами лечения данного заболевания являются артродез седловидного сустава и подвешивающая артропластика первой пястной кости. В научных публикациях в данный момент нет единого мнения, какой из вариантов лечения оптимальный.

Цель работы — сравнение исходов хирургического лечения пациентов с артрозом первого запястно-пястного сустава после артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава.

Материалы и методы. Проанализированы результаты до- и послеоперационного обследования 60 пациентов, которым выполнены артродез I запястно-пястного сустава ($n = 29$) и подвешивающая артропластика первой пястной кости ($n = 31$): жалобы, функция исследуемой конечности по опроснику Quick DASH, уровень боли по шкале VAS, функциональность I пальца по тесту Kapandji Thumb Opposition Scores.

Результаты. Выявлено статистически значимое снижение интенсивности боли по шкале VAS ($p < 0,001$) и улучшение функции верхней конечности по шкале Quick DASH в результате обоих вариантов хирургического лечения. Эффективность хирургических методов отличалась только медианой сроков гипсовой иммобилизации. Длительность послеоперационной иммобилизации в группе пациентов с выполненным артродезом статистически значимо выше ($p = 0,004$), чем среди пациентов, которым проведена подвешивающая артропластика. Статистически значимых различий между двумя группами тяжелой и нетяжелой ручной трудовой деятельности пациентов не выявлено (коэффициент Пирсона = 0,311).

Обсуждение. Полученные результаты имеют показатели отличные от опубликованных в литературных источниках. Зависимость функциональных результатов от вида трудовой деятельности пациентов при обоих методах хирургического лечения не подтверждена. Выбор между трапецио-пястным артродезом и подвешивающей артропластикой I пястной кости, основанный на критерии тяжести труда, не всегда является верным. Увеличенные сроки гипсовой иммобилизации в группе артродеза седловидного сустава подтверждаются литературными данными и связаны с осложнениями этого варианта лечения.

Заключение. В результате проведенного статистического анализа значимых различий между исходами артродезов седловидного сустава и подвешивающей артропластики I пястной кости не выявлено.

Ключевые слова: артроз, трапецио-пястный сустав, подвешивающая артропластика, артродез

Для цитирования: Афанасьев А.О., Чижов А.Е., Абдиба Н.В., Родоманова Л.А. Сравнительный анализ исходов хирургического лечения пациентов после артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):175-182. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-175-182.



Comparative analysis of surgical outcomes of arthrodesis and suspension arthroplasty of the saddle joint

A.O. Afanasyev, A.E. Chizhov✉, N.V. Abdiba, L.A. Rodomanova

Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Saint-Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Alexander E. Chizhov, Santillabox@mail.ru

Abstract

Introduction Trapeziometacarpal osteoarthritis is a very common condition that leads to progressive loss of functionality of the first finger that can be surgically treated with arthrodesis of the saddle joint and suspension arthroplasty of the first metacarpal bone. There is a controversy over the surgical technique to choose without consensus in the literature.

The **objective** was to compare surgical outcomes of patients with trapeziometacarpal osteoarthritis treated with arthrodesis and suspension arthroplasty of the saddle joint.

Material and methods The use of both surgical options resulted in significantly reduced pain measured with the VAS ($p < 0.001$) and improved upper limb function evaluated with the Quick DASH scale. The treatments differed in the median duration of plaster immobilization. The duration of postoperative immobilization in arthrodesis patients was statistically higher ($p = 0.004$) than that in suspension arthroplasty group. No statistically significant differences were found between the two groups of heavy and light manual laborers (Pearson coefficient = 0.311).

Discussion The findings of the series indicated parameters being different from those published in the literature. The dependence between functional results and the type of working activity of patients treated with both surgical methods was not confirmed. The choice between trapezio-metacarpal arthrodesis and suspension arthroplasty of the first metacarpal bone based on the criterion of severity of work was not always correct. Increased periods of plaster immobilization in the saddle arthrodesis group are reported in the literature and associated with complications of the treatment option.

Conclusion No significant differences were found between the outcomes of saddle arthrodesis and suspension arthroplasty of the first metacarpal bone.

Keywords: osteoarthritis, trapezio-metacarpal joint, suspension arthroplasty, arthrodesis

For citation: Afanasyev AO, Chizhov AE, Abdiba NV, Rodomanova LA. Comparative analysis of surgical outcomes of arthrodesis and suspension arthroplasty of the saddle joint. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):175-182. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-175-182.

ВВЕДЕНИЕ

Трапецио-пястный сустав (седловидный сустав, первый запястно-пястный сустав) является одной из распространенных локализаций дегенеративных артрозных изменений кисти, по частоте возникновения уступающей лишь дистальным межфаланговым суставам [1, 2]. По данным исследований, артроз трапецио-пястного сустава встречается у 20 % населения старше 55 лет, при этом более чем в 36 % случаев данной патологии подвержены женщины в постменопаузальном периоде [3–5]. Артроз седловидного сустава сопровождается прогрессирующей потерей функции I пальца, что характеризуется болевым синдромом, нарушением щипкового хвата и постепенно нарастающей деформацией костно-связочных структур [6, 7]. Для оценки артрозных изменений и определения стратегии лечения существует рентгенологическая классификация Eaton – Littler, состоящая из четырех стадий и включающая следующие критерии тяжести патологии: сужение суставной щели, субхондральный остеосклероз, наличие остеофитов [8]. На первых стадиях заболевания возможно консервативное лечение, однако в большинстве случаев пациенты обращаются за медицинской помощью на поздних стадиях дегенеративных изменений в суставе при выраженной деформации первого луча, требующей хирургической коррекции [9, 10].

Основными хирургическими методами лечения артроза трапециопястного сустава являются артродез и подвешивающая артропластика I пястной кости, но в отечественной и зарубежной литературе отсутствует единое мнение, какой из способов оперативного лечения оптимальный [11–13].

Некоторые авторы считают подвешивающую артропластику «золотым стандартом» в лечении артроза первого запястно-пястного сустава, другие склоняются к выбору трапецио-пястного артродеза, который, несмотря на уменьшение диапазона движений первого луча, сохраняет большую в сравнении с подвешивающей пластикой силу щипкового хвата [14–17]. Исследование M.J. Barakat et al. показало, что при наличии ограничения движений в одном из суставов первого луча происходит компенсация движений в смежных суставах, способная несколько нивелировать сниженный вследствие артродеза функциональный объем [18].

Продолжающаяся дискуссия о выборе хирургического метода лечения артроза первого запястно-пястного сустава при противоречивых литературных данных явилась причиной проведения сравнительного анализа исходов хирургического лечения пациентов после выполнения артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава.

Цель работы — сравнение исходов хирургического лечения пациентов с артрозом первого запястно-пястного сустава после артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования. Одноцентровое когортное ретроспективное исследование, выполненное в соответствии с рекомендациями STROBE.

Условия и сроки проведения. Включены данные ретроспективного анализа историй болезни и лучевых методов обследования 60 пациентов, разделенных на две группы: группа 1 — с артродезом первого трапецио-пястного сустава ($n = 29$), группа 2 — с подвешивающей артропластикой первой пястной кости ($n = 31$). Все пациенты получили хирургическое лечение в плановом порядке в условиях НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в период с 2020 по 2023 гг.

Критерии соответствия: пациенты с артрозом первого запястно-пястного сустава III стадии по классификации Eaton – Littler, которым выполнены артродез либо подвешивающая артропластика.

Критерии не включения: пациенты с врожденными пороками развития кисти, тяжёлыми травмами кисти в анамнезе (минно-взрывные, ожоги и пр.), нейропатией верхних конечностей, системными заболеваниями, в том числе аутоиммунными (СКВ, склеродермия, серопозитивный ревматоидный артрит).

Методы сбора и анализа данных. Для оценки отдаленных результатов хирургического лечения проводили коммуникацию с пациентами путем удаленного обследования и опроса с помощью стандартных анкет. Оценку функции кисти и болевого синдрома выполняли на основе субъективных критериев с использованием опросников Quick DASH (англ.: Disability of the Arm, Shoulder and Hand) и VAS (англ.: Visual Analogue Scale). Измерение объема противопоставления I пальца осуществляли с помощью теста Kapandji Thumb Opposition Scores. Информированное согласие на обработку данных и включении их в исследование получено от всех пациентов.

Описание медицинского вмешательства. Все хирургические вмешательства проводил один хирург-исследователь в условиях операционной, в положении пациента лежа на спине с укладкой верхней конечности на приставном столике под проводниковой анестезией в зоне плечевого сплетения и вну-

тривенной седацией с мониторингом витальных функций пациента. После установки кровоостанавливающего жгута в области верхней трети предплечья производили доступ к первому запястно-пястному суставу. При осуществлении подвешивающей артропластики выполняли продольный разрез до 5 см в области трапецио-пястного сустава по тыльно-лучевой стороне. Далее после капсулотомии производили удаление кости трапеции и видимых остеофитов. После чего осуществляли фигурный доступ в зоне первого костно-фиброзного канала сухожилий разгибателей и визуализировали сухожилие длинной отводящей мышцы I пальца. Из области сухожильно-мышечного перехода брали отщеп с лучевой стороны сухожилия длинной отводящей мышцы до ее дистального прикрепления. Отщеп проводили под сухожилиями длинной отводящей мышцы и короткого разгибателя I пальца. Выполняли рассечение по средней линии сухожилия длинного лучевого разгибателя запястья размером до 1 см. Отщеп пропускали через сформированное отверстие, определяли оптимальное натяжение сухожилия. Далее отщеп обвивали вокруг сухожилий длинной отводящей мышцы I пальца и короткого разгибателя I пальца и прошивали с сухожилием длинного разгибателя запястья нитью Пролен 3/0. Из оставшегося сухожильного отщепа формировали сухожильный клубок (теноболл), далее укладывали и подшивали к остаточной полости после удаления кости трапеции. Выполняли шов капсулы сустава и ушивание раны. При проведении артродеза первого запястно-пястного сустава производили продольный доступ в области сустава длиной до 5 см. После капсулотомии выполняли резекцию суставных поверхностей основания первой пястной кости и кости трапеции до субхондральной кости. Далее выполняли предварительную фиксацию I пальца в функциональном положении 30° приведения и 15° лучевого отклонения при помощи двух спиц Киршнера. Окончательную фиксацию производили при помощи Т-образной пластины толщиной 1,0 мм, обращенной широким основанием к кости трапеции и узким к пястной кости, фиксированной винтами 2,0 мм. После чего выполняли шов капсулы сустава и ушивание раны.

Статистическая обработка данных. Статистический анализ выполнен в IBM SPSS Statistics 26. Нормальность распределения исходных данных проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка (группа артродез $n = 29$; подвешивающая пластика $n = 31$), где при $p > 0,05$ распределение считали нормальным, при $p < 0,05$ отличным от нормального. В исследуемых группах сравнение номинальных бинарных показателей (пол, доминирующая конечность, наличие жалоб, вредных привычек, реабилитация в послеоперационном периоде) выполняли с использованием четырехпольных таблиц с расчетом критерия Фишера. Сравнение двух независимых групп по показателям qDASH до, qDASH после операции выполняли с использованием критерия t-Стьюдента (с учетом нормального распределения данных), VAS до, VAS после операции, Kapandji score — с использованием критерия Манна – Уитни (распределение отличное от нормального). Зависимые группы по показателям qDASH до и после операции анализировали с использованием парного критерия t-Стьюдента; по показателям VAS до и после операции — по критерию Уилкоксона. Сравнительный анализ групп в зависимости от деятельности пациента (тяжелый физический труд / нетяжелый физический труд) изучали с помощью построения четырехпольных таблицы и расчета по критерию Пирсона с визуальным отображением в нормированных гистограммах с накоплением.

Исследование одобрено этическим комитетом учреждения и проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее часто хирургическое лечение проводили на доминирующей руке пациентов (в группе 1 — 68,9 %; в группе 2 — 80,6 %). В большинстве случаев жалобами пациентов на момент обращения являлась боль (в группе 1 — 72,4 %; в группе 2 — 80,6 %). Травмы оперированной кисти не наблюдали ни у одного из исследуемых пациентов. У большинства пациентов не было вредных привычек и хронических заболеваний. Большинство пациентов обеих групп не проходили реабилитацию с кистевым терапевтом (группа 1 — 72,4 %; группа 2 — 64,5 %). В группе 1 тяжелые физические нагрузки испытывали 51,7 % пациентов, в группе 2 — только 38,7 % (табл. 1).

По результатам проведенного статистического анализа значимых различий между независимыми группами (артродез и подвешивающая артропластика) по показателям опросника Quick DASH, визуальной аналоговой шкалы боли VAS и тесту противопоставления I пальца Kapsandji Score не выявлено (табл. 2).

В результате обоих вариантов хирургического лечения выявлено статистически значимое снижение интенсивности боли по шкале VAS ($p < 0,001$) и улучшение функции верхней конечности по шкале Quick DASH (табл. 3). Эффективность вариантов лечения отличается только медианой сроков гипсовой иммобилизации.

Таблица 1

Общая характеристика исследуемых пациентов

Показатели			Группа 1 (n = 29)	Группа 2 (n = 31)	Уровень статистической значимости (p)
Пол	мужчины	абс.	12	7	0,166
		%	41,4	22,6	
	женщины	абс.	17	24	
		%	58,6	77,4	
Возраст, полных лет	M ± SD		59,79 ± 14,044	57,97 ± 12,674	0,6
	(95 % ДИ)		(54,45–65,14)	(53,32–62,62)	
Конечность	доминирующая	абс.	20	25	0,376
		%	68,9	80,6	
	недоминирующая	абс.	9	6	
		%	31	19,3	
Жалобы на момент госпитализации	боль	абс.	21	25	0,451
		%	72,4	80,6	
	боль + ограничение функции	абс.	8	6	
		%	27,6	19,4	
Травмы оперированной кисти			0	0	
Вредные привычки	нет	абс.	25	22	0,213
		%	86,3	70,9	
	да (курение)	абс.	4	9	
		%	13,7	29,1	
Хронические заболевания	нет	абс.	25	27	0,561
		%	86,3	87,1	
	СД	абс.	4	3	
		%	13,7	9,7	
	ХБП	абс.	0	1	
		%	0	3,2	
Длительность гипсовой иммобилизации, нед., Ме (Q1–Q3)			6 (6–8)	6 (6–6)	0,004*
Занятия с кистевым реабилитологом	нет	абс.	21	20	0,585
		%	72,4	64,5	
	да	абс.	8	11	
		%	27,5	35,4	
Инфекция после операции			0	0	
Связь работы с нагрузками	нет	абс.	14	19	0,311
		%	48,3	61,3	
	да	абс.	15	12	
		%	51,7	38,7	

* — различия показателей статистически значимы.

Таблица 2

Сравнительный анализ исследуемых методов лечения по показателям Quick DASH, шкалы боли VAS, тесту Kapandji score

Показатели	Группа 1 (n = 29)	Группа 2 (n = 31)	Уровень статистической значимости (p)
Удовлетворенность результатами, %	100	100	
qDASH до операции, M ± SD (95 % ДИ)	75,06 ± 6,27 (72,67–77,44)	75,22 ± 6,17 (72,96–77,48)	0,92
qDASH после, M ± SD (95 % ДИ)	33,14 ± 5,12 (31,19–35,09)	34,65 ± 7,86 (31,77–37,53)	0,38
VAS до, Ме (Q1–Q3)	8 (7–8)	8 (7,5–8)	0,462
VAS после, Ме (Q1–Q3)	2 (1–2)	2 (1–2,5)	0,562
Kapandji score, Ме (Q1–Q3)	6 (6–6)	6 (5–6)	0,448

* — различия показателей статистически значимы.

Таблица 3

Сравнительный анализ функциональных результатов исследуемых методов лечения до операции и в послеоперационном периоде

Хирургический метод	Функциональные результаты		P
	до операции	после операции	
Метод артродез (расчет по qDASH)	75,06 ± 6,27 (72,67–77,44)	33,14 ± 5,12 (31,19–35,09)	< 0,001*
Метод подвешивающая пластика (расчет по qDASH)	75,22 ± 6,17 (72,96–77,48)	34,65 ± 7,86 (31,77–37,53)	< 0,001*
Метод артродез (расчет по VAS)	8 (7–8)	2 (1–2)	< 0,001*
Метод подвешивающая пластика (расчет по VAS)	8 (7,5–8)	2 (1–2,5)	< 0,001*

* — различия показателей статистически значимы.

Длительность послеоперационной иммобилизации в группе пациентов, которым выполняли артродез, была статистически значимо выше ($p = 0,004$), чем у пациентов с подвешивающей артропластикой (рис. 1).

В результате анализа выявлено, что статистически значимых различий между двумя группами тяжелой и нетяжелой ручной трудовой деятельности пациентов не выявлено (коэффициент Пирсона = 0,311). Таким образом, изучение дальнейшей корреляции по шкале Чеддока не информативно. Результаты визуально отображены в нормированных гистограммах с накоплением (рис. 2).

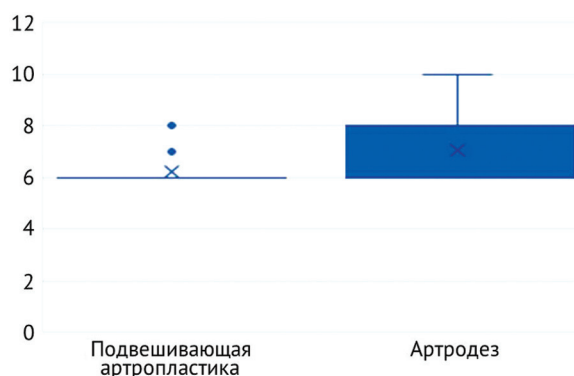


Рис. 1. Длительность иммобилизации в двух группах сравнения в виде box plot, нед.

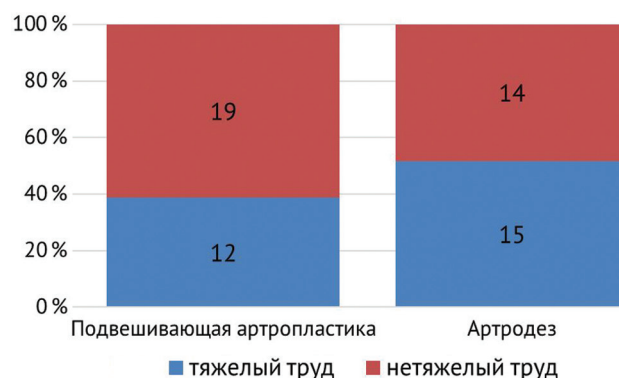


Рис. 2. Корреляция метода лечения в зависимости от вида физического труда пациента

ОБСУЖДЕНИЕ

Целью данного исследования являлся сравнительный анализ исходов хирургического лечения пациентов с артрозом седловидного сустава после выполнения трапециопястного артродеза и подвешивающей артропластики первой пястной кости. Полученные показатели послеоперационной функциональной эффективности противоречат результатам, описанным в литературе.

В настоящее время опубликованы результаты различных вариантов трапециопястного артродеза с использованием спиц Киршнера, серкляжной проволоки, металлических скоб, компрессионных винтов и блокирующих пластин [17, 19]. В исследовании A.V. Save et al. описано применение нейтрализующей пластины в сочетании с введением компрессионных винтов в седловидный сустав у 10 пациентов, в результате которого сращение наблюдали в 100 % случаев [20]. В нашем исследовании мы использовали фиксацию трапециопястного сочленения с применением Т-образной блокирующей пластины без компрессионных винтов, поскольку считаем, что при деформации кости трапеции и базального отдела первой пястной кости и потери костной массы вследствие остеопорозных изменений, не всегда удастся успешно сочетать данные импланты. По сведениям F. Smeraglia et al., отсутствие костного сращения является основным осложнением артродеза седловидного сустава, однако некоторые исследования не показали клинических различий между пациентами с несращением и теми, у кого наступила консолидация в трапециопястном сочленении [17, 21]. В исследовании M.J. Forseth et al. выполнено 26 артродезов седловидного сустава с применением блокирующей пластины, в результате которых отсутствие костного сращения наблюдали в 8 % случаев, а отсроченное сращение — в 11 % [22]. С учетом противоречивых мнений о влиянии сращения на функциональный результат артродеза седловидного сустава мы не учитывали данный критерий, а оценивали только показатели функции кисти.

Подвешивающая артропластика в большинстве случаев является методом выбора при лечении артроза седловидного сустава, несмотря на снижение силы хвата [23]. При выполнении подвешивающей артропластики мы применяли вариант трапециэктомии с подвешиванием первой пястной кости при помо-

щи отщепа сухожилия длинной отводящей мышцы I пальца и интерпонирующая остаточной полости сухожильным трансплантатом (теноболлом). В систематическом анализе за 2022 г. не выявлено статистически значимого преимущества между различными вариантами подвешивающей артропластики с интерпонирующим сухожильным трансплантатом или без него, а также с реконструкцией связочного аппарата [24]. Исследование P. Esenwein et al. показало, что подвешивание первой пястной кости с использованием отщепа сухожилия длинной отводящей мышцы I пальца технически является менее требовательной методикой, но не уступает варианту подвешивания с применением отщепа сухожилия лучевого сгибателя запястья [25]. В проведенном сравнительном анализе не выявлено статистически значимой разницы между двумя исследуемыми методиками хирургического лечения артроза трапецио-пястного сустава по данным используемых функциональных шкал. Длительность послеоперационной иммобилизации была выше в группе пациентов, которым выполняли трапецио-пястный артродез, что подтверждает описываемые в литературе осложнения данного метода лечения.

По данным литературных источников, артродез показан пациентам молодого возраста, осуществляющим тяжелую физическую работу [26], сопровождается высокой удовлетворенностью пациентов, но с учетом ранее перечисленных осложнений рассматриваемый хирургический метод не является «золотым стандартом» в лечении артроза седловидного сустава. В нашем исследовании соотношение пациентов в группе артродеза с тяжелым и нетяжелым физическим трудом составило 51,7 % и 48,3 %, возрастной диапазон — 54,45–65,14 г.

Применение подвешивающей артропластики рекомендовано пациентам, имеющим высокие функциональные требования к кисти и не выполняющим тяжелые физические нагрузки в повседневной жизни [27, 28], соотношение пациентов тяжелого и нетяжелого ручного труда в группе подвешивающей артропластики составило 38,7 % к 61,3 %, возрастной диапазон — 53,3–62,6 г.

В результате проведенного статистического анализа значимых различий между независимыми группами (артродез и подвешивающая артропластика) по показателям опросника Quick DASH, визуальной аналоговой шкалы боли VAS и тесту противопоставления I пальца Kapsandji Score не выявлено. В обеих группах пациенты были удовлетворены результатами лечения, что говорит о сопоставимости методик независимо от характера деятельности пациента.

Выявлено статистически значимое улучшение показателей при двух вариантах хирургического лечения, сопоставимое с опубликованными ранее результатами исследований [24, 29, 30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительного анализа исходов хирургического лечения пациентов с артрозом первого запястно-пястного сустава после артродеза и подвешивающей артропластики седловидного сустава мы не выявили значительного преимущества какого-либо из исследуемых методов. Утверждение, что артродез необходимо выполнять у пациентов с тяжелым ручным трудом, а подвешивающую артропластику — тем пациентам, которым важен больший объем движений, в нашем исследовании не было подтверждено. Мы считаем, что выбор оптимального метода лечения данной патологии требует индивидуального рассмотрения для каждого клинического случая.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kalichman L, Hernández-Molina G. Hand osteoarthritis: an epidemiological perspective. *Semin Arthritis Rheum*. 2010;39(6):465–476. doi: 10.1016/j.semarthrit.2009.03.001.
2. Matullo KS, Ilyas A, Thoder JJ. CMC arthroplasty of the thumb: a review. *Hand (N Y)*. 2007;2(4):232–239. doi: 10.1007/s11552-007-9068-9.
3. Athlani L, Bergere M, Motte D, Prandi B, Beaulieu JY, Moissenet F. Trapeziometacarpal joint loading during key pinch grip: A cadaver study. *Hand Surg Rehabil*. 2022;41(2):204–209. doi: 10.1016/j.hansur.2021.11.009.
4. van der Oest MJW, Duraku LS, Andrinopoulou ER, et al. The prevalence of radiographic thumb base osteoarthritis: a meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2021;29(6):785–792. doi: 10.1016/j.joca.2021.03.004.
5. Sonne-Holm S, Jacobsen S. Osteoarthritis of the first carpometacarpal joint: a study of radiology and clinical epidemiology. Results from the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2006;14(5):496–500. doi: 10.1016/j.joca.2005.12.001.
6. Batra S, Kanvinde R. Osteoarthritis of the thumb trapeziometacarpal joint. *Curr Orthop*. 2007;21(2):135–144. doi: 10.1016/j.cuor.2007.02.006.
7. Hautefeuille P, Duquesnoy B. Root arthrosis of the thumb. *Rev Prat*. 1991;41(26):2714–2717.
8. Kennedy CD, Manske MC, Huang JI. Classifications in Brief: The Eaton-Littler Classification of Thumb Carpometacarpal Joint Arthrosis. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(12):2729–2733. doi: 10.1007/s11999-016-4864-6.
9. Heyworth BE, Lee JH, Kim PD, et al. Hylan versus corticosteroid versus placebo for treatment of basal joint arthritis: a prospective, randomized, double-blinded clinical trial. *J Hand Surg Am*. 2008;33(1):40–48. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.10.009.
10. Comtet JJ, Rumelhart C. Total trapezometacarpal prostheses: concepts and classification study. *Chir Main*. 2001;20(1):48–54. (In French) doi: 10.1016/s1297-3203(01)00013-0.

11. Mureau MA, Rademaker RP, Verhaar JA, Hovius SE. Tendon interposition arthroplasty versus arthrodesis for the treatment of trapeziometacarpal arthritis: a retrospective comparative follow-up study. *J Hand Surg Am.* 2001;26(5):869-876. doi: 10.1053/jhsu.2001.26659.
12. Barbier O, Chryssagi AM, Hugon S, et al. Prospective functional analysis of trapeziectomy combined with intermetacarpal tendon stabilisation in trapeziometacarpal arthritis. *Acta Orthop Belg.* 2004;70(5):410-416.
13. Schröder J, Kerkhoffs GM, Voerman HJ, Marti RK. Surgical treatment of basal joint disease of the thumb: comparison between resection-interposition arthroplasty and trapezio-metacarpal arthrodesis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2002;122(1):35-38. doi: 10.1007/s004020100313.
14. Weilby A. Tendon interposition arthroplasty of the first carpo-metacarpal joint. *J Hand Surg Br.* 1988;13(4):421-425. doi: 10.1016/0266-7681(88)90171-4.
15. DelSignore JL, Zambito K, Ballatori SE. Suture Suspension Arthroplasty for Thumb Carpometacarpal Arthritis Reconstruction: 12- to 14-Year Follow-up. *Hand (N Y).* 2023;18(1):105-112. doi: 10.1177/15589447211003176.
16. Kazmers NH, Hippensteel KJ, Calfee RP, et al. Locking Plate Arthrodesis Compares Favorably with LRTI for Thumb Trapeziometacarpal Arthritis: Early Outcomes from a Longitudinal Cohort Study. *HSS J.* 2017;13(1):54-60. doi: 10.1007/s11420-016-9527-3.
17. Spekrijse KR, Selles RW, Kedilioglu MA, et al. Trapeziometacarpal Arthrodesis or Trapeziectomy with Ligament Reconstruction in Primary Trapeziometacarpal Osteoarthritis: A 5-Year Follow-Up. *J Hand Surg Am.* 2016;41(9):910-916. doi: 10.1016/j.jhsa.2016.07.089.
18. Barakat MJ, Field J, Taylor J. The range of movement of the thumb. *Hand (N Y).* 2013;8(2):179-182. doi: 10.1007/s11552-013-9492-y.
19. Bettinger PC, Linscheid RL, Berger RA, et al. An anatomic study of the stabilizing ligaments of the trapezium and trapeziometacarpal joint. *J Hand Surg Am.* 1999;24(4):786-798. doi: 10.1053/jhsu.1999.0786.
20. Save AV, Wolfe SW, Victoria C, Osei DA. Trapeziometacarpal Joint Arthrodesis Using a Cannulated Compression Screw and Locking Plate Construct. *HSS J.* 2022;18(4):559-565. doi: 10.1177/15563316221088579.
21. Smeraglia F, Soldati A, Orabona G, et al. Trapeziometacarpal arthrodesis: is bone union necessary for a good outcome? *J Hand Surg Eur Vol.* 2015;40(4):356-361. doi: 10.1177/1753193414564095.
22. Forseth MJ, Stern PJ. Complications of trapeziometacarpal arthrodesis using plate and screw fixation. *J Hand Surg Am.* 2003;28(2):342-345. doi: 10.1053/jhsu.2003.50042.
23. Guzzini M, Perugia D, Proietti L, et al. Suspension arthroplasty versus interposition arthroplasty in the treatment of trapeziometacarpal osteoarthritis: a clinical and magnetic resonance imaging study. *Int Orthop.* 2019;43(3):647-651. doi: 10.1007/s00264-019-04292-3.
24. Saheb RLC, Vaz BAS, Soeira TP, et al. Surgical treatment for rhizarthrosis: a systematic review of the last 10 years. *Acta Ortop Bras.* 2022;30(1):e246704. doi: 10.1590/1413-785220223001e246704.
25. Esenwein P, Hoigne D, Zdravkovic V, Sanchez T. Resection, interposition and suspension arthroplasty for treatment of Basal joint arthritis of the thumb: a randomized and prospective comparison of techniques using the abductor pollicis longus- and the flexor carpi radialis tendon. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2011;43(5):289-294. (In German) doi: 10.1055/s-0031-1285883.
26. Pillukat T, Mühlendorfer-Fodor M, Fuhrmann R, et al. Arthrodesis of the trapeziometacarpal joint. *Oper Orthop Traumatol.* 2017;29(5):395-408. (In German) doi: 10.1007/s00064-017-0515-7.
27. Родоманова Л.А., Орлова И.В. Хирургическое лечение остеоартроза седловидного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2018;24(3):135-144. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-135-144.
28. Satria O, Wibowo RS, Putra GU, Fathurrahman I. Suture suspension sling arthroplasty in thumb carpometacarpal joint arthritis: A case series. *Int J Surg Case Rep.* 2023;110:108583. doi: 10.1016/j.ijscr.2023.108583.
29. Tosun SC, Pietzsch LB, Held M, et al. Rhizarthrosis: Resection Arthroplasty versus Resection Suspension Arthroplasty - Still the Gold Standard? *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2024;56(3):219-226. (In German) doi: 10.1055/a-2231-2279.
30. Егизарян К.А., Парсаданян Г.К., Ершов Д.С. и др. Среднесрочные результаты хирургического лечения ризартроза методами интерпозиционной и суспензионно-интерпозиционной артропластики. *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(4):69-77. doi: 10.17816/2311-2905-17288.

Статья поступила 27.12.2024; одобрена после рецензирования 15.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 27.12.2024; approved after reviewing 15.01.2025; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Артем Олегович Афанасьев — врач — травматолог-ортопед, afar_kav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6407-5888>;

Александр Евгеньевич Чижов — врач — травматолог-ортопед, аспирант, Santillabox@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2019-6242>;

Нино Важаева Абдиба — врач — травматолог-ортопед, лаборант-исследователь, ninoabdiba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9152-5299>;

Любовь Анатольевна Родоманова — доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделением, врач — травматолог-ортопед, rodomanovaliubov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>.

Information about the authors:

Artem O. Afanasyev — orthopaedic surgeon, afar_kav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6407-5888>;

Alexander E. Chizhov — orthopaedic surgeon, postgraduate student, Santillabox@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2019-6242>;

Nino V. Abdiba — orthopaedic surgeon, research assistant, ninoabdiba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9152-5299>;

Liubov A. Rodomanova — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, orthopaedic surgeon, rodomanovaliubov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>.

Научная статья

УДК 616.711.5/.6-006-089.873.4-06:616.711-008.1-071

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-183-193>

Факторы риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолями позвоночника

Н.С. Заборовский^{1,2✉}, С.В. Масевнин¹, В.С. Мураховский¹, В.С. Мухиддинов¹,
О.А. Смекалёнков¹, Д.А. Пташников^{3,4}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургская клиническая больница Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Сергеевич Заборовский, n.zaborovskii@yandex.ru

Аннотация

Введение. Спондилэктомия при опухолях позвоночника обеспечивает оптимальный локальный контроль, однако сопровождается высоким риском нестабильности имплантатов.

Цель работы — определить факторы риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолевым поражением позвоночника.

Материалы и методы. Ретроспективное когортное исследование включает пациентов с опухолями позвоночника, которым выполнена резекция новообразования в 2007–2023 гг. Критерии включения: спондилэктомия с установкой протеза тела позвонка, локализация в грудном или поясничном отделах, период наблюдения ≥ 12 мес. Для выявления предикторов нестабильности использованы методы LASSO-регрессии и Random Forest с последующим мультивариантным анализом.

Результаты. Нестабильность имплантатов развилась у 16 пациентов (18,4 %). Факторами риска являлись: использование костного цемента вместо аллотрансплантата (OR = 0,125, $p = 0,014$), несоответствие контактных поверхностей $> 10^\circ$ (OR = 0,214, $p = 0,026$), проседание протеза > 2 мм через 3 мес. (OR = 4,497, $p = 0,023$).

Обсуждение. Выявленные факторы риска имеют важное клиническое значение для профилактики нестабильности имплантатов. Использование костного трансплантата вместо цемента, точное соответствие контактных поверхностей и контроль раннего проседания протеза позволяют значительно снизить риск несостоятельности металлоконструкции. Полученные результаты подтверждают необходимость тщательного предоперационного планирования и регулярного послеоперационного мониторинга.

Заключение. Выявлены три независимых фактора риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолевым поражением позвоночника: использование костного цемента вместо аллотрансплантата, несоответствие контактных поверхностей протеза более 10° , проседание протеза более 2 мм через 3 мес., которые следует учитывать при планировании хирургического вмешательства и послеоперационном мониторинге для профилактики нестабильности металлоконструкции.

Ключевые слова: опухоли позвоночника, спондилэктомия, нестабильность имплантатов, факторы риска, протез тела позвонка

Для цитирования: Заборовский Н.С., Масевнин С.В., Мураховский В.С., Мухиддинов В.С., Смекалёнков О.А., Пташников Д.А. Факторы риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолями позвоночника. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):183-193. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-183-193.



Risk factors for hardware failure after total spondylectomy in patients with spinal tumors

N.S. Zaborovskii^{1,2✉}, S.V. Masevnin¹, V.S. Murakhovsky¹, R.A. Mukhiddinov¹,
O.A. Smekalyonkov¹, D.A. Ptashnikov^{3,4}

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Saint-Petersburg, Russian Federation

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Saint-Petersburg Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁴ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Nikita S. Zaborovsky, n.zaborovskii@yandex.ru

Abstract

Introduction Total spondylectomy for spinal tumors provides optimal local control and is associated with a high risk of implant instability.

The **objective** was to determine risk factors for implant instability after spondylectomy in patients with neoplastic lesions of the spine.

Material and methods A retrospective cohort study included patients with spinal tumors treated with tumor resection between 2007 and 2023. Inclusion criteria were spondylectomy and vertebral body replacement, thoracic or lumbar spine localization, follow-up period ≥ 12 months. LASSO regression and Random Forest methods and multivariate analysis were used to identify instability predictors.

Results Implant instability was observed in 16 patients (18.4 %). Risk factors included the use of bone cement instead of allograft (OR = 0.125, $p = 0.014$), contact surface mismatch $> 10^\circ$ (OR = 0.214, $p = 0.026$), prosthesis subsidence > 2 mm at 3 months (OR = 4.497, $p = 0.023$).

Discussion The risk factors identified had a great clinical role for the prevention of implant instability. The use of bone graft instead of cement, precise matching of contact surfaces and control of early prosthetic subsidence can significantly reduce the risk of metal construct failure. Careful preoperative planning and regular postoperative monitoring are essential for the outcome.

Conclusion Three independent risk factors for implant instability after spondylectomy identified in patients with spinal tumor lesions included the use of bone cement instead of allograft, a discrepancy between the contact prosthetic surfaces of more than 10° , and an implant subsidence of more than 2 mm after 3 months. These factors are important for planning of the surgical intervention and postoperative monitoring to prevent metal construct instability.

Keywords: spinal tumors, spondylectomy, implant instability, risk factor, vertebral body replacement

For citation: Zaborovskii NS, Masevnin SV, Murakhovsky VS, Mukhiddinov RA, Smekalyonkov OA, Ptashnikov DA. Risk factors for hardware failure after total spondylectomy in patients with spinal tumors. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):183-193. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-183-193.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с онкологическими представлениями спондилэктомию при опухолях позвоночника обеспечивает наилучший локальный контроль заболевания [1–4]. Однако с биомеханической точки зрения эта операция вызывает значительное нарушение стабильности позвоночника, что требует тщательного планирования реконструктивного этапа вмешательства [5–7].

Современные принципы реконструкции после тотальной спондилэктомии основаны на концепции круговой стабилизации позвоночника [8]. Протез тела позвонка играет ключевую роль в восстановлении передней опорной колонны, обеспечивая адекватную анатомическую высоту межтелового промежутка и распределение осевой нагрузки [9]. Задняя инструментальная фиксация, в свою очередь, создает жесткую систему, препятствующую избыточной подвижности в оперированном сегменте [10].

Несмотря на постоянное совершенствование хирургической техники и имплантатов, частота механических осложнений после подобных вмешательств остается значительной [11]. К наиболее серьезным осложнениям относятся нестабильность металлоконструкции, миграция протеза тела позвонка и формирование псевдоартроза [12, 13]. Эти осложнения могут приводить к необходимости повторных операций, ухудшению качества жизни пациентов и снижению эффективности онкологического лечения [14, 15].

Понимание факторов, которые влияют на развитие нестабильности имплантов, имеет решающее значение для оптимизации хирургической тактики и улучшения отдаленных результатов лечения.

Цель работы — определить факторы риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолевым поражением позвоночника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное когортное исследование включает пациентов с опухолями позвоночника, которым была выполнена резекция новообразования в период с 2007 по 2023 гг. Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

Критерии включения: (1) выполненная спондилэктомию, (2) установка протеза тела позвонка сетчатого типа (mesh cage), (3) локализация в грудном или поясничном отделах; (4) полная информация о состоянии металлоконструкции; (5) период наблюдения ≥ 12 мес.

Критерии исключения: (1) пациенты с более чем 20 % пропущенных значений в наборе данных; (2) неагрессивные доброкачественные опухоли; (3) патологические переломы позвоночника, не связанными с опухолями.

В исследование включены 87 пациентов, оперированных в период с 2007 по 2023 гг. Неполные данные (не более 20 % пропущенных значений) имели 8 (9,2 %) пациентов без случаев нестабильности, что скорректировано методом множественной импутации. В исследуемой группе преобладали пациенты мужского пола (60 %). Медиана возраста составила 56 (48,5; 62) лет. Большинство пациентов (63 %) до операции передвигались самостоятельно, 17 % использовали дополнительные средства опоры, 20 % не могли ходить. По шкале ECOG преобладали пациенты с оценкой 1–2 балла (67 %). Медиана времени от диагностики патологии до операции составила 4 (2; 6) мес. (табл. 1).

Таблица 1

Общая характеристика пациентов

Характеристика		Показатели		
		медиана	абс.	%
Количество пациентов			87	100
Женщины			35	40,2
Мужчины			52	59,8
Возраст, лет		56 (48,5; 62,0)		
Индекс массы тела		23,9 (21,9; 26,5)		
Индекс коморбидности, баллы		7 (2,0; 8,5)		
Ходьба до операции	не ходит		17	19,5
	ходит с дополнительной опорой		15	17,2
	ходит самостоятельно		55	63,3
Статус по ECOG	0		3	3,4
	1		27	31,0
	2		31	35,6
	3		16	18,4
	4		10	11,6
Индекс сакропении		0,7 (0,7; 0,8)		
Время до операции, мес.		4 (2; 6)		

Резекцию опухоли выполняли в объеме спондилэктомии единым блоком (*en bloc*). Широкую *en bloc* резекцию проводили в случаях, когда это было технически возможно без компромисса значимых структур. При эпидуральном распространении опухоли или вовлечении магистральных сосудов проводили менингиолиз, выделение сосудов, выполняли запланированную краевую или внутриочаговую *en bloc* спондилэктомию с максимально возможным удалением опухолевой ткани (намеренная трансгрессия). После спондилэктомии проводили замещение пострезекционного дефекта сетчатым протезом тела позвонка и инструментальную реконструкцию позвоночника транспедикулярной системой фиксации. Заполняли протез костным цементом или аллогенным костным трансплантатом. На грудном отделе оперативное вмешательство стандартно выполняли из заднего доступа, в отдельных случаях использовали комбинированный доступ для мобилизации массивных опухолей. На поясничном отделе позвоночника операцию проводили в два этапа, — из заднего и переднего доступов. После операции пациентов направляли к онкологу для решения вопроса об адъювантной терапии.

Данные содержали как количественные, так и качественные переменные, включая возраст, пол, уровень поражения позвоночника, характеристики опухоли, данные о предоперационной неврологической функции, хирургические параметры, объем кровопотери, осложнения во время и после операции, а также исходы, такие как амбулаторный статус и наличие механической нестабильности конструкции. В общей сложности проанализированы 42 переменные.

Индекс сакропении оценивали как отношение поперечной площади пояснично-подвздошной мышцы к площади тела L4 позвонка [16], степень инвазии опухолевого процесса — по Tomita [17], плотность кости — в единицах Хаунсфилда (HU) на уровне L1 [18], инвазивность операции — по критериям N. Kumar et al. [19], рентгенологические параметры — по КТ в средне-сагиттальной проекции в прооперированном сегменте (пораженный уровень и смежные позвонки). Локальный угол рассматривали как угол Кобба между верхней замыкательной пластинкой краниального смежного с протезом позвонка и нижней замыкательной пластинкой каудального смежного с протезом позвонка [20]. Высоту сегмента (среднюю высоту сегмента с протезом) рассчитывали как среднее арифметическое двух значений. Переднюю дистанцию определяли как расстояние от верхнего переднего края смежного краниального позвонка до нижнего края каудального позвонка, заднюю дистанцию — от верхнего заднего края смежного краниального позвонка до нижнего края каудального позвонка (рис. 1). Проседание протеза рассматривали как уменьшение высоты сегмента по сравнению с послеоперационными показателями, несоответствие контактных поверхностей — как угол более 10° между контактной поверхностью протеза и замыкательной пластинкой (рис. 2) [21]. Осложнения оценивали по системе SAVES 2 [22]. Общую выживаемость определяли от момента оперативного вмешательства на позвоночнике до летального исхода или последнего контрольного наблюдения, выживаемость без локального рецидива — как время от операции до диагностики рецидива на основании инструментальных методов исследования. Также отслеживали наличие отдаленных послеоперационных осложнений и функциональный результат способности больного к самостоятельному передвижению (степень восстановления неврологического статуса).



Рис. 1. КТ грудного отдела позвоночника, срединно-сагиттальный срез: состояние после резекции хондросаркомы Th7 позвонка: А — передняя дистанция сегмента, В — задняя дистанция сегмента с протезом тела позвонка

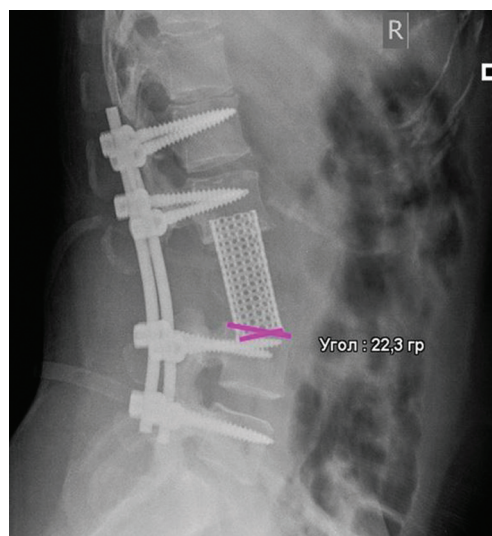


Рис. 2. Боковая рентгенограмма поясничного отдела позвоночника: состояние после резекции гемангиоэндотелиомы L3 позвонка; угол 22° несоответствия контактных поверхностей протеза и замыкательной пластинки L3 позвонка

Для анализа данных использовали язык R версии 4.3.3, среда разработки R. Studio [23]. Пропущенные значения в данных обработаны методом множественной импутации с использованием алгоритма PMM (англ.: Predictive Mean Matching) из пакета **mice** для R. Для каждой пропущенной переменной выполнено пять импутаций, что позволило учесть неопределенность, связанную с пропусками данных [24]. Средние значения представлены в виде медианы, интервальная оценка — интерквартильный размах (25 %; 75 %).

Для уменьшения размерности данных и отбора значимых предикторов использовали регуляризованную логистическую регрессию методом LASSO (англ.: Least Absolute Shrinkage and Selection Operator). Данный метод позволяет сократить количество переменных и устранить проблемы мультиколлинеарности [25]. LASSO-регрессия выполнена с помощью функции **cv.glmnet** из пакета **glmnet** в среде R. Оптимальное значение регуляризационного параметра λ выбрано на основе кросс-валидации. Переменные с ненулевыми коэффициентами, отобранные с помощью LASSO, использованы для построения финальной модели.

Дополнительно для валидации результатов LASSO и выявления потенциальных нелинейных взаимодействий между переменными применен метод Random Forest с использованием пакета **ranger**. Данный метод позволяет оценить важность переменных с учетом их взаимного влияния и нелинейных связей [26]. Результаты Random Forest использованы для подтверждения выбора предикторов, полученных методом LASSO.

Для моделирования факторов риска нестабильности металлоконструкции использована Firth логистическая регрессия, которая устраняет проблему смещения оценок в малых выборках и при редких исходах [27]. Регрессия проведена с использованием пакета **logistf** в R. Количественная оценка факторов риска представлена в виде отношения шансов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Большинство пациентов (67 %) имели солитарное метастатическое поражение позвоночника. Преимущественно поражен грудной отдел позвоночника (68 %), реже — поясничный отдел (28 %). По классификации SINS локализация распределена относительно равномерно между переходным (39 %), полуригидным (37 %) и мобильным (24 %) отделами. У большинства пациентов (86,2 %) зарегистрировано поражение одного сегмента. Механическая боль присутствовала у 83 % пациентов. Преобладал литический тип костного поражения (61 %). У 67 % пациентов сохранялась нормальная ось позвоночника. По классификации Tomita преобладало поражение 4 типа (56 %) — эпидуральная компрессия (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики опухолевого поражения

Характеристика		Показатели (n = 87)		
		медиана	абс.	%
Тип опухоли по ВОЗ	метастатическая		58	66,7
	первично-злокачественная		22	25,3
	первичная доброкачественная (агрессивная)		7	8,0
Отдел позвоночника	грудной (Th3–10)		59	67,8
	грудно-поясничный (Th11–L1)		4	4,6
	поясничный (L2–L5)		24	27,6
Локализация по SINS	переходный		34	39,1
	мобильный		21	24,1
	полуригидный		32	36,8
Количество сегментов	более 1 сегмента		12	13,8
	1 сегмент		75	86,2
Механическая боль	безболезненное течение		12	13,8
	да		72	82,8
	нет		3	3,4
Тип костного поражения	литическое		53	60,9
	смешанное		34	39,1
Наличие деформации	De novo кифоз или сколиоз		19	21,8
	нормальная ось		58	66,7
	подвывих или трансляция		10	11,4
Степень поражения сегмента по Tomita	3		7	8,1
	4		49	56,3
	5		12	13,8
	6		19	21,8
Единицы НУ в L1		103 (83,5; 122,5)		
Лучевая терапия до операции			7	8,1

В большинстве случаев (66 %) использовали комбинированный хирургический доступ. Медиана времени операции составила 270 (227,5–360,0) мин., медиана кровопотери — 1700 (1000–2500) мл. В большинстве случаев (55 %) выполняли фиксацию позвоночника 2 уровня выше, 2 уровня ниже пораженного сегмента. Преимущественно (82 %) использовали титановые стержни диаметром 5,5 мм. В одном случае потребовалась позвоночно-тазовая фиксация. В качестве материала заполнения протеза в зоне контакта с костью чаще применяли костный трансплантат (62 %), реже костный цемент (38 %). Медиана высоты протеза составила 40 (29–54) мм, медиана площади опорной поверхности — 420 (280–450) мм². Несоответствие более 10° между контактной поверхностью протеза и смежной замыкательной пластиной наблюдали в 46 % случаев. После операции отмечено изменение локального угла (медиана 3 (0–6,5)°) и высоты оперированного сегмента (медиана 0,0 (–1,0–1,5) мм) (табл. 3).

Таблица 3

Хирургическое лечение и параметры имплантатов

Характеристика		Показатели (n = 87)		
		медиана	абс.	%
Хирургический доступ	задний		30	34,5
	комбинированный		57	65,5
Кровопотеря, мл		1700 (1000; 2500)		
Время операции, мин		270 (227,5; 360,0)		
Индекс инвазивности операции		17 (16; 20)		
Протяженность фиксации, сегменты	3		8	9,2
	4		2	2,3
	5		48	55,3
	6		9	10,3
	7		15	17,2
	8		3	3,4
	9		2	2,3
Тип стержней	5,5 мм		71	81,6
	6 мм		13	14,9
	дополнительные стержни		3	3,4
Материал заполнения протеза	цемент		33	37,9
	костный трансплантат		54	62,1
Высота протеза, мм		40 (29; 54)		
Несоответствие контактных поверхностей > 10°			40	46,0
Изменение локального угла, °		3 (0; 6,5)		
Изменение высоты сегмента, мм		0,0 (–1,0; 1,5)		

При анализе результатов лечения медиана проседания протеза через 3 мес. составила около 1 (0; 2) мм, при последнем наблюдении — около 2 (1; 3) мм. По шкале хирургических осложнений SAVES v.2 у большинства пациентов (76 %) осложнений не наблюдали. В послеоперационном периоде 20 % пациентов получали терапию бисфосфонатами, 14 % — лучевую терапию. Через 3 мес. после операции отмечено улучшение двигательной функции, 77 % пациентов передвигались самостоятельно. Локальный рецидив опухоли развился у 23 (26 %) пациентов. Медиана общей выживаемости составила 28 (16; 55,5) мес.

Таблица 4

Результаты лечения и показатели выживаемости

Характеристика		Показатели (n = 87)		
		медиана	абс.	%
Проседание протеза через 3 мес.	> 2 мм		29	33,3
	≤ 2 мм		58	66,7
	проседание протеза при последнем наблюдении, мм	2 (1; 3)		
Тяжесть осложнений SAVES v.2, степень	1 (нет осложнений)		66	75,9
	2		6	6,9
	3		10	11,5
	4		1	1,1
	5		4	4,6
Бисфосфонаты после операции			17	19,5
Лучевая терапия после операции			12	13,8
Ходьба через 3 мес.	не ходит		7	8,0
	ходит с дополнительной опорой		13	14,9
	ходит самостоятельно		67	77,1
Локальный рецидив			23	26,4
Общая выживаемость, мес.		28 (16,0; 55,5)		

Нестабильность имплантатов, потребовавшая ревизионного хирургического вмешательства, развилась у 16 пациентов (18,4 %). Среди случаев нестабильности: перелом стержней ($n = 6$; 36,5 %), расшатывание винтов с развитием переходного кифоза ($n = 8$; 50 %), миграция протеза тела позвонка ($n = 2$; 12,5 %). При этом отмечено, что во всех случаях перелом стержней и расшатывание винтов сопровождалось проседанием протеза более 4 мм в тела смежных позвонков. Псевдоартроз отмечен в 75 % случаев у пациентов с нестабильностью имплантов.

По результатам LASSO-регрессии ($\lambda = 0,036$) из 42 исходных предикторов наиболее значимые ассоциации с риском нестабильности имплантатов показали следующие факторы:

- материал заполнения протеза ($\beta = -0,984$);
- несоответствие контактных поверхностей более 10° ($\beta = 0,448$);
- проседание протеза более 2 мм через 3 мес. ($\beta = 0,188$);
- длина фиксации ($\beta = -0,114$);
- количество оперированных сегментов ($\beta = -0,104$);
- разница высоты сегмента до и после операции ($\beta = 0,116$);
- функциональный статус через 3 мес. ($\beta = 0,113$);
- проседание протеза при последнем наблюдении ($\beta = 0,081$);
- возраст ($\beta = 0,010$);
- общая выживаемость ($\beta = 0,006$);
- время до операции ($\beta = -0,004$);
- длительность операции ($\beta = -0,004$).

Для подтверждения выбора предикторов дополнительно проведен анализ с использованием метода Random Forest, который позволяет оценить важность переменных с учетом их нелинейных взаимодействий.

Среди 42 исследованных характеристик наибольшую важность продемонстрировали:

- проседание протеза при последнем наблюдении (importance score = 0,031);
- материал заполнения протеза (0,008);
- разница высоты сегмента до и после операции (0,007);
- общая выживаемость (0,007).

Проседание протеза более 2 мм через 3 мес. (0,007) и несоответствие контактных поверхностей (0,005) также вошли в число наиболее значимых факторов, что частично согласуется с результатами LASSO-регрессии.

Для последующего мультивариантного анализа с использованием Firth регрессии отобраны три предиктора с наибольшими коэффициентами LASSO-регрессии. Ограничение количества предикторов до трех позволило избежать переобучения модели, учитывая размер исследуемой выборки [28]. Все отобранные факторы имеют важное клиническое значение, так как характеризуют основные биомеханические параметры использованной конструкции.

При мультивариантном анализе с использованием Firth регрессии выявлены следующие независимые факторы риска нестабильности имплантатов (рис. 3):

- использование костного трансплантата вместо цемента снижало вероятность нестабильности в 8 раз ($OR = 0,125$, 95 % CI: 0,026–0,475, $p = 0,014$);
- отсутствие несоответствия контактных поверхностей ассоциировалось с меньшим риском (вероятность ниже в 4,7 раз) нестабильности ($OR = 0,214$, 95 % CI: 0,047–0,815, $p = 0,026$);
- проседание протеза более 2 мм через 3 мес. увеличивало вероятность нестабильности в 4,5 раза ($OR = 4,497$, 95 % CI: 1,224–18,41, $p = 0,023$).

Модель продемонстрировала статистически значимую прогностическую ценность ($LR \chi^2 = 24,74$, $df = 3$, $p < 0,001$).

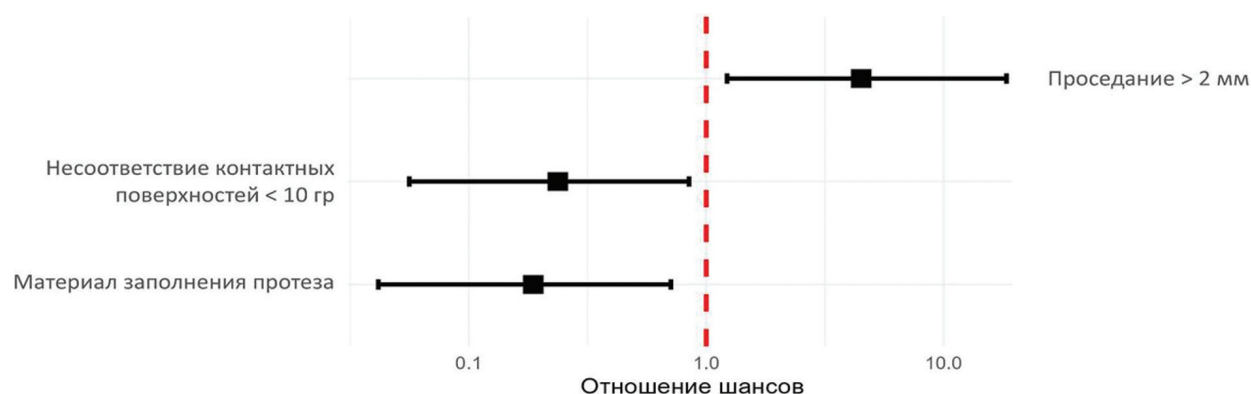


Рис. 3. Результаты Firth регрессии

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании проведен анализ факторов риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолевым поражением позвоночника. Частота нестабильности составила 18,4 %, что согласуется с данными литературы. Так, T. Shimizu et al. сообщают о 32,4 % случаев несостоятельности после тотальной en bloc спондилэктомии [29], а K. Yoshioka et al. отмечают значительные различия в частоте нестабильности в зависимости от уровня вмешательства: от 5,9 % при операциях на грудном отделе до 42,9 % при вмешательствах на поясничном уровне [30]. Выявленные варианты несостоятельности конструкции включали перелом стержней (36,5 %), расшатывание винтов с развитием переходного кифоза (50 %) и миграцию протеза тела позвонка (12,5 %). Эти данные согласуются с систематическим обзором Z. Li et al., где несостоятельность конструкции (12,1 %) была одним из наиболее частых осложнений [31].

Многофакторный анализ выявил три независимых предиктора нестабильности имплантатов. Наиболее значимым фактором оказался выбор материала для заполнения протеза, — использование костного трансплантата снижало риск нестабильности в восемь раз по сравнению с цементом. Это соответствует концепции, предложенной T. Akamaru et al., о лучшей костной интеграции при использовании костного трансплантата, особенно в случаях доброкачественных или первичных злокачественных опухолей [32]. Ранее, как отмечали R.P. Melcher и J. Harms, использование костного цемента считалось допустимой опцией для передней реконструкции, особенно в случаях метастатического поражения или при выраженном остеопорозе [33]. Такая тактика оправдана при относительно небольшой ожидаемой продолжительности жизни пациентов. Однако современные достижения в лечении онкологических больных привели к значительному увеличению выживаемости, в том числе у пациентов с метастатическими поражениями позвоночника [34]. В нашем исследовании медиана общей выживаемости составила 28 мес., что создает предпосылки для развития поздних осложнений. При использовании цемента пациенты чаще доживают до развития псевдоартроза и несостоятельности конструкции, что подтверждается высокой частотой псевдоартроза (75 %) в группе пациентов с нестабильностью имплантатов.

Несоответствие контактных поверхностей протеза и смежных замыкательных пластинок более 10° повышало риск нестабильности в 4,7 раза. M.H. Mohammad-Shahi et al. подтверждают критическую важность этого фактора, демонстрируя риск несостоятельности металлоконструкции даже при углах несоответствия от 0° до 10° [35]. Данный фактор особенно важен при многоуровневых резекциях [36], при которых, по данным K. Yoshioka et al., риск нестабильности значительно возрастает с увеличением протяженности реконструкции [30]. Это может объясняться тем, что увеличение количества точек контакта при многоуровневой реконструкции создает более сложную биомеханическую систему, в которой даже небольшие отклонения в позиционировании протеза на каждом уровне могут суммироваться и приводить к значительному перераспределению нагрузок на всю конструкцию. При этом неравномерное распределение сил на контактных поверхностях может создавать зоны локального перенапряжения, что ускоряет износ стержней.

Проседание протеза более 2 мм через 3 мес. после операции увеличивало вероятность нестабильности в 4,5 раза. T. Shimizu et al. также идентифицировали раннее проседание (≥ 2 мм через 1 мес.) как независимый фактор риска несостоятельности инструментария [29]. Согласно A.R. Vaccaro et al., на развитие раннего проседания влияют несколько ключевых факторов: качество костной ткани, площадь контакта имплантата с телом позвонка, степень интраоперационной дистракции, техника подготовки замыкательных пластинок и соответствие механических свойств имплантата и кости (модуль упругости) [37]. Интересно отметить, что все эти факторы взаимосвязаны и могут усиливать влияние друг друга. Например, при сниженной минеральной плотности кости особое значение приобретает уве-

личение площади контакта имплантата с телом позвонка для лучшего распределения нагрузки [38]. В свою очередь, чрезмерная интраоперационная дистракция может привести к повреждению замыкательных пластинок, что в сочетании с несоответствием модуля упругости имплантата и кости создает предпосылки для раннего проседания даже при изначально корректном позиционировании протеза.

Полученные результаты и анализ литературы позволяют сформулировать практические рекомендации для снижения риска нестабильности имплантатов:

- рассматривать использование костного трансплантата как метод выбора при отсутствии противопоказаний, учитывая его способность к биологической интеграции и ремоделированию;
- при подготовке к операции тщательно планировать точки фиксации, зоны контакта протеза, использовать современные методы визуализации для оценки качества костной ткани и проводить предоперационное моделирование установки имплантатов;
- во время операции обеспечивать максимально точное соответствие контактных поверхностей, избегать чрезмерной дистракции и минимизировать повреждение замыкательных пластинок при подготовке ложа для протеза;
- в послеоперационном периоде проводить тщательный рентгенологический мониторинг, контролировать процесс остеоинтеграции;
- при наличии факторов риска (остеопороз, многоуровневое поражение, локализация в переходных отделах) использовать стержни увеличенного диаметра, удлинять зону фиксации и применять дополнительные стержни;
- с целью профилактики нестабильности использовать индивидуальные протезы тел позвонков, изготовленные методом 3D-печати, которые позволяют оптимизировать распределение нагрузки за счет точного соответствия анатомии пациента, создавать дополнительные точки фиксации в конструкции имплантата, а также применять материалы с модулем упругости, близким к костной ткани (РЕЕК-композиты).

Индивидуализация хирургического лечения с учетом этих рекомендаций может способствовать снижению частоты нестабильности имплантатов и улучшению отдаленных результатов лечения пациентов с опухолевым поражением позвоночника.

Исследование имеет ряд ограничений. Ретроспективный характер исследования ограничивает возможность контроля качества собираемых данных и увеличивает риск систематических ошибок. Одноцентровой формат может снижать внешнюю валидность результатов. Относительно небольшой размер выборки (87 пациентов) ограничивает статистическую мощность исследования, особенно учитывая гетерогенность популяции по типам опухолей (метастатические, первично-злокачественные и агрессивные доброкачественные опухоли). Длительный период набора материала (2007–2023 гг.) мог сопровождаться изменениями в хирургической технике и периоперационном ведении пациентов. Наличие пропущенных данных (9,2 % случаев), несмотря на использование современных методов статистической обработки, могло повлиять на результаты анализа. Ограничение количества предикторов в финальной модели до трех переменных, хотя и обоснованное размером выборки, могло привести к потере потенциально значимых факторов риска. Кроме того, потенциальное влияние конкурирующих рисков (например, летальный исход) ограничивает оценку частоты нестабильности в отдаленном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования выявлены три независимых фактора риска нестабильности имплантатов после спондилэктомии у пациентов с опухолевым поражением позвоночника: использование костного цемента вместо аллотрансплантата для заполнения протеза тела позвонка, несоответствие контактных поверхностей протеза со смежными замыкательными пластинками более 10° и проседание протеза более 2 мм через 3 мес. после операции. Выявленные факторы риска следует учитывать при планировании хирургического вмешательства и в послеоперационном мониторинге пациентов для профилактики нестабильности металлоконструкции.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование выполнено без привлечения дополнительного финансирования.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом и проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Информированное согласие. Все пациенты подписали информированное добровольное согласие об использовании сведений в образовательных и научных целях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Заборовский Н.С., Пташников Д.А., Михайлов Д.А. и др. Онкологические принципы в хирургии опухолей позвоночника. *Хирургия Позвоночника*. 2021;18(2):64-72. doi: 10.14531/ss2021.2.64-72.
2. Кулага А.В., Мусаев Э.Р., Жукова Л.Г. и др. Локальное лечение пациентов с метастатическим поражением позвоночника при раке легкого. *Саркомы костей мягких тканей и опухоли кожи*. 2019;11:5-14.
3. Валиев А.К., Тепляков В.В., Мусаев Э.Р. и др. Практические рекомендации по лечению первичных злокачественных опухолей костей. Злокачественные опухоли. *Практические рекомендации RUSSCO #3s2*. 2022;12:307-329. doi: 10.18027/2224-5057-2022-12-3s2-307-329.
4. Мушкин МА, Дулаев АК, Мушкин АЮ. Опухолевые поражения позвонков: концепция комплексной оценки применительно к условиям неотложной помощи. *Хирургия позвоночника*. 2018;15:92-99. doi: 10.14531/ss2018.3.92-99.
5. Усиков В.Д., Пташников Д.А. Реконструктивные операции в комплексной терапии больных с гигантоклеточной опухолью позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2005;12-15.
6. Усиков В.Д., Пташников Д.А., Магомедов III. III. Корпор- и спондилэктомия в системе хирургического лечения опухолей позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2010;16(2):140-142. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-140-142.
7. Xu H, Wang X, Han Y, et al. Biomechanical comparison of different prosthetic reconstructions in total en bloc spondylectomy: a finite element study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):955. doi: 10.1186/s12891-022-05919-0.
8. Glennie RA, Rampersaud YR, Boriani S, et al. A Systematic Review With Consensus Expert Opinion of Best Reconstructive Techniques After Osseous En Bloc Spinal Column Tumor Resection. *Spine*. 2016;41 Suppl 20:S205-S211. doi: 10.1097/BRS.0000000000001835.
9. Kasapovic A, Bornemann R, Pflugmacher R, et al. Implants for Vertebral Body Replacement - Which Systems are Available and Have Become Established. *Z Orthop Unfall*. 2021;159(1):83-90. doi: 10.1055/a-1017-3968.
10. Liang Y, Cao Y, Gong Z, et al. A finite element analysis on comparing the stability of different posterior fixation methods for thoracic total en bloc spondylectomy. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):314. doi: 10.1186/s13018-020-01833-0.
11. Zaborovskii N, Schlauch A, Ptashnikov D, et al. Hardware Failure in Spinal Tumor Surgery: A Hallmark of Longer Survival? *Neurospine*. 2022;19(1):84-95. doi: 10.14245/ns.2143180.590.
12. Hu X, Barber SM, Ji Y, et al. Implant failure and revision strategies after total spondylectomy for spinal tumors. *J Bone Oncol*. 2023;42:100497. doi: 10.1016/j.jbo.2023.100497.
13. Park SJ, Lee CS, Chang BS, et al. Rod fracture and related factors after total en bloc spondylectomy. *Spine J*. 2019;19(10):1613-1619. doi: 10.1016/j.spinee.2019.04.018.
14. Berjano P, Cecchinato R, Pun A, Boriani S. Revision surgery for tumors of the thoracic and lumbar spine: causes, prevention, and treatment strategy. *Eur Spine J*. 2020;29(Suppl 1):66-77. doi: 10.1007/s00586-019-06276-8.
15. Versteeg AL, Sahgal A, Kawahara N, et al. Patient satisfaction with treatment outcomes after surgery and/or radiotherapy for spinal metastases. *Cancer*. 2019;125(23):4269-4277. doi: 10.1002/cncr.32465.
16. Zakaria HM, Schultz L, Mossa-Basha F, et al. Morphometrics as a predictor of perioperative morbidity after lumbar spine surgery. *Neurosurg Focus*. 2015;39(4):E5. doi: 10.3171/2015.7.FOCUS15257.
17. Tomita K, Kawahara N, Kobayashi T, et al. Surgical strategy for spinal metastases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(3):298-306. doi: 10.1097/00007632-200102010-00016.
18. Kay FU, Ho V, Dosunmu EB, et al. Quantitative CT Detects Undiagnosed Low Bone Mineral Density in Oncologic Patients Imaged With 18F-FDG PET/CT. *Clin Nucl Med*. 2021;46(1):8-15. doi: 10.1097/RLU.00000000000003416.
19. Kumar N, Ramos MRD, Patel R, et al. The "Spinal Metastasis Invasiveness Index": A Novel Scoring System to Assess Surgical Invasiveness. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021;46(7):478-485. doi: 10.1097/BRS.0000000000003823.
20. Schnake KJ, Stavridis SI, Kandziora F. Five-year clinical and radiological results of combined anteroposterior stabilization of thoracolumbar fractures. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(5):497-504. doi: 10.3171/2014.1.SPINE13246.
21. Hu J, Song G, Chen H, et al. Surgical outcomes and risk factors for surgical complications after en bloc resection following reconstruction with 3D-printed artificial vertebral body for thoracolumbar tumors. *World J Surg Oncol*. 2023;21(1):385. doi: 10.1186/s12957-023-03271-8.
22. Rampersaud YR, Anderson PA, Dimar JR, et al. Spinal Adverse Events Severity System, version 2 (SAVES-V2): inter- and intraobserver reliability assessment. *J Neurosurg Spine*. 2016;25(2):256-263. doi: 10.3171/2016.1.SPINE14808.
23. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2024. Available at: <https://www.R-project.org/>. Accessed Nov 18, 2024.
24. Kleinke K. Multiple Imputation by Predictive Mean Matching When Sample Size Is Small. *Methodology*. 2018;14(1):3-15. doi: 10.1027/1614-2241/a000141.
25. Ranstam J, Cook JA. LASSO regression. *J. Br. Surg*. 2018;105(10):1348. doi: 10.1002/bjs.10895.
26. Genuer R, Poggi J-M, Tuleau-Malot C. Variable selection using random forests. *Pattern Recognit Lett*. 2010;31(14):2225-2236. doi: 10.1016/j.patrec.2010.03.014.
27. Firth D. Bias reduction of maximum likelihood estimates. *Biometrika*. 1993;80(1):27-38. doi: 10.2307/2336755.
28. Pavlou M, Ambler G, Seaman S, et al. Review and evaluation of penalised regression methods for risk prediction in low-dimensional data with few events. *Stat Med*. 2016;35(7):1159-1177. doi: 10.1002/sim.6782.
29. Shimizu T, Kato S, Demura S, et al. Characteristics and risk factors of instrumentation failure following total en bloc spondylectomy. *Bone Joint J*. 2023;105-B(2):172-179. doi: 10.1302/0301-620X.105B2.BJJ-2022-0761.R2.
30. Yoshioka K, Murakami H, Demura S, et al. Risk factors of instrumentation failure after multilevel total en bloc spondylectomy. *Spine Surg Relat Res*. 2017;1(1):31-39. doi: 10.22603/ssrr.1.2016-0005.
31. Li Z, Guo L, Zhang P, et al. A Systematic Review of Perioperative Complications in en Bloc Resection for Spinal Tumors. *Global Spine J*. 2023;13(3):812-822. doi: 10.1177/21925682221120644.
32. Akamaru T, Kawahara N, Tsuchiya H, et al. Healing of autologous bone in a titanium mesh cage used in anterior column reconstruction after total spondylectomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(13):E329-333. doi: 10.1097/00007632-200207010-00024.
33. Melcher RP, Harms J. Biomechanics and materials of reconstruction after tumor resection in the spinal column. *Orthop Clin North Am*. 2009;40(1):65-74. vi. doi: 10.1016/j.ocl.2008.09.005.
34. Zaborovskii N, Schlauch A, Shapton J, et al. Conditional survival after surgery for metastatic tumors of the spine: does prognosis change over time? *Eur Spine J*. 2023;32(3):1010-1020. doi: 10.1007/s00586-023-07548-0.
35. Mohammad-Shahi MH, Nikolaou VS, Giannitsios D, et al. The effect of angular mismatch between vertebral endplate and vertebral body replacement endplate on implant subsidence. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26(5):268-273. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182425eab.
36. Кабардаев Р.М., Мусаев Э.Р., Валиев А.К. и др. Многоуровневые радикальные резекции в лечении больных с опухолями позвоночника. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2021;13(2):11-17. doi: 10.17650/2070-9781-2021-13-2-11-17.

37. Vaccaro AR, Divi SN, Hassan WA. Complex Reconstruction in Tumor Patients. In: Singh K, Colman M (eds.) *Surgical Spinal Oncology: Contemporary Multidisciplinary Strategies*. Cham: Springer International Publis.; 2020:297-334.
38. Bokov A, Kalinina S, Leontev A, Mlyavykh S. Circumferential Fusion Employing Transforaminal vs. Direct Lateral Lumbar Interbody Fusion-A Potential Impact on Implants Stability. *Front Surg*. 2022;9:827999. doi: 10.3389/fsurg.2022.827999.

Статья поступила 15.01.2025; одобрена после рецензирования 21.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 21.01.2025; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Никита Сергеевич Заборовский — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, доцент кафедры, n.zaborovskii@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4562-8160>;

Сергей Владимирович Масевнин — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, drmsevnin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9853-7089>;

Владислав Сергеевич Мураховский — врач-нейрохирург, drmurakhovsky@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9985-5636>;

Рахматжон Ахмаджонович Мухиддинов — врач — травматолог-ортопед, rahmatzhonmuhiddinov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9985-5636>;

Олег Анатольевич Смекаленков — кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург, drsmekalenkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4867-0332>;

Дмитрий Александрович Пташников — доктор медицинских наук, профессор, главный врач, заведующий кафедрой, drptashnikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5765-3158>.

Information about the authors:

Nikita S. Zaborovskii — Candidate of Medical Sciences, Head of Department, n.zaborovskii@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4562-8160>;

Sergei V. Masevnin — Candidate of Medical Sciences, Head of Department, drmsevnin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9853-7089>;

Vladislav S. Murakhovsky — neurosurgeon, drmurakhovsky@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9985-5636>;

Rakhmatjon A. Mukhiddinov — orthopaedic surgeon, rahmatzhonmuhiddinov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9985-5636>;

Oleg A. Smekalenkov — Candidate of Medical Sciences, neurosurgeon, drsmekalenkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4867-0332>;

Dmitrii A. Ptashnikov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Hospital, Head of Department, drptashnikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5765-3158>.

Вклад авторов:

Заборовский Н.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.

Масевнин С.В. — сбор и обработка материала.

Мураховский В.С. — сбор и обработка материала.

Мухиддинов Р.А. — сбор и обработка материала.

Смекаленков О.А. — сбор и обработка материала.

Пташников Д.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование.

Научная статья

УДК 616.009.11-031.4:612.766(086.8)-053.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-194-201>



Кинематические и кинетические особенности невовлеченной конечности при ходьбе у детей со спастической гемиплегией

У.Ф. Мамедов✉, Т.И. Долганова, Л.В. Смолькова, А.О. Трофимов, О.И. Гатамов, Д.А. Попков

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Улви Фаиг оглы Мамедов, ulvi.mamedof@gmail.com

Аннотация

Введение. Изучение функциональных особенностей непораженной стороны опорно-двигательной системы у больных со спастическими гемипарезами способствует разработке различных аспектов медицинской реабилитации.

Цель работы — определить особенности компенсаторно-приспособительного поведения при ходьбе невовлеченной в патогенез конечности у детей с гемиплегией в зависимости от возраста и ранее проводившихся хирургических вмешательств на трицепсе голени.

Материалы и методы. Локомоторные характеристики 78 детей до 16 лет со спастической гемиплегией и двигательными нарушениями, соответствующими уровням I–II по GMFCS (*англ.*: Gross Motor Function Classification System), сопоставлены с 77 здоровыми сверстниками. В зависимости от возраста и проведения операции удлинения трицепса голени все дети разделены на 6 групп. Кинематические данные регистрировали с помощью оптических камер Qualisys 7+ и динамометрических платформ KISTLER. Для анализа видеоматериала использовали программы QTM и Visual3D, для статистической обработки данных — программы Microsoft EXCEL-2013 и AtteStat 12.0.5.

Результаты. На невовлеченной конечности у детей со спастической гемиплегией наблюдали сгибательную установку в суставах ног, при этом кинематика её голеностопного сустава по сравнению со здоровыми сверстниками статистически значимо не отличалась. Кроме того, движения в суставах невовлеченной конечности у детей с гемиплегией статистически значимо осуществлялись с большими энергетическими затратами, особенно в коленных и тазобедренных суставах, в то время как мощностные характеристики в голеностопных суставах у них статистически значимо ниже, чем у здоровых сверстников.

Обсуждение. Статистически значимое повышение по сравнению с нормой и перераспределение мощностных локомоторных характеристик, а также увеличение по показателю GPS общей суммарной суставной кинематической вариативности невовлеченной в патогенез конечности подтверждают исключительно компенсаторный характер её поведения. О компенсаторном поведении свидетельствуют и увеличенные углы сгибания в суставах, и сагиттальный наклон таза, которые постурально устраняют разницу в длине ног. Ротационные установки таза и бедра, по-видимому, также служат для сохранения ориентации стопы.

Заключение. Компенсаторное поведение невовлеченной конечности у детей с гемиплегией при ходьбе проявляется в кинетической и кинематической активности. По сравнению с нормой статистически значимо перераспределяются мощностные локомоторные характеристики: мощностные показатели возрастают в коленном и тазобедренном суставах, но значимо снижаются в голеностопном. По показателю GPS значимо возрастает общая суммарная суставная кинематическая вариативность, а также для компенсации разницы высоты ног увеличиваются углы сгибания в суставах и сагиттальный наклон таза. Процедура раннего хирургического удлинения трицепса голени не оказывала значимого влияния на двигательные характеристики невовлеченной конечности.

Ключевые слова: анализ походки, компенсаторное поведение, дети, спастическая гемиплегия, кинематика, кинетика

Для цитирования: Мамедов У.Ф., Долганова Т.И., Смолькова Л.В., Трофимов А.О., Гатамов О.И., Попков Д.А. Кинематические и кинетические особенности невовлеченной конечности при ходьбе у детей со спастической гемиплегией. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):194-201. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-194-201.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-194-201>

Kinematic and kinetic features of an unaffected limb during walking in children with spastic hemiplegia

U.F. Mamedov✉, T.I. Dolganova, L.V. Smolkova, A.O. Trofimov, O.I. Gatamov, D.A. Popkov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Ulvi F. Mammadov, ulvi.mamedov@gmail.com

Abstract

Introduction The study of the functional characteristics of the unaffected side of the musculoskeletal system in patients with spastic hemiparesis contributes to the development of various aspects of medical rehabilitation.

Objective To determine the features of compensatory and adaptive behavior of the limb not involved in the pathogenesis in children with hemiplegia during walking and their dependence on age and previous surgical interventions on the triceps surae.

Materials and methods Locomotor characteristics of 78 children under 16 years of age with spastic hemiplegia and motor disorders corresponding to levels I–II GMFCS (Gross Motor Function Classification System) were compared with 77 healthy peers. Based on age and the triceps surae lengthening surgery, all children were divided into 6 groups. Kinematic data were recorded using Qualisys 7+ optical cameras and KISTLER dynamometric platforms. The video material was analyzed using QTM and Visual3D programs, and statistical data processing was performed using Microsoft EXCEL-2013 and AtteStat 12.0.5.

Results In the unaffected limb of children with spastic hemiplegia, a flexion position in the limb joints was observed, while the kinematics of its ankle joint did not differ significantly compared to healthy peers. Moreover, movements in the joints of the unaffected limb in children with hemiplegia were performed at greater energy consumption, especially in the knee and hip joints, while the power characteristics in the ankle joints were statistically lower than in healthy peers.

Discussion Significant increase, in comparison with the norm, and redistribution of power locomotor characteristics, as well as an increase in the GPS indicator of the total joint kinematic variability of the limb not involved in the pathogenesis indicate exclusively the compensatory nature of its behavior. Compensatory behavior is also shown by increased flexion angles in the joints and the sagittal tilt of the pelvis, which posturally eliminate the difference in leg length. Rotational positions of the pelvis and the femur, apparently, also serve to maintain the orientation of the foot.

Conclusion Compensatory behavior of the unaffected limb in children with hemiplegia during walking is manifested in kinetic and kinematic activity. Power locomotor characteristics are significantly redistributed compared to the normal values. Power indicators in the knee and hip joints increase, but power characteristics in the ankle significantly decrease. According to the GPS index, the total joint kinematic variability significantly increases, and the joint flexion angles and sagittal pelvic tilt increase to compensate for the difference in leg height. The procedure of early surgical lengthening of the triceps surae did not have a significant effect on the motor characteristics of the uninvolved limb.

Keywords: gait analysis, children, spastic hemiplegia, kinematics, kinetics

For citation: Mamedov UF, Dolganova TI, Smolkova LV, Trofimov AO, Gatamov OI, Popkov DA. Kinematic and kinetic features of an unaffected limb during walking in children with spastic hemiplegia. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):194-201. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-194-201.

ВВЕДЕНИЕ

Гемипаретические формы церебрального паралича, как правило, характеризуются сохраненными функциональными двигательными возможностями в сочетании со способностью к самостоятельному передвижению [1, 2, 3]. Частота встречаемости спастической гемиплегии в структуре ДЦП не превышает 15,3 % [4, 5]. При этом преобладают формы с нетяжелыми двигательными нарушениями по классификации Gross Motor Function Classification System [6]: 87,8 % — уровень I GMFCS; 7,1 % — уровень II GMFCS.

Кинематические и кинетические нарушения, ортопедические проблемы спастической гемиплегии на вовлеченной стороне достаточно хорошо описаны и классифицированы [7, 8, 9]. В то же время имеются лишь отдельные публикации, посвященные биомеханическим исследованиям особенности движений невовлеченной нижней конечности при ходьбе [10, 11, 12, 13]. Известные изменения амплитуды движений в сагиттальной плоскости, ротационные особенности движений таза считаются компенсаторными, отражающими степень нарушения функции на контралатеральной, вовлеченной конечности [14, 15, 16, 17]. Тем не менее, в публикациях указывается на возникновение ортопедических нарушений на стопе невовлеченной конечности [18, 19, 20].

Изучение проблем локомоторных нарушений обеих сторон у больных со спастическим гемипарезами должно способствовать разработке различных аспектов медицинской реабилитации [21]. Кроме того, неизвестно, существует ли изменение адаптационных механизмов невовлеченной конечности по мере увеличения возраста пациента, а также неясно влияние ранних изолированных операций коррекции контрактур голеностопных суставов на кинематические и кинетические параметры невовлеченной конечности.

Цель работы — определить особенности компенсаторно-приспособительного поведения при ходьбе невовлеченной в патогенез конечности у детей с гемиплегией в зависимости от возраста и ранее проводившихся хирургических вмешательств на трицепсе голени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для данного исследования отобраны пациенты детского возраста со спастической гемиплегией, которым планировали оперативное лечение в нашем учреждении. Всем пациентам перед операцией проводили исследование в лаборатории анализа движений.

Критерии включения: возраст до 16 лет (открытые зоны роста), уровни I–II GMFCS, спастическая гемиплегия.

Критерии не включения: диагноз спастической диплегии, уровень выше GMFCS II, возраст до 5 лет, 16 лет и старше, ранее выполненные многоуровневые вмешательства.

Группы исследования сформированы по возрастному критерию (интервалы 5–9 лет и 10–15 лет), а также по критерию выполнения в раннем возрасте удлинения трицепса или так называемых чрескожных фибротомий (фибромиотомий).

Во время обследования пациенты ходили самостоятельно или придерживаясь за одну руку родителя босиком на 7-метровой дорожке с привычной для них скоростью. Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys 7+ с технологией видеозахвата пассивных маркеров; синхронизированными с шестью динамометрическими платформами KISTLER (Швейцария). При установке маркеров использовали модель IOR. Анализ кинематики и кинетики проводили в программах QTM (Qualisys) и Visual3D (C-Motion) с автоматизированным расчетом значений [17].

Для статистической обработки данных применяли программы Microsoft EXCEL-2013 и AtteStat 12.0.5. Количественные характеристики выборочных совокупностей представлены в таблицах в виде медианы с уровнем распределения процентилей 25 % ÷ 75 %. Учитывая количество наблюдений в группах, для обработки результатов использована непараметрическая статистика с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$. Статистическую значимость различий показателей между группами сравнения определяли с использованием непарного критерия Вилкоксона.

На проведение исследований получено разрешение локального комитета по этике (протокол от 07.10.2022 № 2(72)). Исследования проводили в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 года, «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266. Родители обследуемых, уполномоченные родственники или сотрудники социальных учреждений подтверждали согласие на проведение исследования и публикацию результатов без идентификации личности.

Локомоторные характеристики 78 детей до 16 лет со спастической гемиплегией и двигательными нарушениями, соответствующими уровням I–II по GMFCS, сопоставляли с данными 77 здоровых сверстников. В зависимости от возраста и проведения операции удлиннения трицепса голени все дети разделены на 6 групп:

группа 1: 21 человек (21 конечность); возраст — 5–9 лет, средний возраст — $(7,2 \pm 1,5)$ года; удлиннения трицепса голени не проводили;

группа 2: 8 человек (8 конечностей); возраст — 5–9 лет, средний возраст — $(7,7 \pm 2,0)$ года; ранее проводили удлиннение трицепса;

группа 3: 25 человек (25 конечностей); возраст — 10–15 лет, средний возраст — $(13,9 \pm 1,6)$ года; удлиннения трицепса голени не проводили;

группа 4: 24 человека (24 конечности); возраст — 10–15 лет, средний возраст — $(12,4 \pm 1,9)$ года; ранее проводили удлиннение трицепса;

группа 5: 38 человек (76 конечностей); возраст — 5–9 лет, средний возраст — $(6,9 \pm 1,7)$ года; дети без патологии походки;

группа 6: 39 человек (78 конечностей); возраст — 10–15 лет, средний возраст — $(12,7 \pm 1,9)$ года; дети без патологии походки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные пространственно-временных характеристик ходьбы и gait profile score показывают существенные отличия показателей невовлеченной конечности от здоровых сверстников (табл. 1). Кроме того, можем отметить значимое увеличение ширины шага в группе 2 (дети до 10 лет с выполненными удлиннениями трицепса) как от неоперированных сверстников, так и от здоровых.

Таблица 1

Пространственно-временные характеристики ходьбы, GPS

Параметр	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
GPS, конечности	12 (9,7 ÷ 13,7)	11 (8,7 ÷ 13)	10,2 (8,9 ÷ 11,1)	12,1 (10,2 ÷ 14,2)	8,3* (6,4 ÷ 9,7)	7,8* (6,6 ÷ 9,0)
Скорость ходьбы общая, м/с	0,95 (0,78 ÷ 1,05)	0,9 (0,88 ÷ 0,97)	0,97 (0,9 ÷ 1,05)	0,91 (0,77 ÷ 1,05)	1,07 (0,81 ÷ 1,18)	1,2 (1,12 ÷ 1,31)
Ширина шага, м	0,11 (0,09 ÷ 0,12)	0,15¹ (0,13 ÷ 0,18)	0,13 (0,11 ÷ 0,16)	0,14 (0,11 ÷ 0,16)	0,09 (0,07 ÷ 0,1)	0,1 (0,08 ÷ 0,12)
Длина шага, м	0,45 (0,42 ÷ 0,52)	0,44 (0,4 ÷ 0,48)	0,51 (0,47 ÷ 0,55)	0,49 (0,42 ÷ 0,53)	0,5 (0,45 ÷ 0,53)	0,62* (0,56 ÷ 0,67)
Длительность шага, с	0,47 (0,42 ÷ 0,5)	0,46 (0,43 ÷ 0,51)	0,52 (0,48 ÷ 0,54)	0,51 (0,45 ÷ 0,55)	0,47 (0,44 ÷ 0,49)	0,52 (0,49 ÷ 0,55)
% опорной фазы от длительности шага	63,8 (61 ÷ 65,7)	62 (59 ÷ 64)	64,2 (62,2 ÷ 65,6)	65,2 (63,7 ÷ 66,4)	61,1 (60,7 ÷ 62,2)	61,7 (60,8 ÷ 62,6)
% фазы переноса от длительности шага	36,3 (34,3 ÷ 39,2)	37,9 (36,5 ÷ 40,5)	35,7 (34,4 ÷ 37,8)	35 (34 ÷ 36,9)	38,5 (37,9 ÷ 39,3)	38,3 (37,4 ÷ 39,2)

Примечание: * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами здоровых детей и группами соответствующего возраста с ДЦП; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 1 и 2.

В таблицах 2 и 3 представлены показатели кинематики нижней конечности в сравниваемых группах. В группах детей со спастической гемиплегией можем отметить выраженную сгибательную установку в тазобедренных и коленных суставах с момента первичного контакта до середины опорной фазы цикла шага и высокие значения угла сгибания в тазобедренном суставе в фазу переноса. Однако отличия кинематики голеностопного сустава в сравнении со здоровыми сверстниками не обнаружено. Значимое отличие угла ориентации стопы относительно вектора движения между группами здоровых детей отражает физиологический механизм торсионного развития бедра по мере роста ребенка. Важной находкой является увеличение угла ротационной установки и амплитуды ротации таза со стороны невовлеченной конечности, при том что данные показатели, отличающиеся от здоровой популяции, присутствуют в обеих группах и во всех изучаемых возрастных интервалах.

Показатели моментов сил, возникающих при движениях в суставах, а также генерируемая мощность движений указывают на повышенную энергоёмкость походки со стороны невовлеченной конечности, особенно при движениях в коленном и тазобедренном суставах (табл. 4). Кроме того, генерируемая мощность движений в голеностопных суставах невовлеченной конечности у детей со спастической ге-

миоплегией значительно ниже, чем у сверстников без патологии движений.

Таблица 2

Кинематика голеностопного и коленного суставов

Параметр	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
Мах тыльная флексия стопы в опорную фазу	11,04 (5,7 ÷ 16,5)	12,2 (11,2 ÷ 15,9)	14,8 (13,0 ÷ 17,0)	18,7 (15,1 ÷ 21,95)	11,9 (9,7 ÷ 14,5)	13,3 (10,5 ÷ 16,0)
Мах подошвенная флексия	-19,8 (-28,6 ÷ -12,0)	-11,6 (-14,3 ÷ -8,9)	-11,2 (-13,5 ÷ -7,6)	-9,5 (-13,8 ÷ -5,1)	-15,1 (-18,7 ÷ -10,9)	-13,4 (-16,9 ÷ -8,8)
Позиция стопы в период переноса	4,8 (0,0 ÷ 10,7)	5,7 (5,5 ÷ 8,7)	8,3 (7,2 ÷ 12,3)	8,7 (5,98 ÷ 10,3)	5,6 (2,7 ÷ 8,1)	7,3 (5,2 ÷ 8,8)
Инверсия стопы, тах значения	16,1 (11,3 ÷ 21,1)	17,7 (14,4 ÷ 22,3)	14,8 (11,2 ÷ 18,7)	17,1 (10 ÷ 23,96)	15,8 (11,8 ÷)	13,3 (8,7 ÷ 15,7)
Амплитуда	15,6 (12,7 ÷ 17,6)	15,7 (12,5 ÷ 17,3)	14,3 (12 ÷ 16,3)	15,1 (12,6 ÷ 17,7)	15,2 (12,4 ÷ 17,5)	13,3 (11,3 ÷ 15,5)
Клиренс шага по пяточному отделу стопы, см	16,8 (15,7 ÷ 17,7)	16,2 (15,4 ÷ 17,8)	18,2 (16,6 ÷ 19,7)	18,6 (16,8 ÷ 19,95)	17,5 (16,4 ÷ 18,5)	20,8 (19,0 ÷ 23,0)
Позиция коленного сустава в момент контакта, °	15,6 (12,0 ÷ 18,4)	15,7 (11,7 ÷ 17,4)	14,5 (11,6 ÷ 17,4)	22,981 (18,0 ÷ 30,8)	7,0* (2,7 ÷ 11,2)	7,1* (4,0 ÷ 9,6)
Мах сгибание коленного сустава в опорную фазу, °	29,3 (21,2 ÷ 34,2)	27,8 (22,1 ÷ 35,3)	27,6 (24,0 ÷ 31,5)	32,5 (26,3 ÷ 39,8)	19,8* (13,7 ÷ 26,7)	18,5* (14,7 ÷ 23,5)
Min угол сгибания в опорную фазу, °	5,9 (1,4 ÷ 10,9)	11,0 (7,4 ÷ 15,1)	9,4 (6,4 ÷ 12,3)	13,8 (10,1 ÷ 18,98)	6,4 (3,4 ÷ 10,3)	5,0² (1,2 ÷ 8,7)
Сгибание коленного сустава в фазу переноса, °	62,4 (54,5 ÷ 68,3)	63,0 (58,5 ÷ 67,3)	63,6 (58,7 ÷ 69,5)	68,3 (58,7 ÷ 71,8)	64,5 (60,7 ÷ 69,1)	60,9 (57,4 ÷ 65,1)

Примечание: * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами здоровых детей и группами соответствующего возраста с ДЦП; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 3 и 4; ² — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 4 и 6.

Таблица 3

Кинематика тазобедренного сустава и таза

Параметр	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
Положение бедра в момент первичного контакта, °	36,5 (30,1 ÷ 44,1)	33,5 (28,9 ÷ 37,5)	36,7 (30,0 ÷ 41,6)	38,1 (33,9 ÷ 44,2)	27,9¹ (20,6 ÷ 34,3)	24,5* (16,9 ÷ 29,7)
Мах разгибание бедра, °	-10,4 (-13,6 ÷ -6,3)	-7,3 (-10,6 ÷ -6,5)	-7,0 (-10,9 ÷ -2,7)	-6,4 (-13,0 ÷ -1,8)	-14,0 (-21,4 ÷ -8,0)	-14,1* (-20,95 ÷ -10,2)
Мах сгибание бедра в фазу переноса, °	39,1 (31,8 ÷ 45,0)	37,3 (34,9 ÷ 39,6)	38,2 (31,3 ÷ 44,4)	41,4 (35,3 ÷ 46,7)	30,8 (25,6 ÷ 36,8)	26,6* (21,1 ÷ 31,1)
Сагиттальный наклон таза, ° Мах значения / амплитуда	16,5 (12,3 ÷ 20,4) 9,1 (6,5 ÷ 10,6)	14,0 (11,4 ÷ 16,8) 8,1 (6,6 ÷ 8,9)	15,8 (11,4 ÷ 19,9) 8,0 (5,9 ÷ 9,3)	14,4 (11,6 ÷ 19,4) 9,7 (7,6 ÷ 12,6)	7,8* (3,7 ÷ 12,7) 4,8 (4,2 ÷ 5,3)	6,5* (0,9 ÷ 10,2) 4,2 (3,4 ÷ 4,6)
Фронтальный наклон таза, ° Мах значения / амплитуда	2,5 (0,5 ÷ 4,2) 8,97 (7,0 ÷ 10,4)	3,0 (1,9 ÷ 5,0) 7,3 (6,5 ÷ 7,7)	3,7 (1,9 ÷ 6,1) 7,9 (6,0 ÷ 9,1)	4,0 (1,4 ÷ 6,3) 7,8 (6,2 ÷ 9,1)	3,5 (2,5 ÷ 4,6) 7,1 (5,8 ÷ 8,2)	3,3 (2,0 ÷ 4,5) 6,9 (5,2 ÷ 8,2)
Ротация таза, ° Мах значение / амплитуда	21,6 (14,9 ÷ 26,3) 21,8 (16,9 ÷ 29,0)	20,95 (15,0 ÷ 26,8) 19,9 (18,2 ÷ 22,2)	17,8 (13,8 ÷ 21,4) 17,96 (14,3 ÷ 20,8)	18,0 (12,5 ÷ 25,7) 20,6 (16,4 ÷ 26,1)	8,4* (5,5 ÷ 10,95) 15,51 (12,1 ÷ 18,8)	7,2* (5,2 ÷ 9,3) 13,42 (10,1 ÷ 15,1)
Приведение бедра, ° Мах значение / амплитуда	9,3 (4,7 ÷ 13,7) 17,8 (15,5 ÷ 18,8)	7,2 (5,4 ÷ 10,2) 15,2 (13,3 ÷ 16,95)	8,8 (5,3 ÷ 11,4) 14,5 (11,7 ÷ 16,5)	7,9 (6,6 ÷ 9,8) 15,5 (13,1 ÷ 17,95)	9,0 (6,6 ÷ 11,2) 13,3 (11,7 ÷ 14,9)	7,5 (5,7 ÷ 9,8) 11,5 (9,6 ÷ 13,4)
Ротация бедра, ° Мах значение / амплитуда	11,2 (9,1 ÷ 15,4) 21,1 (17,0 ÷ 23,7)	4,8 (0,1 ÷ 11,5) 19,8 (16,5 ÷ 20,95)	6,2 (-1,7 ÷ 11,7) 21,8 (14,2 ÷ 28,6)	11,8 (5,5 ÷ 22,3) 23,7 (19,5 ÷ 27,3)	9,6 (3,5 ÷ 15,2) 17,3 (14,7 ÷ 19,6)	11,3 (7,5 ÷ 15,8) 16,8 (13,7 ÷ 20,2)
Ориентация стопы, ° Мах / Min значения	15,6 (7,4 ÷ 21,1) -5,1 (-10,2 ÷ -0,8)	14,2 (7,1 ÷ 21,7) -4,8 (-11,5 ÷ 0,55)	5,2 (-0,7 ÷ 14,6) -12,5 (-17,2 ÷ -4,0)	10,3 (3,9 ÷ 15,4) -8,3 (-14,7 ÷ -2,1)	23,5 (21,0 ÷ 26,8) -11,3 (-14,95 ÷ -6,5)	3,7³ (-0,3 ÷ 7,8) -11,6 (-16,2 ÷ -6,5)

Примечание: * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами здоровых детей и группами соответствующего возраста с ДЦП; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 1 и 5; ³ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 1 и 6.

отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 5 и 6.

Таблица 4

Момент сил, полезная мощность

Параметр	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
Разгибание т/б сустава, Н×м	0,94 (0,73 ÷ 1,18)	0,78 (0,57 ÷ 0,93)	0,87 (0,7 ÷ 0,98)	0,88 (0,64 ÷ 1,17)	0,73¹ (0,55 ÷ 0,99)	0,77 (0,58 ÷ 0,92)
Приведение бедра, Н×м	0,61 (0,6 ÷ 0,72)	0,56 (0,47 ÷ 0,68)	0,76 (0,7 ÷ 0,88)	0,7 (0,59 ÷ 0,87)	0,67 (0,59 ÷ 0,71)	0,85 (0,76 ÷ 0,92)
Разгибание коленного сустава, Н×м	0,66 (0,47 ÷ 0,79)	0,7 (0,42 ÷ 0,96)	0,66 (0,41 ÷ 0,84)	0,87 (0,61 ÷ 1,17)	0,51 (0,31 ÷ 0,68)	0,65² (0,43 ÷ 0,87)
Подошвенная флексия, Н×м	1,02 (0,87 ÷ 1,22)	1,1 (0,95 ÷ 1,28)	1,2 (1,09 ÷ 1,36)	1,25 (1,05 ÷ 1,45)	1,08 (0,91 ÷ 1,22)	1,45 (1,32 ÷ 1,55)
Мощность т/б сустава, Вт/кг	0,44 (0,24 ÷ 0,71)	0,27 (0,06 ÷ 0,38)	0,45 (0,19 ÷ 0,62)	0,36 (0,19 ÷ 0,47)	0,27¹ (0,04 ÷ 0,42)	0,21 (0,03 ÷ 0,34)
Мощность коленного сустава, Вт/кг	-0,49 (-0,81 ÷ -0,12)	-0,86 (-1,27 ÷ -0,3)	-0,71 (-1,07 ÷ -0,39)	-0,87 (-1,13 ÷ -0,48)	-0,54³ (-0,8 ÷ -0,26)	-0,69 (-0,90 ÷ -0,45)
Мощность г/с сустава, Вт/кг	0,95 (0,56 ÷ 1,62)	1,1 (0,67 ÷ 1,99)	1,49 (1,09 ÷ 1,97)	1,84 (1,10 ÷ 2,43)	1,8* (1,24 ÷ 2,26)	2,3 (1,60 ÷ 2,81)
Суммарная полезная мощность, Вт/кг	0,86 (0,17 ÷ 1,35)	0,60 (0,13 ÷ 1,74)	1,23 (0,57 ÷ 1,89)	1,34 (0,83 ÷ 2,195)	1,53 (0,82 ÷ 2,01)	1,83 (1,23 ÷ 2,39)

Примечание: * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами здоровых детей и группами соответствующего возраста с ДЦП; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 1 и 5; ² — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 4 и 6; ³ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами 2 и 5.

ОБСУЖДЕНИЕ

Патология движений конечностей на стороне поражения при спастической гемиплегии изучена и классифицирована достаточно хорошо [7, 8, 22, 23].

Результаты исследований движений и ортопедического состояния невовлеченной конечности при спастической гемиплегии у детей представлены лишь в отдельных работах [10, 11, 12, 13, 24]. В то же время существует риск развития ортопедической патологии на неврологически непораженной стороне [18, 19, 20], а коррекция неравенства длины требует вмешательства в виде применения методики управляемого роста на здоровой конечности [25, 26, 27, 28].

Известны и хорошо описаны увеличения углов сгибания в коленном и тазобедренном суставах в опорную фазу цикла шага и в фазу переноса. Авторы считают объяснением такой особенности кинематики развитие адаптационного механизма для компенсации неравенства длины конечностей [10, 24, 29]. Наши исследования также выявили такую особенность артикуляции в суставах при том, что отличия движений в голеностопном суставе в сравнении со сверстниками без патологии движений отсутствуют. Мы также считаем большие углы сгибания в коленном и тазобедренном суставах, избыточный сагиттальный наклон таза механизмом компенсации неравенства длины ног, тем более что он не исчезает и после устранения в раннем возрасте контрактуры голеностопного сустава (группа 2 нашего исследования). При этом движения в тазобедренном и коленном суставах сопровождались повышенными значениями возникающих моментов сил и генерируемой мощности, что отражает высокие энерготраты такого механизма адаптации. Что касается кинетики движений голеностопного сустава, то в отличие от данных V. Cimolin et al. [24] об отсутствии различий со здоровыми детьми, мы отметили снижение силовых характеристик артикуляции в голеностопном суставе в сравнении со здоровой популяцией. Данное отличие в исследованиях может быть объяснено малой выборкой в работе V. Cimolin et al., что затрудняет интерпретацию результатов. Объяснение же обнаруженного нами феномена мы видим в общем снижении двигательной активности таких детей вследствие неврологической патологии в отличие от здоровой популяции [30].

Ротационные установки таза и бедра, повышенная амплитуда движений как со стороны вовлеченной, так и непораженной конечностей объясняются компенсаторными механизмами для сохранения ориентации стопы, близкой вектору движения [11, 14, 15]. Наши исследования подтверждают данное положение, тем более что высокие значения разворота таза и бедра сопровождаются девиацией оси стопы в пределах физиологической нормы.

Наконец, отметим, что наше исследование не выявило изменений в двигательном статусе невовлеченной конечности между группами без раннего оперативного вмешательства и при удлинении в раннем возрасте трицепса голени. Прогрессирование торсионных деформаций происходило в равной степени в обеих группах, а компенсаторная сгибательная установка в коленном и тазобедренном суставах при-

существовала во всех четырех изучаемых группах детей со спастической гемиплегией во всех возрастных категориях.

Мы полагаем, что изменения кинематики и кинетики невовлеченной конечности, являясь компенсаторными, отражают степень выраженности патологии движений со стороны поражения, и их динамика может служить показателем успешности лечения и/или прогрессирования двигательных нарушений.

Результаты и выводы, представленные в данном исследовании, следует принимать во внимание с учетом кросс-секционного характера исследования групп, несвязанных между собой и без динамического наблюдения. Изучение результатов лечения после многоуровневых вмешательств в сочетании с уравниванием длины конечностей может подтвердить гипотезу о снижении степени выраженности компенсаторных показателей кинематики невовлеченной конечности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компенсаторное поведение невовлеченной конечности при ходьбе детей с гемиплегией проявляется в кинетической и кинематической активности. По сравнению с нормой статистически значимо перераспределяются мощностные локомоторные характеристики. Возрастают мощностные показатели в коленном и тазобедренном суставах, но значимо снижаются в голеностопном. По показателю GPS значимо возрастает общая суммарная суставная кинематическая вариативность, а также для компенсации разновысокости ног увеличиваются углы сгибания в суставах и сагиттальный наклон таза. Процедура раннего хирургического удлиннения трицепса голени не оказывала значимого влияния на двигательные характеристики невовлеченной конечности.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Источник финансирования. Отсутствует.

Этическая экспертиза. На проведение исследований получено разрешение локального комитета по этике (протокол от 07.10.2022 № 2(72)).

Информированное согласие. Родители обследуемых, уполномоченные родственники или сотрудники социальных учреждений подтвердили согласие на проведение исследования и публикацию результатов без идентификации личности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Liptak GS, Murphy NA; Council on Children With Disabilities. Providing a primary care medical home for children and youth with cerebral palsy. *Pediatrics*. 2011;128(5):e1321-1329. doi: 10.1542/peds.2011-1468.
- Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Transl Pediatr*. 2020;9(Suppl 1):S125-S135. doi: 10.21037/tp.2020.01.01.
- Michael-Asalu A, Taylor G, Campbell H, Lelea LL, Kirby RS. Cerebral Palsy: Diagnosis, Epidemiology, Genetics, and Clinical Update. *Adv Pediatr*. 2019;66:189-208. doi: 10.1016/j.yapd.2019.04.002.
- Mushta SM, King C, Goldsmith S, et al. Epidemiology of Cerebral Palsy among Children and Adolescents in Arabic-Speaking Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Sci*. 2022 29;12(7):859. doi: 10.3390/brainsci12070859.
- Gorter JW, Rosenbaum PL, Hanna SE, et al. Limb distribution, motor impairment, and functional classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2004;46(7):461-467. doi: 10.1017/s0012162204000763.
- Palisano RJ, Hanna SE, Rosenbaum PL, et al. Validation of a model of gross motor function for children with cerebral palsy. *Phys Ther*. 2000;80(10):974-985. doi: 10.1093/ptj/80.10.974.
- Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(3):437-441.
- Rodda J, Graham HK. Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol*. 2001;8 Suppl 5:98-108. doi: 10.1046/j.1468-1331.2001.00042.x.
- Wagenaar RC, Beek WJ. Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis. *J Biomech*. 1992;25(9):1007-1015. doi: 10.1016/0021-9290(92)90036-z.
- Eek MN, Züchner R, Stefansdottir I, Tranberg R. Kinematic gait pattern in children with cerebral palsy and leg length discrepancy: Effects of an extra sole. *Gait Posture*. 2017;55:150-156. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.04.022.
- Salazar-Torres JJ, McDowell BC, Kerr C, Cosgrove AP. Pelvic kinematics and their relationship to gait type in hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2011;33(4):620-624. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.02.004.
- Витензон А.С., Петрушанская К.А., Гриценко Г.П. и др. Биомеханическое и нейрофизиологическое обоснование применения фазовой электрической стимуляции мышц у детей с гемипаретической формой детского церебрального паралича. *Российский журнал биомеханики*. 2016;20(2):150-167. doi: 10.15593/RZhBiomeh/2016.2.05.
- Park KB, Park H, Park BK, et al. Clinical and Gait Parameters Related to Pelvic Retraction in Patients with Spastic Hemiplegia. *J Clin Med*. 2019;8(5):679. doi: 10.3390/jcm8050679.
- Wren TA, Lening C, Rethlefsen SA, Kay RM. Impact of gait analysis on correction of excessive hip internal rotation in ambulatory children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol*. 2013;55(10):919-925. doi: 10.1111/dmcn.12184.
- Hara R, Rethlefsen SA, Wren TAL, Kay RM. Predictors of Changes in Pelvic Rotation after Surgery with or without Femoral Derotational Osteotomy in Ambulatory Children with Cerebral Palsy. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(10):1214. doi: 10.3390/bioengineering10101214.
- Min JJ, Kwon SS, Kim KT, et al. Evaluation of factors affecting external tibial torsion in patients with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):684. doi: 10.1186/s12891-021-04570-5.
- Riad J, Finnbogason T, Broström E. Anatomical and dynamic rotational alignment in spastic unilateral cerebral palsy. *Gait Posture*. 2020;81:153-158. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.07.010.
- Joo S, Miller F. Abnormalities in the uninvolved foot in children with spastic hemiplegia. *J Pediatr Orthop*. 2012;32(6):605-608. doi: 10.1097/BPO.0b013e318263a245.

19. Yoon JA, Jung DH, Lee JS, et al. Factors associated with unaffected foot deformity in unilateral cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B*. 2020;29(1):29-34. doi: 10.1097/BPB.0000000000000665.
20. Allen PE, Jenkinson A, Stephens MM, O'Brien T. Abnormalities in the uninvolved lower limb in children with spastic hemiplegia: the effect of actual and functional leg-length discrepancy. *J Pediatr Orthop*. 2000;20(1):88-92.
21. Reid LB, Rose SE, Boyd RN. Rehabilitation and neuroplasticity in children with unilateral cerebral palsy. *Nat Rev Neurol*. 2015;11(7):390-400. doi: 10.1038/nrneurol.2015.97.
22. Riad J, Haglund-Akerlind Y, Miller F. Classification of spastic hemiplegic cerebral palsy in children. *J Pediatr Orthop*. 2007;27(7):758-764. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181558a15.
23. Pinzur M. S. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(8):1304.
24. Cimolin V, Galli M, Tenore N, et al. Gait strategy of uninvolved limb in children with spastic hemiplegia. *Eura Medicophys*. 2007;43(3):303-10.
25. Corradin M, Schiavon R, Borgo A, et al. The effects of uninvolved side epiphysiodesis for limb length equalization in children with unilateral cerebral palsy: clinical evaluation with the Edinburgh visual gait score. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(5):977-984. doi: 10.1007/s00590-017-2097-3.
26. Фатхулislamов Р.Р., Гатамов О.И., Мамедов У.Ф., Попков Д.А. Оценка состояния пациентов со спастическими формами церебрального паралича при переходе во взрослую сеть лечебно-профилактических учреждений: кросс-секционное исследование. *Гений ортопедии*. 2023;29(4):376-381. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-376-381.
27. Demirel M, Sağlam Y, Yıldırım AM, et al. Temporary Epiphysiodesis Using the Eight-Plate in the Management of Children with Leg Length Discrepancy: A Retrospective Case Series. *Indian J Orthop*. 2022;56(5):874-882. doi: 10.1007/s43465-021-00599-9.
28. Tirta M, Hjorth MH, Jepsen JF, et al. Are percutaneous epiphysiodesis and Phemister technique effective in the treatment of leg-length discrepancy? A systematic review. *J Pediatr Orthop B*. 2024. doi: 10.1097/BPB.0000000000001160.
29. Liu XC, Fabry G, Molenaers G, et al. Kinematic and kinetic asymmetry in patients with leg-length discrepancy. *J Pediatr Orthop*. 1998;18(2):187-189.
30. Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В., Чибиров Г.М. Показатели кинетики локомоторных стереотипов у здоровых детей в различных скоростных диапазонах передвижения. *Гений ортопедии*. 2022;28(3):417-424. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-417-424.

Статья поступила 02.02.2024; одобрена после рецензирования 02.08.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 02.02.2024; approved after reviewing 02.08.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Улви Фаиг оглы Мамедов — аспирант, ulvi.mamedof@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0266-6515>;

Тамара Игоревна Долганова — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Лидия Владимировна Смолькова — аспирант, slv@odb45.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9665-0427>;

Анатолий Олегович Трофимов — аспирант, a4texa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3455-4530>;

Орхан Ильхам оглы Гатамов — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, заведующий отделением, or-gatamov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>;

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, профессор Российской Академии Наук, член-корр. Французской Академии медицинских наук, руководитель клиники, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

Ulvi F. Mamedov — post-graduate student, ulvi.mamedof@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0266-6515>;

Tamara I. Dolganova — Doctor of Medical Sciences, leading researcher, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Lidiia V. Smolkova — post-graduate student, slv@odb45.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9665-0427>;

Anatoly O. Trofimov — post-graduate student, a4texa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3455-4530>;

Orkhan I. Gatamov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of the Department, or-gatamov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>;

Dmitry A. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the French Academy of Medical Sciences, Head of the Clinic, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Вклад авторов:

Мамедов У.Ф. — обобщение данных, написание первоначального варианта.

Долганова Т.И. — анализ видеоматериала, статистическая обработка и редактирование.

Смолькова Л.В. — формирование группы контроля.

Трофимов А.О. — формирование группы контроля.

Гатамов О.И. — контроль и формирование клинического материала.

Попков Д.А. — методология, концептуализация, управление проектом.

Научная статья

УДК 616.721.1-002.1-022-02-08:615.33:615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-202-209>

Этиология инфекционного спондилодисцита: есть ли связь с успехом лечения

Л.В. Любимова^{1✉}, Е.А. Любимов¹, С.И. Павлова²¹ Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Людмила Валентиновна Любимова, borisova-80@mail.ru

Аннотация

Введение. Проблема лечения пациентов с инфекционными спондилодисцитами в настоящее время приобрела большую актуальность из-за роста частоты возникновения заболевания, трудности диагностики и низкой выявляемости этиологического фактора.

Цель работы — оценить зависимость исходов лечения больных инфекционным спондилодисцитом от положительных / отрицательных результатов микробиологического исследования интраоперационных материалов.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ исходов лечения 52 пациентов с инфекционным спондилодисцитом с отсутствием роста культуры в исследуемых биологических образцах (группа I, $n = 22$) и выявленным возбудителем (группа II, $n = 30$). Диагноз верифицировали на основании МРТ-картины, результатов интраоперационного микробиологического исследования тканей, клинической картины, маркеров воспаления в крови (СОЭ и СРБ). Неблагоприятными исходами считали смерть и/или рецидив спондилодисцита.

Результаты. Положительный рост культуры выявлен в 57,7 % случаев: преобладали стафилококки (57,2 %), а именно *Staphylococcus aureus* (42,9 %). Пациенты группы I в два раза чаще принимали антибиотики на догоспитальном этапе ($p = 0,0049$), имели на 20 % больше времени задержки в диагностике ($p = 0,7286$), средние уровни СРБ и СОЭ ниже, чем во II группе ($p > 0,05$). Неблагоприятные исходы — по одному летальному случаю в каждой группе; рецидивы инфекции — только в группе II в 13,3 % случаев ($p = 0,3814$), причем три четверти случаев вызваны *Pseudomonas aeruginosa*.

Обсуждение. Неблагоприятными прогностическими факторами при инфекционных спондилодисцитах являются отрицательный микробиологический результат, неврологические нарушения и сопутствующий эндокардит ($p \leq 0,05$). Ассоциированный с *S. aureus* спондилодисцит сопровождается повышенными смертностью и частотой осложнений.

Заключение. Больные спондилодисцитами с отрицательным результатом микробиологического исследования в сравнении с пациентами с культуроположительной инфекцией имели лучший исход лечения при минимуме рецидивов ($p > 0,05$).

Ключевые слова: инфекционный спондилодисцит, этиология спондилодисцита, инфекция позвоночника, возбудитель спондилодисцита, рецидив инфекции позвоночника, исходы лечения спондилодисцита, антибиотикотерапия

Для цитирования: Любимова Л.В., Любимов Е.А., Павлова С.И. Этиология инфекционного спондилодисцита: есть ли связь с успехом лечения. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):202-209. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-202-209.



Etiology of infectious spondylodiscitis: is there an association with successful treatment?

L.V. Lyubimova^{1✉}, E.A. Lyubimov¹, S.I. Pavlova²

¹ Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary, Russian Federation

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russian Federation

Corresponding author: Ludmila V. Lyubimova, borisova-80@mail.ru

Abstract

Introduction Infectious spondylodiscitis is rising in incidence and is often a late diagnosis and identification of the causative agent.

The **objective** was to evaluate the treatment outcomes of patients with infectious spondylodiscitis depending on the positive/negative results of intraoperative microbiological culture.

Material and methods Treatment outcomes of 52 patients with infectious spondylodiscitis were retrospectively analyzed with no culture growth in the biological samples (group I, $n = 22$) and with identified pathogen (group II, $n = 30$). The diagnosis was verified using MRI imaging, intraoperative microbiological culture test, the clinical picture and blood inflammation markers (ESR and CRP). Poor outcomes were associated with death and/or recurrent spondylodiscitis.

Results Positive culture growth was detected in 57.7 % with staphylococci predominated in 57.2 % and *Staphylococcus aureus* detected in 42.9 %. Patients of group I were twice as likely to take antibiotics at the preadmission stage ($p = 0.0049$), had a 20 % longer delay in diagnosis ($p = 0.7286$), and had lower CRP and ESR levels than those in Group II ($p > 0.05$). Adverse events included one fatal case in each of the groups; recurrent infections occurred in 13.3 % of cases of group II ($p = 0.3814$) with three quarters of cases caused by *Pseudomonas aeruginosa*.

Discussion Poor prognostic factors in infectious spondylodiscitis include negative microbiological results, neurological impairment and concomitant endocarditis ($p \leq 0.05$). *S. aureus* associated spondylodiscitis is accompanied by increased mortality and morbidity. Patients with spondylodiscitis with a negative microbiological test result compared with patients with a culture-positive infection, had a better treatment outcome with minimum recurrent rate ($p > 0.05$).

Conclusion Spondylodiscitis with a negative microbiological result compared with a culture-positive infection had a better treatment outcome with a minimum of relapses ($p > 0.05$).

Keywords: infectious spondylodiscitis, etiology of spondylodiscitis, spinal infection, causative agent of spondylodiscitis, recurrent spinal infection, outcomes of spondylodiscitis, antibiotic therapy

For citation: Lyubimova LV, Lyubimov EA, Pavlova SI. Etiology of infectious spondylodiscitis: is there an association with successful treatment? *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):202-209. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-202-209.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема лечения больных инфекционными заболеваниями позвоночника (спондилодисциты) в настоящее время приобрела большую актуальность из-за роста частоты возникновения патологии. Во Франции в 2002–2003 гг. уровень заболеваемости инфекционным спондилодисцитом (ИС) составлял 0,2–2,4 на 100 тыс. населения в год [1], к 2010 г. увеличившись до 6,1, а в 2019 г. — до 11,3 [2]. В 2020 г., по данным регистра Германии, этот показатель составил 14,4 на 100 тыс. населения в год [3].

Другими, не менее важными, проблемами инфекционных заболеваний позвоночника являются трудность диагностики и низкая частота выявляемости этиологического фактора. По данным французского исследования SPONDIMMO, средняя продолжительность симптомов до постановки диагноза ИС составляет 25 (0–427) дней [4]. К моменту постановки диагноза пациенты амбулаторно принимают как нестероидные противовоспалительные, так и антибактериальные препараты, что, в конечном итоге, может влиять на выявление возбудителей инфекции.

Отсутствие роста микроорганизмов в образцах биологических материалов может достигать 68 % [5]. По данным исследования E. Pola et al., отрицательный микробиологический посев является наиболее значимым неблагоприятным прогностическим фактором ИС [6]. Однако существует ограниченное количество исследований, которые предоставляют или сравнивают результаты лечения в случаях ИС, когда возбудитель был или не был обнаружен.

Цель работы — оценить зависимость исходов лечения больных инфекционным спондилодисцитом от положительных / отрицательных результатов микробиологического исследования интраоперационных материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен сплошной ретроспективный анализ случаев лечения пациентов с инфекционным спондилодисцитом в условиях Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Чебоксары, далее — Центр) за период с 2016 по 2022 гг.

В исследование включены все случаи консервативного и хирургического лечения ИС ($n = 52$), за исключением пациентов в возрасте 18 лет и младше.

Диагноз ИС основан на данных клинической картины, МРТ-исследованиях, маркерах воспаления в крови (скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и С-реактивный белок (СРБ)), результатах микробиологического исследования интраоперационных тканевых биоптатов, смывов с удаленных металлоконструкций. Время доставки биоматериала в лабораторию составляло 15–60 мин.

Степень тяжести спондилодисцита определяли по шкале SponDT, включающей оценку результатов СРБ, боли по ВАШ и данных МРТ-исследования [7].

Исследования крови на стерильность проводили у пациентов с признаками системной воспалительной реакции (повышение уровня прокальцитонина в крови более 1,0 нг/мл), не получавших антибактериальную терапию ($n = 2$).

В четырех случаях проведено исследование биопсийного материала, в 48 — тканевых биоптатов, взятых во время операции, в 14 — смывов с удаленных металлоконструкций. Взятие биологического материала у пациентов, получающих консервативную терапию, осуществляли в условиях операционной методом игольной аспирации из пространства диска под контролем электронно-оптического преобразователя с рентген-навигацией. Забор тканевых биоптатов во время операции проводили в количестве не менее трех образцов с последующим выделением изолятов микроорганизмов в соответствии с утвержденными стандартами микробиологических исследований. Образцы тканей гомогенизировали, затем помещали в бульон с тиогликолевой средой. Производили пересев на плотные питательные среды: на 1 сут. — на Колумбийский, Шоколадный и Шедлер агары; на 5 сут. — на Шоколадный и Шедлер агары, и на 10 сут. — на Шедлер агар. Для аэробных, анаэробных и капнофильных микроорганизмов условия инкубации создавали с помощью газогенерирующих пакетов. Металлические конструкции, извлеченные во время операции, для выделения микроорганизмов из микробных биопленок подвергали обработке в УЗ-машине BRANSON 8510 (США) в течение 5 мин. при частоте (40 ± 2) кГц с последующим посевом смывов на питательные среды и на флаконы анализатора. Срок инкубации составлял 14 сут.

Видовую идентификацию возбудителей с определением чувствительности выполняли на автоматическом анализаторе Vitec 2-compact (Bio Merieux, Франция) и полуавтоматическом анализаторе Multiscan FC (Thermo Fisher, США).

Пациенты с ИС разделены на две группы: I, основная ($n = 22$), — с отсутствием роста культуры в исследуемых биологических образцах; II, контрольная ($n = 30$), — рост культуры получен. Группы сопоставимы по полу, возрасту, ИМТ и коморбидности (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика пациентов исследуемых групп

Показатели	I группа (n = 22)		II группа (n = 30)		p < 0,05
	абс.	%	абс.	%	
Мужчины	12	54,5	16	53,3	1,0000
Женщины	10	45,5	14	46,7	
Коморбидность, в т.ч.:					
сахарный диабет	4	18,2	7	23,3	0,7411
онкопатология	1	4,5	2	6,7	1,0000
ВИЧ-инфекция	0	0,0	2	6,7	0,5023
системные заболевания	2	9,1	2	6,7	1,0000
Локализация инфекционного процесса по отделам позвоночника, в т.ч.:					
шейный	3	13,6	1	3,3	0,3053
грудной	5	22,7	6	20,0	1,0000
поясничный или пояснично-крестцовый	14	63,6	23	76,7	0,3625
Классификация по степени тяжести (SponDT):					
легкая	0	0,0	1	3,3	1,0000
умеренная	10	45,5	15	50,0	0,7852
тяжелая	12	54,5	14	46,7	0,7793
По пути инфицирования:					
первичные (гематогенные)	14	63,6	23	76,7	0,1461
вторичные (послеоперационные)	8	36,4	7	23,3	
Количество пациентов, пролеченных антибиотиками на амбулаторном этапе	19	86,4	13	43,3	0,0049*
Возраст, лет	56,8 (50,2–60,8)		57,8 (56,4–64,6)		0,7564
ИМТ, кг/м²	26,3 (23,2–29,4)		28,2 (26,1–30,4)		0,2977
Период от начала заболевания до выставления диагноза, дни	122,5 (64,3–180,7)		99,9 (64,9–134,3)		0,7286

* — статистически значимые различия

Оценку болевого синдрома после операции и на этапе катамнеза оценивали по визуальной аналоговой шкале ВАШ, удовлетворенность результатами лечения — по опросникам EQ-5D и EQ VAS [8, 9].

Благоприятными исходами считали полное заживление послеоперационной раны с нормализацией лабораторных и рентгенологических данных на момент проведения исследования (даже при сохраняющемся неврологическом дефиците и/или хроническом болевом синдроме). Неблагоприятными исходами считали смерть и/или рецидив спондилодисцита с клиническими и инструментальными признаками инфекции. Общий срок наблюдения после санации составил 32,9 (24,9–35,1) мес.

Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц, визуализацию структуры данных и их анализ проводили с помощью программы MS Office Excel, 2007 (Microsoft, США) и программы Graf Pad. Для описания количественных показателей выполняли проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова – Смирнова. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднеквадратичное отклонение с 95 % ДИ. Сопоставление количественных признаков между группами сравнения выполняли с применением критерия Манна – Уитни. Категориальные данные (пол, исход) описывали условными кодами не измеряемых категорий, не подлежащих упорядочиванию. Для оценки эффективности проведенного лечения в группах проводили расчет точного теста Фишера. Различия показателей между группами считали статистически достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среди 52 пролеченных больных ИС в 42,3 % ($n = 22$) мы не получили роста микроорганизмов в исследуемых интраоперационных биологических материалах ($n = 21$) и тканях во время биопсии ($n = 1$). Пациенты с отрицательными результатами посевов (группа I) в сравнении с группой II чаще получали антибактериальную терапию на догоспитальном этапе ($p = 0,0049$) и имели на 20 % больше времени задержки в диагностике ($p = 0,7286$).

В обеих группах преобладали поражения поясничного или пояснично-крестцового отделов позвоночника. Статистически значимых различий по степени тяжести спондилодисцита в группах наблюдения не выявлено, однако среди пациентов группы I тяжелые спондилодисциты встречали чаще (54,5 % против 46,7 %).

Два случая ИС (6,7 %) с выделенными микроорганизмами отнесены к полимикробной инфекции и представлены микробными ассоциациями:

- 1) *Pseudomonas aeruginosa* + *Enterococcus faecalis* + *Enterococcus faecium* + *Staphylococcus epidermidis* MRSE;
- 2) *Staphylococcus epidermidis* MRSE + *Corynebacterium*.

Среди возбудителей мономикробной инфекции (93,3 % случаев) ведущими патогенами являлись стафилококки, удельный вес которых составил 57,2 % с превалированием доли *Staphylococcus aureus*. Второе место по частоте встречаемости принадлежало грамотрицательным микроорганизмам (21,4 %), представленным *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Klebsiella pneumonia* (рис. 1).

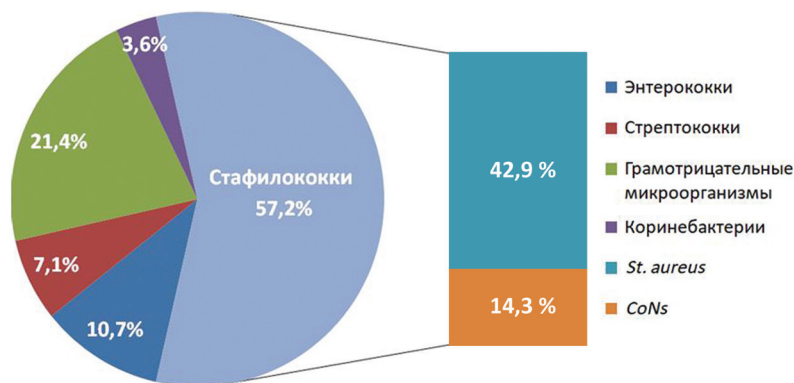


Рис. 1. Спектр возбудителей спондилитов с одним выделенным микроорганизмом

Исследование крови на стерильность показало положительный результат у двух обследованных пациентов контрольной группы, не получавших антибактериальную терапию на амбулаторном этапе: в одном случае выявлен *Staphylococcus aureus*, в другом — *Streptococcus pneumoniae*.

На догоспитальном этапе в обеих группах наблюдения были повышены лабораторные показатели воспаления в крови с преобладанием более высоких значений СОЭ, СРБ и Д-димера в группе II без статистически значимых различий (табл. 2).

Таблица 2

Лабораторные показатели в группах до санации

Показатели	I группа (n = 22)	II группа (n = 30)	p < 0,05
Лейкоциты крови, 10 ⁹ /л	8,3 (7,0–9,5)	7,7 (6,6–8,9)	0,3152
СОЭ (мм/ч)	35,1 (20,7–49,6)	52,9 (13,7–66,1)	0,0597
СРБ (мг/л)	52,9 (14,4–83,8)	61,1 (42,3–80,0)	0,1802
Д-димер (нг/мл)	1137,9 (643,6–1632,0)	1305,9 (880,2–1732,0)	0,5104

По данным МРТ-исследования наличие абсцессов различных локализаций в группе I выявлено в 54,5 % (n = 12), в группе II — в 43,3 % (n = 13) случаев (p = 1,0000).

Консервативную терапию в виде антибиотикотерапии (6–12 нед.) с фиксацией позвоночника жестким корсетом в группе I получил один пациент, в группе II — три пациента (p = 0,6288). Остальным пациентам с ИС выполнено хирургическое лечение (табл. 3).

Таблица 3

Методы хирургической санации в группах

Хирургические вмешательства	I группа (n = 21)		II группа (n = 27)	
	абс.	%	абс.	%
Декомпрессия с этапным вентральным и дорсальным спондилодезом	2	9,5	–	
Вентральный спондилодез	2	9,5	2	7,4
Передний спондилодез с фиксацией пластиной	2	9,5	–	
Задний спондилодез с фиксацией ТПФ	14	66,7	21	77,8
Санация только с декомпрессией	1	4,8	3	11,1
Задний спондилодез костной аутокрешкой	–		1	3,7

Средняя продолжительность внутривенной антибиотикотерапии составила ($12,4 \pm 3,8$) дня, пероральной антибактериальной терапии — ($71,9 \pm 55,4$) дня. В группе II эмпирическая внутривенная антибактериальная терапия «гликопептид + бета-лактамы» была наиболее частой внутривенной схемой (54,5 %), далее по частоте — комбинация «цефуроксим + амикацин» (22,7 %); монотерапия цефалоспорины III–IV поколения (13,6 %) и комбинация цефалоспоринов с рифампицином (9,1 %). Фторхинолоны в сочетании с рифампицином были наиболее частой схемой эмпирической пероральной антибактериальной терапией (36,4 %), другие распространенные пероральные схемы: монотерапия хинолонами (18,2 %) или клиндамицином (18,2 %), комбинация «хинолон + доксициклин» (13,6 %) или «хинолон + ко-тримоксазол» (13,6 %). Пероральную комбинированную терапию двумя и более антибиотиками использовали в 48,1 % случаев.

При успешной санации достоверных различий в качестве жизни больных в группах наблюдения не выявлено (табл. 4). Пациенты, как правило, удовлетворены качеством жизни в среднем на 75 баллов.

Таблица 4

Удовлетворенность пациентов проведенным лечением на этапе катамнеза

Показатели	I группа (n = 22)	II группа (n = 30)	p < 0,05
Оценка качества жизни по опроснику EQ-5D (от 0 до 1 балла)	0,71 (0,61–0,80)	0,76 (0,67–0,86)	0,3083
Оценка состояния здоровья по «термометру здоровья» EQ-VAS (от 0 до 100 баллов)	70,33 (59,23–81,43)	76,83 (69,83–84,14)	0,3256
Шкала ВАШ, баллы	2,53 (1,58–3,49)	2,11 (1,43–2,80)	0,6184

Средний срок наблюдения после санации в группе I составил 31,5 мес. (20,5–36,5), в группе II — 34,0 мес. (23,0–37,0), $p = 0,6397$. Рецидивы в виде глубокой инфекции позвоночника в группе I не выявлены, в группе II рецидивы наблюдали у 4 (13,3 %) пациентов, санированы оперативным путем ($p = 0,3814$). Летальные исходы имели место в каждой группе наблюдения по одному случаю: на фоне прогрессирования опухолевого процесса в группе I и после консервативного лечения рецидива инфекционного спондилита на фоне тромбоза брыжеечной артерии в группе II. В трех случаях из четырех рецидивы инфекции наблюдали у пациентов со спондилитом, вызванным *Pseudomonas aeruginosa*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Микробиологическое исследование является ключевым элементом в диагностике и лечении ИС. Однако получить культуральный рост при исследовании биологического материала удается далеко не во всех случаях. Авторы нескольких крупных проспективных исследований обнаружили, что возбудитель не может быть выделен в 21–34 % случаев [1, 10–12].

В исследовании M. Stangenberg et al. показано, что частота обнаружения бактериальных патогенов посредством интраоперационного взятия проб составляла 66,3 % и могла быть увеличена за счет результатов посевов крови до общего показателя 80,6 % ($n = 170/211$) [13]. По данным исследования E. Pola et al., микробиологический диагноз установлен в 74,3 % случаев; положительный анализ крови на стерильность — в 55,5 %, выявление возбудителя при пункционной биопсии — в 44,1 %, при интраоперационной — в 59,6 % случаев [6]. Наши результаты поиска возбудителя ИС отличаются от данных зарубежных коллег, поскольку мы ограничились микробиологическим исследованием образцов пункционной биопсии и интраоперационного биоматериала, получив положительный результат в 57,7 % случаев. В связи с тем, что 61,5 % пациентов на дооперационном этапе получали антибактериальную терапию, им не было проведено исследование крови на стерильность. Не исключается, что выполнение данного анализа в рамках скрининг-диагностики ИС могло бы уточнить наши результаты в поиске инфекционного агента.

Оценивая структуру выделенных при микробиологическом исследовании возбудителей, мы получили подобные с другими исследованиями результаты, согласно которым *S. aureus* являлся наиболее распространенным возбудителем примерно в 50 % случаев спондилита [14, 15]. Однако в опубликованном в 2023 г. анализе заболеваемости спондилитом в Германии за десятилетний период представлены данные, свидетельствующие о снижении доли *S. aureus* в общей микробной структуре: в большинстве случаев зарегистрированы коагулазонегативные стафилококки (27,1 %), за которыми следовали грамотрицательные бактерии (22,4 %), на долю *S. aureus* приходилось лишь 19,4 % [3].

Недавний анализ случаев ИС после имплантации металлоконструкций [16] показал, что наиболее распространенным возбудителем являлся *S. epidermidis* (40,6 %), который в последнее время стал преобладать и у пациентов с имплантат-ассоциированной инфекцией [17]. О росте значимости грамотрицательных патогенов в этиологии ИС также свидетельствует проведенное во Франции исследование (за 2010–2019 гг.) с частотой выделения данных патогенов 26,4 % (второе место после стафилококков, — 52,3 %) [2].

ИС является сложным для лечения состоянием и вызывается широким спектром организмов [18]. Поиск возбудителя инфекции — важная составляющая лечения пациентов с ИС. По нашим данным, грамотрицательные микроорганизмы и коагулазонегативные стафилококки входят в тройку лидеров с частотой встречаемости 21,4 % и 14,6 % соответственно. Подобная тенденция роста грамотрицательных патогенов и коагулазонегативных стафилококков, вероятно, связана с эпидемиологическим неблагополучием, вызванным старением населения, увеличением числа ослабленных пациентов с множественной коморбидностью, а также ростом инвазивных процедур и хирургических вмешательств на позвоночнике.

Несмотря на то, что пациенты контрольной группы получали этиотропную антибактериальную терапию, лучшие результаты лечения, характеризующиеся отсутствием рецидива инфекции при аналогичных показателях удовлетворенности качеством жизни, получены в группе с отрицательным бактериологическим исследованием. Данные, схожие с нашими, получили J. Gillard et al., которые не зарегистрировали рецидивов инфекции после эмпирической двухкомпонентной антимикробной терапии, включающей внутривенное введение фторхинолонов, в отличие от группы пациентов в установленном инфекционным агентом и подобранной этиотропной терапией [19].

M. Stangenberg et al. получили данные о том, что ассоциированный с *S. aureus* спондилит сопровождается повышенной смертностью и более высокой частотой осложнений, что связано с высокой частотой выявления возбудителя не только в тканях, но и в кровотоке [13].

В отличие от ранее обсуждаемых работ, N. Hopkinson et al. подчеркнули важность поиска возбудителя ИС (поскольку результат лечения хуже, если возбудитель не обнаружен) и показали тенденцию к более длительным курсам антибиотикотерапии. Авторы также указали на то, что эти случаи сложнее поддаются лечению. Отметим, что исследуемая группа пациентов представлена малой выборкой: 22 случая — в публикации 2001 г. и 23 — в 2016 г. [21, 22].

В 2018 г. E. Pola et al. опубликовали исследование 207 случаев ИС, сделав заключение, что отрицательный микробиологический посев являлся статистически подтвержденным отрицательным прогностическим фактором, наряду с неврологическими нарушениями, на момент постановки диагноза и фоновым эндокардитом [6]. Следует отметить, что работы N. Hopkinson (2001, 2016) и E. Pola (2018) носили описательный характер. Мы же в своем исследовании попытались проанализировать исход лечения ИС в зависимости от полученного положительного или отрицательного результата интраоперационного микробиологического исследования.

Худшие исходы лечения пациентов с идентифицированным возбудителем в нашем исследовании могли быть обусловлены не диагностированной бактериемией, поскольку мы не брали кровь на стерильность у всех пациентов с ИС. Нам также показался интересным тот факт, что 75 % случаев рецидива ИС связаны с грамотрицательными патогенами (в частности, *Pseudomonas aeruginosa*), что может свидетельствовать о неблагоприятном влиянии данного возбудителя на исход лечения ИС.

Пациенты I группы достоверно чаще использовали антибиотики на амбулаторном этапе до взятия биоматериала на бактериологическое исследование, хотя оптимальным является воздержание от антибиотиков до тех пор, пока не будет обнаружен микроорганизм. Мы предположили, что прием антибиотиков на амбулаторном этапе увеличивает их общую курсовую дозу, что также могло положительно сказаться на исходе лечения ИС с отрицательным микробиологическим результатом.

Положительное влияние на исход лечения ИС коррелирует с исследованием S. Bhagat et al., в котором авторы сообщают, что начало приема антибиотиков до обнаружения микроорганизма может помочь снизить риск неврологического дефицита или деформации позвоночника [22]. Наше исследование также показало, что эмпирическая антибиотикотерапия «гликопептид + бета-лактамы», используемая в большинстве случаев, не менее эффективна, чем этиотропное лечение.

Ограничениями исследования является его ретроспективный характер и небольшая выборка. Мы анализировали кровь на стерильность лишь у двоих пациентов, тогда как 100 % охват данным исследованием мог бы повысить частоту выделения возбудителей. Также остается открытым вопрос о разумном временном балансе от начала приема антибиотиков до момента идентификации возбудителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Больные спондилитами с отрицательным результатом микробиологического исследования в сравнении с пациентами с культуроположительной инфекцией имели лучший исход лечения при минимуме рецидивов ($p > 0,05$).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Авторы не получали специального финансирования для этой работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Grammatico L, Baron S, Rusch E, et al. Epidemiology of vertebral osteomyelitis (VO) in France: analysis of hospital-discharge data 2002-2003. *Epidemiol Infect.* 2008;136(5):653-660. doi: 10.1017/S0950268807008850.
- Conan Y, Laurent E, Belin Y, et al. Large increase of vertebral osteomyelitis in France: a 2010-2019 cross-sectional study. *Epidemiol Infect.* 2021;149:e227. doi: 10.1017/S0950268821002181.
- Lang S, Walter N, Schindler M, et al. The Epidemiology of Spondylodiscitis in Germany: A Descriptive Report of Incidence Rates, Pathogens, In-Hospital Mortality, and Hospital Stays between 2010 and 2020. *J Clin Med.* 2023;12(10):3373. doi: 10.3390/jcm12103373.
- Le Pluat A, Coiffier G, Darrieutort-Laffite C, et al. Quelle place pour l'immobilisation rachidienne dans la spondylodiscite infectieuse? SPONDIMMO – cohorte prospective de 250 patients. *Revue du Rhumatisme.* 2020;87(Suppl 1):A8. doi: 10.1016/j.rhum.2020.10.017.
- Винокуров А.С., Беленькая О.И., Юдин А.Л. и др. Современная диагностика спондилитов: основные КТ- и МР-признаки. *Лучевая диагностика и терапия.* 2019;(1):39-47. doi: 10.22328/2079-5343-2019-10-1-39-47.
- Pola E, Taccari F, Autore G, et al. Multidisciplinary management of pyogenic spondylodiscitis: epidemiological and clinical features, prognostic factors and long-term outcomes in 207 patients. *Eur Spine J.* 2018;27(Suppl 2):229-236. doi: 10.1007/s00586-018-5598-9.
- Homagk L, Marmelstein D, Homagk N, Hofmann GO. SponDT (Spondylodiscitis Diagnosis and Treatment): spondylodiscitis scoring system. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):100. doi: 10.1186/s13018-019-1134-9.
- Александрова Е.А., Герри Д.К., Кайнд П., Хабибуллина А.Р. Популяционные показатели качества жизни, связанного со здоровьем по опроснику EQ-5D. *Здравоохранение Российской Федерации.* 2018;62(6):295-303. doi: 10.18821/0044-197X-2018-62-6-295-303.
- Александрова Е.А., Хабибуллина А.Р. Методология оценки качества жизни связанного со здоровьем с использованием опросника EQ-5D-3L. *Российский медицинский журнал.* 2019;25(4):202-209. doi: 10.18821/0869-2106-2019-25-4-202-209.
- Hadjipavlou AG, Mader JT, Necessary JT, Muffoletto AJ. Hematogenous pyogenic spinal infections and their surgical management. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25(13):1668-1679. doi: 10.1097/00007632-200007010-00010.
- D'Agostino C, Scorzolini L, Massetti AP, et al. A seven-year prospective study on spondylodiscitis: epidemiological and microbiological features. *Infection.* 2010;38(2):102-7. doi: 10.1007/s15010-009-9340-8.
- Luzzati R, Giacomazzi D, Danzi MC, et al. Diagnosis, management and outcome of clinically- suspected spinal infection. *J Infect.* 2009;58(4):259-265. doi: 10.1016/j.jinf.2009.02.006.
- Stangenberg M, Mende KC, Mohme M, et al. Influence of microbiological diagnosis on the clinical course of spondylodiscitis. *Infection.* 2021;49(5):1017-1027. doi: 10.1007/s15010-021-01642-5.
- Gentile L, Benazzo F, De Rosa F, et al. A systematic review: characteristics, complications and treatment of spondylodiscitis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2019;23(2 Suppl):117-128. doi: 10.26355/eurrev.201904.17481.
- Petkova AS, Zhelyazkov CB, Kitov BD. Spontaneous Spondylodiscitis - Epidemiology, Clinical Features, Diagnosis and Treatment. *Folia Med (Plovdiv).* 2017;59(3):254-260. doi: 10.1515/folmed-2017-0024.
- Pichler L, Li Z, Khakzad T, et al. Microbial spectrum, patient-specific factors, and diagnostics in implant-related postoperative spondylodiscitis. *Bone Jt Open.* 2023;4(11):832-838. doi: 10.1302/2633-1462.411.BJO-2023-0087.R1.
- Любимова Л.В., Пчелова Н.Н., Николаев Н.С. и др. Микробиологический профиль пациентов с ортопедической имплантат-ассоциированной инфекцией в постковидном периоде. *Acta biomedica scientifica.* 2024;9(3):203-212. doi: 10.29413/ABS.2024-9.3.20.
- Gouliouris T, Aliyu SH, Brown NM. Spondylodiscitis: update on diagnosis and management. *J Antimicrob Chemother.* 2010;65 Suppl 3:iii11-24. doi: 10.1093/jac/dkq303.
- Gillard J, Boutoille D, Varin S, et al. Suspected disk space infection with negative microbiological tests-report of eight cases and comparison with documented pyogenic discitis. *Joint Bone Spine.* 2005;72(2):156-162. doi: 10.1016/j.jbspin.2004.01.009.
- Hopkinson N, Stevenson J, Benjamin S. A case ascertainment study of septic discitis: clinical, microbiological and radiological features. *QJM.* 2001;94(9):465-370. doi: 10.1093/qjmed/94.9.465.
- Hopkinson N, Patel K. Clinical features of septic discitis in the UK: a retrospective case ascertainment study and review of management recommendations. *Rheumatol Int.* 2016;36(9):1319-1326. doi: 10.1007/s00296-016-3532-1.
- Bhagat S, Mathieson C, Jandhyala R, Johnston R. Spondylodiscitis (disc space infection) associated with negative microbiological tests: comparison of outcome of suspected disc space infections to documented non-tuberculous pyogenic discitis. *Br J Neurosurg.* 2007;21(5):473-477. doi: 10.1080/02688690701546155.

Статья поступила 23.10.2024; одобрена после рецензирования 27.11.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 27.11.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Людмила Валентиновна Любимова — врач — клинический фармаколог, borisova-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>;

Евгений Александрович Любимов — врач — анестезиолог-реаниматолог, e_lyubimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>;

Светлана Ивановна Павлова — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой, flavonoid@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9976-7866>.

Information about the authors:

Ludmila V. Lyubimova — clinical pharmacologist, borisova-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>;

Evgeny A. Lyubimov — anesthesiologist-resuscitator, e_lyubimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>;

Svetlana I. Pavlova — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, flavonoid@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9976-7866>.

Научная статья

УДК 616.757.7-007.681-089.168:616.15

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-210-217>



Способ прогнозирования исхода оперативного лечения пациентов с контрактурой Дюпюитрена на основе показателей лейкоформулы

Н.А. Щудло✉, Л.И. Сбродова, Д.А. Останина

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Анатольевна Щудло, nshchudlo@mail.ru

Аннотация

Введение. Данные мировой литературы свидетельствуют об актуальности прогнозирования исходов лечения пациентов с контрактурой Дюпюитрена (КД), в том числе на основе лабораторных методов. Сравнительные исследования результатов оперативного лечения при КД в зависимости от дооперационных показателей периферической крови в доступной литературе отсутствуют.

Цель работы — выявить возможные отличия предоперационных лейкоцитограмм пациентов с КД с различными исходами оперативного лечения через год после операции и оценить их прогностическую значимость.

Материалы и методы. Проведён анализ историй болезни 52 пациентов с КД, прооперированных в клинике хирургии кисти Центра Илизарова в период 2021–2022 гг. Результаты оценены по шкале P.S. Khan, а также путём вычисления индекса редукции контрактуры (ИРКД). К группе 1 ($n = 41$) отнесены пациенты с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами, остальные пациенты с хорошими и отличными результатами вошли в группу 2 ($n = 41$).

Результаты. По значениям ИРКД группы оказались в непересекающихся диапазонах. Процентное содержание эозинофилов и базофилов ($B + E$) в группе 1 было больше, чем в группе 2 ($p < 0,05$). ROC-анализ модели «ИРКД — ($B + E$)» выявил площадь под кривой более 0,7 при $p < 0,01$, специфичность 100 %, чувствительность менее 60 %. У пациентов с ($B + E$) $< 1,2$ % частота отличных и хороших результатов через год после операции составляла 95,23 %, при ($B + E$) $\geq 1,2$ % — 70,00 % ($p < 0,05$).

Обсуждение. Роль эозинофилов и базофилов в развитии фасциального фиброматоза неизвестна, однако установлено, что интерлейкины IL-4 и IL-13, секретируемые тучными клетками, базофилами и эозинофилами, вносят непосредственный вклад в активацию миофибробластов и развитие фиброза.

Заключение. При ($B + E$) $< 1,2$ % прогнозируется благоприятный исход как открытых, так и малоинвазивных оперативных вмешательств; при ($B + E$) $\geq 1,2$ % высока вероятность прогрессирующего послеоперационного фиброизирования, что обосновывает выбор радикальных открытых вмешательств (гиподермофасциэктомии или дермофасциэктомии) и применение антифибротической терапии в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: контрактура Дюпюитрена, базофилы, эозинофилы, дооперационное прогнозирование

Для цитирования: Щудло Н.А., Сбродова Л.И., Останина Д.А. Способ прогнозирования исхода оперативного лечения пациентов с контрактурой Дюпюитрена на основе показателей лейкоформулы. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):210-217. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-210-217.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-210-217>

Method of predicting the outcome of surgical treatment in Dupuytren's contracture based on leukocyte formula indices

N.A. Shchudlo✉, L.I. Sbrodova, D.A. Ostanina

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Natalia A. Shchudlo, nshchudlo@mail.ru

Abstract

Introduction World literature indicates the relevance of predicting the outcomes of Dupuytren's contracture (DC) treatment, including those based on laboratory methods. There are no comparative studies of the results of surgical DC treatment based on preoperative peripheral blood counts in the available literature.

The **purpose** of the work was to identify possible differences in preoperative leukocyte counts in DC with different outcomes of surgical treatment one year after surgery and to evaluate their prognostic significance.

Materials and methods The analysis of medical records of 52 DC patients operated on in the Hand Surgery Clinic of the Ilizarov Center in 2021–2022 was conducted. The results were assessed using the Khan scale, as well as by calculating the contracture reduction index (CRI). The subgroup included 111 patients with fair and poor results, the remaining 41 were included in subgroup 2 with good and excellent results.

Results According to the CRI values, the subgroups were in non-overlapping ranges. The percentage of eosinophils and basophils (B + E) in subgroup 1 was higher than in subgroup 2 ($p < 0.05$). ROC analysis of the "CRI – (B + E)" model revealed an area under the curve of more than 0.7 at $p < 0.01$, specificity of 100 %, sensitivity of less than 60 %. In patients with (B + E) < 1.2 %, the rate of excellent and good results one year after surgery was 95.23 %, with (B + E) ≥ 1.2 % 70.00 % ($p < 0.05$).

Discussion The role of eosinophils and basophils in the development of fascial fibromatosis is unknown, but it has been established that interleukins IL-4 and IL-13 secreted by mast cells, basophils and eosinophils directly contribute to the activation of myofibroblasts and the development of fibrosis.

Conclusion In (B + E) < 1.2 %, a favorable outcome is predicted for both open and minimally invasive surgeries; at (B + E) ≥ 1.2 % there is a high probability of progressive postoperative fibrosis, which justifies the choice of radical open interventions (hypodermectomy or dermofasciectomy) and the use of antifibrotic therapy in the postoperative period.

Keywords: Dupuytren's contracture, basophils, eosinophils, preoperative prognosis

For citation: Shchudlo NA, Sbrodova LI, Ostanina DA. Method of predicting the outcome of surgical treatment in Dupuytren's contracture based on leukocyte formula indices. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):210-217. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-210-217.

ВВЕДЕНИЕ

Контрактура Дюпюитрена (КД) является следствием ладонного фасциального фиброматоза (ЛФФ) — фибропролиферативного заболевания, поражающего преимущественно фасциальный каркас ладоней и пальцев локтевой стороны кисти. Основные проявления — узлы и волокнистые хорды — утолщают и укорачивают ладонно-пальцевую фасцию и покровные ткани, что приводит к формированию стойких сгибательных контрактур суставов пальцев. Среди пациентов преобладают мужчины в возрасте от 40 до 80 лет; около 3 % из них становятся инвалидами [1].

Этиология и патогенез ЛФФ остаются предметом дискуссий, общеизвестные факторы риска включают генетическую предрасположенность, ручной труд, алкоголь и курение, гипертензию и диабет [2].

Наиболее часто применяемые способы лечения КД включают инъекции коллагеназы, игольную фасциотомию и различные варианты открытой фасциэктомии [3], цель которых — разрушение или удаление патологических образований и коррекция деформации кисти. Рецидивы контрактур (повышение тотального дефицита разгибания более чем на 30°) отмечены у 85 % пациентов после игольной фасциотомии и у 20 % после открытой частичной фасциэктомии при сроке наблюдения пять лет [4].

Некоторые авторы относят рецидивы контрактур к поздним послеоперационным осложнениям наряду с распространением и прогрессированием фасциального фиброматоза [5]. Для оптимизации тактики лечения пациентов с КД предложена технология прогнозирования поздних послеоперационных осложнений, основанная на анализе 39 факторов, определяющих биологический статус и стиль жизни пациента, а также технико-хирургические компоненты операций и реабилитационного лечения [6]. Для развития прогностического подхода проведён ряд исследований потенциальных лабораторных маркёров активности ЛФФ: антител к компонентам соединительной ткани [7, 8], матриксных металлопротеиназ [9], циркулирующих фиброцитов [10].

При исследовании 19 пациентов с КД установлено, что уровень генной экспрессии матриксных протеиназ в тканевых образцах может быть использован для прогнозирования результата лечения через год после операции [11]. Однако циркулирующие матриксные металлопротеиназы не коррелировали с послеоперационным дефицитом разгибания [12], поэтому задача дооперационного прогнозирования результата лечения КД на основе лабораторных методов не решена вплоть до настоящего времени. При этом данные сравнительных исследований исходов оперативного лечения в зависимости от дооперационных показателей периферической крови в доступной литературе отсутствуют.

Цель работы — выявить возможные отличия предоперационных лейкоцитограмм пациентов с КД с различными исходами оперативного лечения через год после операции и оценить их прогностическую значимость.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён анализ предоперационных лейкоцитограмм и результатов лечения 52 пациентов с КД, прооперированных в клинике хирургии кисти Центра Илизарова в период 2021–2022 гг.

Анализ дооперационных анализов периферической крови проведён с учётом Номенклатуры МЗРФ (Приказ № 804н): А12.05.121 «Дифференцированный подсчет лейкоцитов (лейкоцитарная формула)», которой соответствует определение концентрации лейкоцитов в периферической крови и дифференцировка основных пяти видов лейкоцитов (нейтрофилов, эозинофилов, базофилов, лимфоцитов, моноцитов) гематологическим анализатором, а также вычисление их процентного соотношения. Для возможного выявления незрелых лейкоцитов, атипичных и бластных клеток автоматический анализ дополняли «ручной» микроскопией окрашенных мазков периферической крови.

Всем пациентам по показаниям (контрактура пястно-фалангового сустава 30° и более и контрактура проксимального межфалангового сустава независимо от величины угла [13]) выполнена открытая частичная фасциэктомия с невролизом и артериолизом сосудисто-нервных пучков. При наличии контрактуры проксимального межфалангового сустава более 30° фасциэктомию дополняли артролизом [14]. При стойких контрактурах II степени и III–IV степеней оперированные лучи фиксировали в аппарате Илизарова в течение периода заживления операционной раны. Если во время операции одномоментно не было достигнуто полного разгибания пальцев из-за контракции покровных тканей и сосудисто-нервных пучков, применяли дозированное разгибание в аппарате Илизарова, которое начинали после заживления операционной раны. При достижении полного разгибания суставов аппарат фиксировали не менее чем на 14 сут., после чего применяли динамическую фиксацию: пациенты в течение дня разрабатывали пассивные движения в суставах, на ночь аппарат фиксировали. Сроки стационарного лечения варьировали от 9 до 14 сут. без применения аппарата и при применении фиксационного варианта мини-аппарата Илизарова, от 17 до 42 сут. — при дистракционном варианте. После выписки пациентам рекомендовали реабилитационное лечение.

Результаты лечения оценивали через 6 и 12 мес. после операции по шкале P.S. Khan et al. [15], а также путём вычисления индекса редукции контрактуры (ИРКД), выраженного в процентном соотношении разницы исходной суммы углов контрактуры и суммы углов после оперативного лечения к исходной сумме углов [16].

Клинико-демографические характеристики обследованной группы пациентов представлены в табл. 1. На основе анализа результатов лечения по шкале P.S. Khan et al. [15] пациенты с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами отнесены к группе 1 ($n = 11$), пациенты с хорошими и отличными результатами вошли в группу 2 ($n = 41$).

Таблица 1

Клинико-демографические характеристики обследованных пациентов

Параметры	Обследованные пациенты в целом ($n = 52$)
Возраст — Ме (Q1; Q2)	60 (58; 60)
Соотношение мужчин и женщин	5:1
Давность заболевания с момента первых симптомов — Ме (Q1; Q2)	8 (4; 14)
Контрактуры III–IV степени, %	70,59
Заболевшие в возрасте менее 50 лет, %	49,02
Поражение обеих кистей, %	76,9
Операции по поводу рецидива, %	23,53
Частота множественных контрактур (трёх и более пальцев), %	25,49
Контрактуры V луча, %	74,51

Исследования проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками.

Для статистической обработки количественных данных использовали электронные таблицы Microsoft Excel 2010 и компьютерную программу Attestat (версия 9.3.1). Для проверки гипотезы о нормальности распределения применяли критерий Шапиро – Уилка. В некоторых выборках распределение отличалось от нормального, поэтому данные таблиц представлены в виде медиан и квартилей — Ме (Q1; Q3). Гипотезы о различиях проверяли по непараметрическому критерию Манна – Уитни, применимому для сравнений разновеликих выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По значениям индекса редукции контрактуры группы оказались в непересекающихся диапазонах: пациенты с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами имели индекс редукции контрактуры 62 % и менее, а у пациентов с хорошими и отличными результатами показатель варьировал от 64 до 100 %.

Показатели предоперационных лейкоцитограмм (табл. 2) не отличались от нормальных значений, однако выявлена статистически значимая разница между группами: процентное содержание эозинофилов и базофилов в группе 1 было больше, чем в группе 2 ($p < 0,05$).

Таблица 2

Показатели предоперационных лейкоцитограмм (Ме (Q1; Q3)) пациентов в зависимости от величины индекса редукции (ИР) контрактуры Дюпюитрена через год после операции

Группа /параметр	Обследованные пациенты в целом	Группа 1 (ИР ≤ 62 %)	Группа 2 (ИР 64 — 100 %)	P
	$n = 52$	$n = 11$	$n = 41$	
Лейкоциты ($\times 10^9/\text{л}$)	6,65 (5,31; 8,16)	5,91 (5,05; 8,67)	6,75 (5,45; 8,05)	0,66
Нейтрофилы (%)	56,50 (51,8; 62,4)	55,65 (55,45; 62,85)	56,50 (52,00; 64,40)	0,73
Лимфоциты (%)	35,00 (29,00; 39,95)	33,10 (29,30; 37,65)	35,00 (29,00; 40,00)	0,63
Моноциты (%)	7,15 (6,00; 8,20)	7,20 (6,50; 8,20)	7,15 (5,80; 8,20)	0,74
Эозинофилы (%)	1,55 (0,70; 2,00)	2,05 (1,50; 3,05)	1,00 (0,00; 2,00)	0,02*
Базофилы (%)	0,00 (0,00; 0,40)	0,35 (0,10; 0,50)	0,00 (0,00; 0,25)	0,01*

Примечание: * — статистически значимые отличия по критерию Манна – Уитни ($p < 0,05$)

Аналогичная межгрупповая разница отмечена по абсолютному содержанию эозинофилов и базофилов. Незрелые формы лейкоцитов не превышали референсные уровни, юные, плазматические и бластные клетки отсутствовали у большинства пациентов, в единичных случаях не превышали референсные уровни.

ROC-анализ модели «ИРКД — (В + Е)» выявил её хорошее качество (площадь под кривой более 0,7 при $p < 0,01$), высокую специфичность (100 %), но только удовлетворительную чувствительность (менее 60 %).

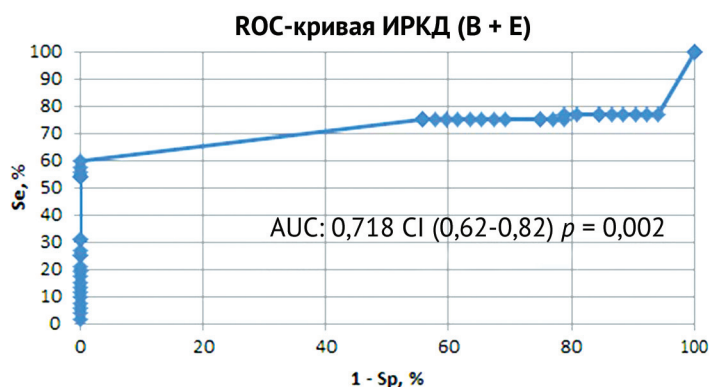


Рис. 1 Диагностическая значимость предоперационного суммарного относительного содержания базофилов и эозинофилов (В+Е) в оценке ИРКД через год после операции. Порог 1,2 %. Чувствительность 59,62 %, специфичность 100,0 %

На следующем этапе исследования пациенты были разделены на группы в зависимости от значения (В + Е). Со значением менее порогового был 21 пациент, со значением, равным или большим порогового, — 31 пациент. Как свидетельствуют данные табл. 3, эти группы не имели статистически значимых отличий клинико-демографических характеристик.

Однако у пациентов с $(В + Е) < 1,2$ % частота отличных и хороших результатов через год после операции составляла 95,23 %, а при $(В + Е) \geq 1,2$ % — только 70 % ($p < 0,05$).

Таблица 3

Клинико-демографические характеристики пациентов
в зависимости от значения суммы базофилов и эозинофилов периферической крови до операции

Параметры	Группа		p
	(В + Е) < 1,2 (n = 21)	(В + Е) ≥ 1,2 (n = 31)	
Возраст — Ме (Q1; Q2) (min–max)	61,5 (58; 64) (51–71)	59 (54,5; 65) (23–75)	0,30
Давность ЛФФ	6,5 (5; 15) (1,5–20)	10 (4; 14,5) (2–40)	0,63
Заболевшие в возрасте менее 50 лет, %	40,90	53,57	0,52
Степень контрактуры — Ме (Q1; Q2) (min–max)	3 (2; 3) (1–4)	3 (2,5; 3) (1–4)	0,77
Процент пациентов с двусторонним ЛФФ	81,82	78,57	0,79
Количество пальцев с нарушенной функцией — Ме (Q1; Q2) (min–max)	1 (1; 2) (1–5)	2 (1; 3) (1–4)	0,51
Доля пациентов, оперированных второй раз и более, %	27,27	46,43	0,18

ОБСУЖДЕНИЕ

В выполненной работе впервые проведен сравнительный анализ предоперационных лейкоцитограмм у пациентов с КД с различными исходами оперативного лечения через год после операции. Исследованный пул пациентов характеризовался типичной медианой возраста и гендерным соотношением, типичной давностью заболевания, высоким процентом пациентов с контрактурами тяжёлой степени (более 70 %), большим количеством пациентов с признаками диатеза Дюпюитрена (половина из которых заболели в возрасте менее 50 лет и 77 % имели поражение обеих кистей). Более 20 % пациентов оперированы по поводу рецидивов, более 25 % имели контрактуры трёх и более пальцев и почти 75 % — контрактуры V луча.

Дооперационный анализ периферической крови не выявил отклонений в абсолютном количестве лейкоцитов. Как известно, в таких случаях анализ лейкоцитарной формулы по относительному содержанию основных форм лейкоцитов не приводит к ошибочным результатам.

Результаты оперативного лечения оценены по качественной шкале шкалы P.S. Khan et al. [15] и количественному показателю — индексу редукции контрактуры. Согласно качественной шкале, к отличным и хорошим результатам (n = 41) отнесено полное восстановление движений или незначительные ограничения сгибательно-разгибательной функции, не влияющие на повседневную активность. ИРКД у таких пациентов варьировал от 64 до 100 %. Ни у одного из этих пациентов не было соответствия установленному экспертным соглашением определению рецидива как увеличения контрактуры любого пролеченного сустава хотя бы на 20° в течение года после операции по сравнению с шестью неделями после операции [17]. У пациентов с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами лечения (n = 11) индекс редукции контрактуры имел отрицательную динамику в течение года после операции, подтверждая рецидив.

По мнению некоторых авторов, рецидивы КД в первый год после операции развиваются в случаях, когда «операции были выполнены с нарушениями установок хирургии кисти» [18]. Однако в нашем исследовании выявлены статистически достоверные отличия предоперационных лейкоцитограмм в группах пациентов с разными исходами лечения. По-видимому, на результат лечения влияет также предрасположенность пациентов к разным паттернам раневого заживления.

Как известно, эозинофилы и базофилы, наряду с тучными клетками, лимфоцитами-хелперами и макрофагами, участвуют в воспалительных реакциях второго типа, характерного не только для аллергий и паразитарных инвазий, но и многих других заболеваний. Этот тип иммунных реакций регулирует также репарацию тканей, в том числе восстановление эпителиальных барьеров после повреждений [19, 20]

Эозинофилы, составляя от 1 до 5 % лейкоцитов периферической крови, в норме присутствуют во многих тканях, осуществляя гомеостатические функции [21], в том числе непосредственно активируя тучные клетки [22]. Базофил — наиболее редкая клетка крови, которая в норме составляет 0,5 % лейкоцитов [23]. В отличие от тканевых базофилов (тучных клеток), — резидентов соединительной ткани, короткоживущие базофилы периферической крови обычно в тканях не присутствуют, их тканевой трафик сопряжён с конкретными функциями [24].

Ранее установлено, что в фасциях пациентов с КД содержится в 12 раз больше тучных клеток, чем в нормальной фасции [25], причём при контрактурах III–IV степени по сравнению с контрактурами I–II степени увеличивается не только их численная плотность, но и морфофункциональные количественные параметры, — площадь и индекс дегрануляции [26]. Роль эозинофилов и базофилов в развитии фасциального фиброматоза неизвестна, однако установлено, что интерлейкины IL-4 и IL-13, секретируемые тучными клетками, базофилами и эозинофилами [27], вносят непосредственный вклад в активацию миофибробластов и развитие фиброза [28].

Как показало выполненное нами исследование, у пациентов с низким и высоким суммарным относительным содержанием базофилов и эозинофилов периферической крови клинико-демографические показатели не различались. Однако доля удовлетворительных и неудовлетворительных результатов лечения была достоверно выше в группе с $(B + E) \geq 1,2$ %. Следовательно, суммарное относительное содержание базофилов и эозинофилов периферической крови $\geq 1,2$ % в предоперационном периоде является независимым предиктором рецидива фибропролиферативного процесса у пациентов, прооперированных по поводу КД.

Результаты ROC-анализа свидетельствуют о средней прогностической значимости данного показателя из-за специфичности менее 60 %, однако в комплексе с другим лейкоцитарным индексом (лимфоцитарно-моноцитарным соотношением), который позволяет предсказать прогрессирование КД и имеет высокую прогностическую значимость [29], он может быть использован в предоперационном прогнозировании исходов лечения пациентов с КД [30].

Приводим конкретные клинические примеры использования способа прогнозирования.

Пример 1. Пациент Х., 71 г., поступил на лечение в Центр Илизарова в ноябре 2021 г. с диагнозом: двусторонний ладонный фасциальный фиброматоз, приобретённая деформация II–V пальцев левой кисти, КД IV степени (суммарный угол деформации 190°). Сопутствующие заболевания: гипертоническая болезнь 3 степени, хроническая сердечная недостаточность, фибрилляция предсердий вне пароксизма, болезнь Бехтерева, поздняя стадия.

Из анамнеза заболевания: болен 8 лет; сначала развивалось ограничение движений и стойкие контрактуры левой кисти, затем правой; на протяжении 5 лет за лечением не обращался. 07.03.18 оперирован в Центре Илизарова по поводу приобретённой деформации V пальца правой кисти, КД III степени. Результатом лечения остался доволен. По данным архивной истории болезни, лимфоцитарно-моноцитарный индекс — 5,8 (больше порогового значения, что не указывает на прогрессирующий характер заболевания на тот момент), суммарное содержание эозинофилов и базофилов — 1 %, что свидетельствует о вероятности получения хорошего и отличного результата операции 95,23 %. На момент обращения пациента по поводу деформации левой кисти восстановление сгибательно-разгибательных движений оперированной V пальца правой кисти было практически полным.

Суммарный угол контрактуры V луча левой кисти до операции составлял 190° . По данным предоперационного анализа крови (2021 г.) лимфоцитарно-моноцитарный индекс — 5,75 (больше порогового значения, что также не указывает на прогрессирующий характер заболевания на данный момент). Суммарное содержание эозинофилов и базофилов — 1,0 %, что свидетельствует о вероятности получения хорошего и отличного результата операции 95,23 %.

18.10.21 проведена операция: иссечение фиброзно изменённого ладонного апоневроза в проекции II–V лучей левой кисти, артролиз проксимального межфалангового сустава V пальца, кожная пластика ладонной поверхности V луча левой кисти местными тканями, остеосинтез V луча миниаппаратом Илизарова.

По данным контрольных осмотров пациента через 6 и 12 мес. после операции, на левой кисти суммарный угол деформации уменьшился со 190° до 60° и 45° соответственно, а индекс редукции контрактуры составил 0,68 и 0,76. Последнее значение соответствовало отличному результату оперативной коррекции и совпало с основанным на показателях периферической крови положительным предоперационным прогнозом, несмотря на крайнюю тяжесть заболевания (множественная контрактура II–V пальцев IV степени).

Пример 2. Пациент У., 36 лет, поступил на лечение в Центр Илизарова с диагнозом: ладонный фасциальный фиброматоз, приобретённая деформация правой кисти, комбинированная КД и V пальца левой кисти II–III степени (суммарный угол деформации 90°).

По данным предоперационного анализа крови лимфоцитарно-моноцитарный индекс — 5,39 (больше порогового значения, что не указывает на прогрессирующий характер заболевания на данный момент). Однако суммарное содержание эозинофилов и базофилов 2,8 % (больше порогового значения 1,2 %) указывает, что вероятность получения хорошего и отличного результата операции составляет не более 70,00 %.

26.01.22 проведена операция: иссечение фиброзно изменённого ладонного апоневроза в проекции V луча правой кисти, артролиз проксимального межфалангового сустава V пальца, кожная пластика ладонной поверхности V луча левой кисти местными тканями, остеосинтез IV луча миниаппаратом Илизарова.

Контрольный осмотр пациента через 6 мес. выявил суммарный угол контрактуры 30°, а через 12 мес. — 90°. Индекс редукции контрактуры через год после операции составил 0°, что соответствовало неудовлетворительному результату.

В данном клиническом примере подтвердился прогноз о снижении вероятности хорошего и отличного результатов операции в связи с высоким суммарным содержанием эозинофилов и базофилов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена разработка общедоступных прогностических критериев прогрессирования и рецидивирования КД. В качестве прогностических критериев использованы лимфоцитарно-моноцитарный коэффициент и суммарное относительное содержание базофилов и эозинофилов. При значении лимфоцитарно-моноцитарного коэффициента более 3,1 выбор тактики оперативного лечения (малоинвазивная фасциотомия или варианты открытой фасциэктомии) осуществляют в зависимости от локального статуса, возраста, коморбидности и предпочтений пациента. При значении лимфоцитарно-моноцитарного индекса менее 3,1 делают прогноз о высокой вероятности прогрессирования фасциального фиброматоза, что является дополнительным показанием для радикализации оперативного метода лечения, — выполнения открытой гиподермофасциэктомии и дермофасциэктомии. При значении суммарного относительного содержания эозинофилов и базофилов менее 1,2 % делают прогноз о благоприятном исходе малоинвазивных и открытых оперативных вмешательств. При значении суммарного относительного содержания эозинофилов и базофилов 1,2 % и более высока вероятность прогрессирующего послеоперационного фиброзирования и развития рубцовой контрактуры, поэтому в ближайшем послеоперационном периоде необходима усиленная терапия отёчно-воспалительного синдрома, а в отдалённом периоде — антифибротическая терапия [31, 32].

Применение разработанных критериев не требует материальных затрат, но они обладают прогностической ценностью и важны для уточнения тактики лечения, поэтому целесообразно их применение в широкой клинической практике.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Финансирование. Научная работа финансирована в рамках государственного задания 2021–2023 гг.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вишневский В.А. Контрактура Дюпюитрена кисти и её медико-социальная экспертиза. *Запорожский медицинский журнал*. 2014;(1):9-12.
2. Rydberg M, Zimmerman M, Löfgren JP, et al. Metabolic factors and the risk of Dupuytren's disease: data from 30,000 individuals followed for over 20 years. *Sci Rep*. 2021;11(1):14669. doi: 10.1038/s41598-021-94025-7.
3. Dutta A, Jayasinghe G, Deore S, et al. Dupuytren's Contracture - Current Concepts. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(4):590-596. doi: 10.1016/j.jcot.2020.03.026.
4. van Rijssen AL, Ter Linden H, Werker PMN. Five-year results of a randomized clinical trial on treatment in Dupuytren's disease: percutaneous needle fasciotomy versus limited fasciectomy. *Plast Reconstr Surg*. 2012;129(2):469-477. doi: 10.1097/PRS.0b013e31823aea95.
5. Микусев Г.И., Магомедов Р.О., Микусев И.Е., Байкеев Р.Ф. Болезнь Дюпюитрена: эпидемиология, особенности клиники и тактика хирургического лечения. *Общественное здоровье и здравоохранение*. 2013;(3):46-50.
6. Mikusev G.I., Baikееv R.F., Magomedov R.O., et al. Prognosis of long-term postoperative complications after surgical treatment of Dupuytren's disease (contracture). *Research J. Pharm. and Tech*. 2019;12(3):1055-1065. doi: 10.5958/0974-360X.2019.00174.4.

7. Neumüller J, Menzel J, Millesi H. Prevalence of HLA-DR3 and autoantibodies to connective tissue components in Dupuytren's contracture. *Clin Immunol Immunopathol.* 1994;71(2):142-148. doi: 10.1006/clin.1994.1064.
8. Pereira RS, Black CM, Turner SM, Spencer JD. Antibodies to collagen types I-VI in Dupuytren's contracture. *J Hand Surg Br.* 1986;11(1):58-60. doi: 10.1016/0266-7681(86)90014-8.
9. Wilkinson JM, Davidson RK, Swingle TE, et al. MMP-14 and MMP-2 are key metalloproteases in Dupuytren's disease fibroblast-mediated contraction. *Biochim Biophys Acta.* 2012;1822(6):897-905. doi: 10.1016/j.bbdis.2012.02.001.
10. Iqbal SA, Hayton MJ, Watson JS, et al. First identification of resident and circulating fibrocytes in Dupuytren's disease shown to be inhibited by serum amyloid P and Xiapex. *PLoS One.* 2014;9(6):e99967. doi: 10.1371/journal.pone.0099967.
11. Johnston P, Larson D, Clark IM, Chojnowski AJ. Metalloproteinase gene expression correlates with clinical outcome in Dupuytren's disease. *J Hand Surg Am.* 2008;33(7):1160-1167. doi: 10.1016/j.jhsa.2008.04.002.
12. Jupp O, Pullinger M, Marjoram T, et al. Biomarkers of Postsurgical Outcome in Dupuytren Disease. In: Werker P, Dias J, Eaton C, et al. (eds). *Dupuytren Disease and Related Diseases - The Cutting Edge.* Springer International Publ.; 2017:55-61. doi: 10.1007/978-3-319-32199-8_7.
13. Hurst L. Dupuytren's fasciectomy: zig-zag-plasty technique. In: Blair WF (ed.). *Techniques in Hand Surgery.* Baltimore: Williams and Wilkins; 1996:518-529.
14. McFarlane RM. Some observations on the epidemiology of Dupuytren's disease. In: Hueston JT, Tubiana R. (eds). *Dupuytren's Disease.* London: Churchill Livingstone; 1985:122-128.
15. Khan PS, Iqbal S, Zaroo I, Hayat H. Surgical Treatment of Dupuytren's Contracture; Results and Complications of Surgery: Our Experience. *J Hand Microsurg.* 2010;2(2):62-66. doi: 10.1007/s12593-010-0019-2.
16. Stepic N, Koncar J, Rajovic M. The influence of Dupuytren's disease fingers contracture degree on surgical treatment outcome. *Vojnosanit Pregl.* 2017;74(1):19-23. doi: 10.2298/VSP1503311035.
17. Radhamony NG, Nair RR, Sreenivasan S, et al. Residual deformity versus recurrence following Dupuytren's palmar fasciectomy-a long term follow-up of 142 cases. *Ann Med Surg (Lond).* 2022;73:103224. doi: 10.1016/j.amsu.2021.103224.
18. Микусев И.Е. Причины и профилактика повторных операций при контрактуре Дюпюитрена. *Казанский медицинский журнал.* 1995;76(5):384-387. doi: 10.17816/kazmj87154.
19. Miyake K, Ito J, Karasuyama H. Role of Basophils in a Broad Spectrum of Disorders. *Front Immunol.* 2022;13:902494. doi: 10.3389/fimmu.2022.902494.
20. Valent P, Degenfeld-Schonburg L, Sadovnik I, et al. Eosinophils and eosinophil-associated disorders: immunological, clinical, and molecular complexity. *Semin Immunopathol.* 2021;43(3):423-438. doi: 10.1007/s00281-021-00863-y.
21. Lombardi C, Berti A, Cottini M. The emerging roles of eosinophils: Implications for the targeted treatment of eosinophilic-associated inflammatory conditions. *Curr Res Immunol.* 2022;3:42-53. doi: 10.1016/j.crimmu.2022.03.002.
22. Wen T, Rothenberg ME. The regulatory function of eosinophils. *Microbiol Spectrum.* 2016;4(5):MCHD-0020-2015. doi: 10.1128/microbiolspec.MCHD-0020-2015.
23. Luca DC. *Basophils.* Pathology. Available from: <https://www.pathologyoutlines.com/topic/bonemarrowbasophils.html>. Accessed Oct 24, 2024.
24. Shibuya R, Kim BS. Skin-homing basophils and beyond. *Front Immunol.* 2022;13:1059098. doi: 10.3389/fimmu.2022.1059098.
25. Schubert TE, Weidler C, Borisch N, et al. Dupuytren's contracture is associated with sprouting of substance P positive nerve fibres and infiltration by mast cells. *Ann Rheum Dis.* 2006;65(3):414-415. doi: 10.1136/ard.2005.044016.
26. Шудло Н.А., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Останина Д.А. Роль тучных клеток в прогрессировании контрактуры Дюпюитрена. *Гений ортопедии.* 2023;29(3):265-269. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-3-265-269. EDN: VLYUQJ.
27. Gessner A, Mohrs K, Mohrs M. Mast cells, basophils, and eosinophils acquire constitutive IL-4 and IL-13 transcripts during lineage differentiation that are sufficient for rapid cytokine production. *J Immunol.* 2005;174(2):1063-72. doi: 10.4049/jimmunol.174.2.1063.
28. Gieseck RL 3rd, Wilson MS, Wynn TA. Type 2 immunity in tissue repair and fibrosis. *Nat Rev Immunol.* 2018;18(1):62-76. doi: 10.1038/nri.2017.90.
29. Шудло Н.А., Сбродова Л.И., Останина Д.А. Диагностическая значимость лимфоцитарно-моноцитарного индекса при контрактуре Дюпюитрена. *Гений ортопедии.* 2023;29(4):382-387. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-382-387. EDN: IUGIXQ.
30. Шудло Н.А., Сбродова Л.И., Останина Д.А. Способ прогнозирования течения контрактуры Дюпюитрена для выбора тактики лечения. Патент РФ на изобретение № 2821473. 24.06.2024. Бюл. № 18. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=2563&DocNumber=2821473&TypeFile=html. Ссылка активна на 24.10.2024.
31. Knobloch K, Redeker J, Vogt PM. Antifibrotic medication using a combination of N-acetyl-L-cystein (NAC) and ACE inhibitors can prevent the recurrence of Dupuytren's disease. *Med Hypotheses.* 2009;73(5):659-661. doi: 10.1016/j.mehy.2009.08.011.
32. Zhou C, Liu F, Gallo PH, et al. Anti-fibrotic action of pirfenidone in Dupuytren's disease-derived fibroblasts. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17(1):469. doi: 10.1186/s12891-016-1326-y.

Статья поступила 09.10.2024; одобрена после рецензирования 23.10.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 09.10.2024; approved after reviewing 23.10.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Наталья Анатольевна Шудло — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник,
nshchudlo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>;

Людмила Ивановна Сбродова — кандидат биологических наук, научный сотрудник;

Дарья Андреевна Останина — врач — травматолог-ортопед, <https://orcid.org/0000-0002-4399-2973>.

Information about the authors:

Natalya A. Shchudlo — Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the Experimental Laboratory,
nshchudlo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9914-8563>;

Lyudmila I. Sbrodova — Candidate of Biological Sciences, Researcher;

Daria A. Ostanina — orthopaedic surgeon, <https://orcid.org/0000-0002-4399-2973>.

Научная статья

УДК [616.15-07: 616.15]:616.71-018.46-002

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-218-225>



Зависимость уровня сывороточного прокальцитонина от микрофлоры в очаге инфекции при хроническом остеомиелите

И.В. Шипицына✉, Е.В. Осипова, А.Л. Шастов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Шипицына, ivschimik@mail.ru

Аннотация

Введение. Исследование уровня прокальцитонина (ПКТ) одновременно с посевами крови на стерильность является важным дополнением в диагностическом алгоритме хронического остеомиелита.

Цель работы — выявить связь сывороточного ПКТ с микрофлорой, выделенной из крови, ран и свищей у пациентов с хроническим остеомиелитом.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ микрофлоры ран, посевов крови на стерильность и результатов исследования на ПКТ.

Результаты. В микробном пейзаже ран, свищей и крови у пациентов с ПКТ менее 0,5 нг/мл и от 0,5 до 2,0 нг/мл преобладали грамположительные микроорганизмы. У пациентов с ПКТ от 2,0–10,0 и выше 10 нг/мл выделялись как грамположительные, так и грамотрицательные бактерии. Среди положительных культур крови на первом месте по частоте выделения штаммы *S. epidermidis*, далее следовали isolates *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. agalactiae*, *S. hominis*. ПКТ в крови у семи человек был выше 10 нг/мл, у 6 — от 2,0 до 10,0 нг/мл. У двух человек отмечен низкий уровень ПКТ, при этом в крови обнаружен инфекционный возбудитель.

Обсуждение. У пациентов с ПКТ менее 0,5 нг/мл в микрофлоре ран и свищей чаще всего встречаются грамположительные микроорганизмы. Доля пациентов со значениями ПКТ ≥ 2 нг/мл и грамотрицательными бактериями в очаге, была выше в сравнении с пациентами с грамположительной микрофлорой. Тем не менее, обнаруженная высокая корреляционная взаимосвязь между микробиоценозом ран пациентов и значениями прокальцитонина подтверждает ведущую роль грамположительных бактерий в развитии остеомиелита.

Заключение. При положительных посевах крови уровень сывороточного ПКТ в большинстве случаев был выше 2,0 нг/мл. Наличие грамотрицательных бактерий в крови, также как и в ране, сопровождался значениями ПКТ выше 10 нг/мл.

Ключевые слова: хронический остеомиелит, прокальцитонин, микрофлора, резистентность

Для цитирования: Шипицына И.В., Осипова Е.В., Шастов А.Л. Зависимость уровня сывороточного прокальцитонина от микрофлоры в очаге инфекции при хроническом остеомиелите. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):218-225. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-218-225.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-218-225>

Dependence of serum procalcitonin level on microflora in the infection site in chronic osteomyelitis

I.V. Shipitsyna✉, E.V. Osipova, A.L. Shastov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Irina V. Shipitsyna, ivschimik@mail.ru

Abstract

Introduction The study of procalcitonin (PCT) levels simultaneously with blood cultures for sterility is an important addition to the diagnostic algorithm for chronic osteomyelitis detection.

Purpose of work is to study the relationship of serum PCT with the microflora isolated from blood, wounds and fistulas in patients with chronic osteomyelitis.

Materials and methods A retrospective analysis of wound microflora, blood cultures for sterility, and procalcitonin test results was performed.

Results Gram-positive microorganisms prevailed in the microbial tests from wounds, fistulas and blood in patients with PCT less than 0.5 ng/ml and from 0.5 to 2.0 ng/ml. In patients with PCT levels from 2.0–10.0 and above 10 ng/ml, both gram-positive and gram-negative bacteria were isolated. Among positive blood cultures, *S. epidermidis* strains were the most frequently isolated, followed by *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. agalactae*, and *S. hominis* isolates. PCT in the blood of seven patients was higher than 10 ng/ml; and six patients had it from 2.0–10.0 ng/ml. Two subjects had a low PCT level, but an infectious agent was detected in their blood.

Discussion In patients with PCT lower than 0.5 ng/ml, gram-positive microorganisms are most often found in the microflora of wounds and fistulas. The proportion of patients with PCT values ≥ 2 ng/ml and gram-negative bacteria in the focus was higher compared to patients with gram-positive microflora. Nevertheless, the detected high correlation relationship between the microbiocenosis of patients' wounds and procalcitonin values confirms the leading role of gram-positive bacteria in the development of osteomyelitis.

Conclusion In positive blood cultures, the serum PCT level was usually higher than 2.0 ng/ml. The presence of gram-negative bacteria in the blood, as well as in the wound, was accompanied by PCT values higher than 10 ng/ml.

Keywords: chronic osteomyelitis, procalcitonin, microflora, resistance

For citation: Shipitsyna IV, Osipova EV, Shastov AL. Dependence of serum procalcitonin level on microflora in the infection site in chronic osteomyelitis. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):218-225. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-218-225.

ВВЕДЕНИЕ

Хронический остеомиелит — сложная и трудно поддающаяся лечению костная бактериальная или грибковая инфекция, характеризующаяся прогрессирующей воспалительной деструкцией, некрозом и пролиферацией в области поражения кости, развивающаяся в результате осложнения раневого процесса при его сообщении с костью, оперативных вмешательств или бактериемии [1–3]. Как правило, остеомиелит имеет экзогенное происхождение, вызванное микробной инвазией, часто с образованием биопленки [4–8]. Лечение больных хроническим остеомиелитом требует длительной и интенсивной антимикробной терапии, вследствие чего возникает риск развития резистентности. Кроме того, остеомиелит опасен осложнениями (сепсис, бактериемия и др.).

В последние годы вновь возрос интерес к изучению роли различных биомаркеров (С-реактивный белок, интерлейкины 6 и 8, лактат, пресепсин, прокальцитонин и другие) в диагностике и оценке риска возникновения воспалительных синдромов [9–11]. Среди них выделяется прокальцитонин (ПКТ), который считается специфическим маркером бактериальной инфекции [12–16]. Известно, что уровни ПКТ в сыворотке крови у здоровых людей меньше 0,1 нг/мл. При тяжелых бактериальных и генерализованной грибковой инфекциях концентрация ПКТ быстро повышается, но остаётся низкой при вирусных инфекциях и неспецифических воспалительных заболеваниях [17].

Изолированный анализ ПКТ недостаточно информативен, поскольку его уровень может быть повышен не только при острых и хронических инфекционных процессах, включая остеомиелит, но и при различных неинфекционных состояниях, таких как аутоиммунные заболевания, тяжелые операции, травмы, ожоги, длительный кардиогенный шок, стресс [12, 13, 18].

Положительный посев культуры крови считается золотым стандартом диагностики бактериемии, тем не менее, отрицательные результаты не всегда исключают её отсутствие [14, 19, 20]. Для микробиологического исследования крови требуется время, что не позволяет использовать его в качестве экспресс-теста [21]. Высокие значения ПКТ при отрицательных результатах посева крови могут указывать на наличие местного воспаления, тогда как его повышенный уровень и положительный результат посева подтверждают системный инфекционный процесс.

Исследованию уровня ПКТ и результатов посевов крови на стерильность у пациентов с хроническим остеомиелитом посвящены единичные работы. По данным литературы, ПКТ играет роль чувствительного и специфического маркера в диагностике инфекций костей и суставов [22]. Положительные результаты посевов крови отмечены у 53 % пациентов с остеомиелитом позвонков, у 19 % с костной инфекцией и 7 % с параимплантной инфекцией [7].

Диагностика остеомиелита требует совокупности клинических признаков и симптомов, инструментальных и лабораторных исследований, в том числе и анализ на микрофлору с определением чувствительности к антибиотикам [23]. Исследование сывороточного ПКТ одновременно с посевами крови на стерильность может дать дополнительную информацию врачам, позволяя им прогнозировать течение и исход заболевания у пациентов с хроническим остеомиелитом.

Цель работы — выявить связь сывороточного ПКТ с микрофлорой, выделенной из крови, ран и свищей у пациентов с хроническим остеомиелитом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены пациенты ($n = 123$) с хроническим остеомиелитом вне зависимости от локализации и механизма его возникновения, проходившие лечение в клинике гнойной ортопедии НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова в период с 2021 по 2023 гг. Средний возраст пациентов составил 55 лет (IQR 43–66), на долю мужчин приходилось 70,3 % (71/101). Отсутствовали значимые различия между группами мужчин и женщин по возрасту ($p = 0,32$).

Проведен ретроспективный анализ микробиологических посевов ($n = 294$), в том числе крови на стерильность. Прокальцитониновый тест выполняли одновременно с забором крови на стерильность и на третьи сутки после операции. В случае неудовлетворительного результата, тест повторяли на 5–9 сут. по назначению врача.

Для быстрого культивирования патогенных микроорганизмов в крови использовали автоматический анализатор серии Юнона® Labstar 100. Микробные культуры идентифицировали до вида на бактериологическом анализаторе BactoScreen, ООО НПФ «Литех», определение чувствительности бактерий к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом на среде Мюллера – Хинтона. В зависимости от вида микроорганизма использовали различные наборы антибиотиков:

— для неферментирующих грамотрицательных бактерий: 1 — тетрациклин (30 мкг), 2 — амикацин (30 мкг), 3 — гентамицин (10 мкг), 4 — тобрамицин (10 мкг), 5 — ципрофлоксацин (5 мкг), 6 — левофлоксацин (5 мкг), 8 — меропенем (10 мкг), 9 — имипенем (10 мкг), 15 — пиперациллин/тазобактам (30/60 мкг), 23 — цефепим (30 мкг);

- для энтеробактерий: 1 — тетрациклин (30 мкг), 2 — амикацин (30 мкг), 3 — гентамицин (10 мкг), 5 — ципрофлоксацин (5 мкг), 6 — левофлоксацин (5 мкг), 8 — меропенем (10 мкг), 9 — имипенем (10 мкг), 13 — цефтазидим (10 мкг), 14 — цефотаксим (5 мкг), 15 — пиперацillin/тазобактам (30/60 мкг);
- для стафилококков: 1 — тетрациклин (30 мкг), 3 — гентамицин (10 мкг), 5 — ципрофлоксацин (5 мкг), 10 — ванкомицин (5 мкг), 12 — цефокситин (30 мкг), 16 — клиндамицин (2 мкг), 17 — эритромицин (15 мкг), 18 — фузидин (10 мкг), 19 — линезолид (10 мкг); 21 — рифампицин (5 мкг);
- для энтерококков: 3 — гентамицин (30 мкг), 10 — ванкомицин (5 мкг), 11 — ампициллин (2 мкг), 27 — норфлоксацин (10 мкг), 19 — линезолид (10 мкг);
- для стрептококков: 11 — ампициллин (2 мкг); 14 — цефотаксим (5 мкг), 16 — клиндамицин (2 мкг), 20 — бензилпенициллин (1 мкг).

Оценку результатов проводили, используя критерии EUCAST (англ.: European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, Version 9.0, valid from 2019–01–01). Умеренно-резистентные штаммы относили к резистентным.

Концентрацию ПКТ в сыворотке крови определяли полуколичественным методом с помощью ИХА-прокальцитонин-теста (Россия). Интерпретацию результатов проводили в соответствии с рекомендациями производителя:

< 0,5 нг/мл — системная инфекция маловероятна, хотя возможна локализованная инфекция;

0,5 – < 2 нг/мл — системная инфекция возможна, но другие состояния (например, серьезная травма, недавняя операция, тяжелый кардиогенный шок) также могут вызывать значительное повышение уровня ПКТ;

2 – < 10 нг/мл — вероятна системная инфекция;

≥ 10 нг/мл — высокая вероятность тяжелого бактериального сепсиса или септического шока.

Полученные результаты исследования разделены на две группы: положительные и отрицательные. Положительные результаты в зависимости от выделенных микроорганизмов в культуре крови или очаге разделены на две категории: грамположительные и грамотрицательные бактерии.

Для обработки и статистического анализа полученных результатов использовали программу Gnumeric 1.12.17. Количественные переменные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (IQR), а качественные — в виде процентов. Непараметрический критерий Вилкоксона использовали для определения различий между группами. Для изучения взаимосвязи между значениями прокальцитонина и видовым составом бактерий, выделенных из ран, рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Интерпретацию полученных данных проводили по шкале Чеддока. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

На клиническое исследование получено разрешение комитета по этике НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова, оно проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинской декларации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрация ПКТ в крови ниже 0,5 нг/мл отмечена у 52,0 % обследуемых пациентов, от 0,5 до 2,0 нг/мл — у 19,5 % ($p = 0,13$), от 2,0–10,0 нг/мл — у 12,3 % ($p = 0,049$) и более 10 нг/мл — у 16,2 % ($p = 0,049$) человек. Грамотрицательная микрофлора в крови выделена только у пациентов со значениями ПКТ более 10 нг/мл (табл. 1).

Таблица 1

Количество пациентов с хроническим остеомиелитом в зависимости от уровня ПКТ

ПКТ, нг/мл	Количество пациентов по годам								Положительная проба на стерильность крови в период с 2021–2023 гг.
	2021 (n = 35)		2022 (n = 31)		2023 (n = 57)		2021–2023 (n = 123)		
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
< 0,5	11	31,4	16	51,5	37	64,9	64	52,0	<i>S. epidermidis</i> (n = 3)
0,5–2,0	12	34,2	6	19,4	6	10,5	24	19,5* <i>p</i> = 0,13	<i>S. aureus</i> (n = 1), <i>S. hominis</i> (n = 1)
2,0–10,0	4	11,5	4	12,8	7	12,3	15	12,3* <i>p</i> = 0,049	<i>S. aureus</i> (n = 3), <i>S. pidermidis</i> (n = 3), <i>Streptococcus</i> spp. (n = 2)
≥ 10,0	8	22,9	5	16,3	7	12,3	20	16,2* <i>p</i> = 0,049	<i>S. pneumoniae</i> (n = 3), <i>S. epidermidis</i> (n = 2)

Примечание: * — уровень значимости различий между количеством обследованных пациентов со значениями ПКТ менее 0,5 нг/мл.

В микробном пейзаже из патологического очага у пациентов с ПКТ менее 0,5 нг/мл и 0,5–2,0 нг/мл преобладали грамположительные микроорганизмы (табл. 2). У пациентов с ПКТ от 2,0–10,0 нг/мл и выше 10 нг/мл выделялись как грамположительные, так и грамотрицательные бактерии. Среди грамотрицательных бактерий из ран и свищей чаще всего выделялись энтеробактерии, преимущественно штаммы *K. pneumoniae*, среди грамположительных бактерий — штаммы *S. aureus*. У пяти пациентов отсутствовал рост микроорганизмов в очаге, при этом уровень ПКТ был 0,5–2,0 нг/мл ($n = 4$), 2,0–10,0 нг/мл ($n = 1$). У одного пациента при бактериологическом исследовании посева из раны не обнаружено роста патогенных бактерий, а при исследовании крови на стерильность выявлен возбудитель *Streptococcus* spp., при этом ПКТ был в интервале от 2,0–10,0 нг/мл. У 10 пациентов микрофлора ран и свищей не совпадала с результатами посевов крови на стерильность. Доля пациентов со значениями ПКТ ≥ 2 нг/мл и грамотрицательными бактериями в очаге была выше в сравнении с пациентами с грамположительной микрофлорой.

Коэффициенты корреляции между микробиоценозом ран пациентов и значениями прокальцитонина свидетельствуют об обратной связи между изучаемыми признаками. Теснота этих связей была заметной ($r = -0,57$ для грамотрицательной микрофлоры) и высокой ($r = -0,74$ для грамположительной микрофлоры) по шкале Чеддока.

Таблица 2

Частота встречаемости бактерий в зависимости от значений ПКТ

Микроорганизм	ПКТ, нг/мл			
	0,5	0,5–2,0	2,0–10,0	более 10
НФГОБ	11	5	4	4
Enterobacterales	25	10	5	17
Всего:	36 (44,4 %)	15 (18,5 %)	9 (11,1 %)	21 (25,9 %)
<i>S. aureus</i>	35	11	4	10
CoNS	15	6	2	7
<i>Enterococcus</i> sp.	8	2	–	5
<i>Streptococcus</i> sp.	1	1	–	1
<i>Corynebacterium</i> sp.	2	1	1	–
Всего:	61 (55,5 %)	21 (19,1 %)	7 (6,4 %)	21 (19,1 %)
Отсутствовал рост:	9	4	1	0

Примечание: НФГОБ — неферментирующие грамотрицательные бактерии, CoNS — коагулазонегативные бактерии.

Положительная проба на стерильность крови получена у 17 пациентов. У двух пациентов при первичном исследовании крови выделены штаммы *K. pneumoniae*, при этом значения сывороточного ПКТ превышали 10 нг/мл (табл. 3). При повторном исследовании в крови наблюдали смену микрофлоры на грамположительную с одновременным снижением ПКТ до 0,5 нг/мл (пациенты № 1 и № 2, табл. 3).

Среди положительных культур крови ($n = 19$) на первом месте по частоте выделения штаммы *S. epidermidis* ($n = 8$, из них 6 — MRSE), далее следовали изоляты *S. aureus* ($n = 4$), *K. pneumoniae* ($n = 4$), *S. agalactiae* ($n = 2$), метициллин-резистентный *S. hominis* ($n = 1$).

ПКТ в крови у семи человек был выше 10 нг/мл, у шести — 2,0–10,0 нг/мл. У двух человек отмечен низкий уровень ПКТ, и при этом в крови обнаружен инфекционный возбудитель. У шести пациентов микрофлора крови и чувствительность бактерий к тестируемым антибактериальным препаратам совпадала с микрофлорой ран. Грамположительные бактерии, выделенные из крови, были чувствительны к большинству из тестируемых препаратов. У шести пациентов из крови были выделены штаммы MRSE, при этом у двух из них ПКТ был выше 10 нг/мл.

Штаммы бактерий, принадлежащих к одному таксону, выделенные одновременно из крови и из ран, характеризовались одинаковой чувствительностью к антибактериальным препаратам. Среди наиболее эффективных антибактериальных препаратов в отношении *K. pneumoniae* были тетрациклины и аминогликозиды, в отношении бактерий рода *Staphylococcus* — гликопептиды, линезолид, рифампицин и фузидин.

У восьми пациентов с ПКТ выше 10 нг/мл снижение показателя до нормальных значений происходило в течение 7–9 дней. У семи пациентов (у трех из которых из крови были выделены микроорганизмы) ПКТ не снижался. У 13 из 15 пациентов с первоначальными значениями ПКТ от 2,0 до 10,0 нг/мл снижение показателя до нормальных отмечалось в течение 5–6 дней.

Таблица 3

Активные антибактериальные препараты в отношении бактерий, выделенных одновременно из крови и из ран

№*	Микрофлора крови	Эффективные антибиотики	Микрофлора раны и свища	Эффективные антибиотики	ПКТ, нг/мл
1	<i>K. pneumoniae</i>	1	<i>K. pneumoniae</i>	1	> 10,0
	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10	< 0,5
2	<i>K. pneumoniae</i>	2, 3	<i>K. pneumoniae</i>	2, 3	> 10,0
	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	< 0,5
3	<i>K. pneumoniae</i>	1	<i>K. pneumoniae</i>	1	> 10,0
			<i>E. faecalis</i>	1, 21	
4	<i>K. pneumoniae</i>	1–3, 6, 8, 9, 15, 22	<i>E. cloacae</i>	2, 9	> 10,0
			<i>E. faecalis</i>	7	
5	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	3,10, 16–18, 21	<i>E. coli</i>	2–6, 8, 9, 15, 22	< 0,5
			<i>S. aureus</i>	все тестируемые	
6	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10, 18, 19, 21	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10, 18,19,21	2,0–10,0
7	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	1, 10, 18, 19, 21	<i>S. aureus (MRSA)</i>	1,10,18,19,21	> 10,0
8	<i>S. epidermidis</i>	все тестируемые	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	2,0–10,0
9	<i>S. epidermidis</i>	все тестируемые	<i>P. aeruginosa</i>	2, 3, 5, 8, 9, 15, 23	< 0,5
			<i>A. baumannii</i>	4, 8, 9, 15	
			<i>S. aureus</i>	все, кроме 16, 17	
10	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	1, 10, 18, 19, 21	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	1, 10, 18, 19, 21	2,0–10,0
			<i>K. pneumoniae</i>	2, 3, 8	
11	<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10, 18, 19, 21	<i>E. cloacae</i>	1–4, 6, 8, 23	> 10,0
12	<i>S. hominis (MRSH)</i>	10, 18, 19, 21	<i>K. pneumoniae</i>	1, 2, 3, 8	0,5–2,0
			<i>P. aeruginosa</i>	2, 3, 5, 8, 9, 15	
			<i>E. faecalis</i>	2, 10, 19	
13	<i>S. agalactae</i>	все, кроме 1	Роста нет	–	2,0–10,0
14	<i>S. agalactae</i>	11	<i>E. cloacae</i>	2, 6, 8, 9	> 10,0
			<i>S. epidermidis (MRSE)</i>	10, 19, 18, 21	
			<i>E. faecalis</i>	3, 10, 19	
15	<i>S. aureus</i>	все, кроме 5	<i>P. aeruginosa</i>	1, 3, 4	2,0–10,0
			<i>A. baumannii</i>	1, 4, 8, 9	
16	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	0,5–2,0
17	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	<i>S. aureus</i>	все тестируемые	2,0–10,0

Примечание: * — номера пациентов с положительными посевами крови. В столбце с эффективными препаратами номерами отмечены антибиотики, указанные в разделе «Материалы и методы».

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам проведенного исследования у пациентов с ПКТ менее 0,5 нг/мл, как правило, из очага высевались грамположительные микроорганизмы, преимущественно *S. aureus*. Частота встречаемости грамотрицательных бактерий была в 1,7 раза ниже. В то же время у пациентов со значениями ПКТ выше 10 нг/мл из очага (раны, свищи, кровь) в равной степени выделялись как грамотрицательные, так и грамположительные микроорганизмы. При этом у всех пациентов, у которых выделены штаммы *K. pneumoniae* из крови, уровень ПКТ был выше 10 нг/мл. Бактерии *K. pneumoniae* и *MRSE*, выделенные одновременно из крови и из ран, характеризовались высоким уровнем резистентности к большинству тестируемых антимикробных препаратов.

Во многих исследованиях описана корреляция между высоким уровнем сыровоточного ПКТ и грамотрицательной инфекцией кровотока [24]. Концентрации ПКТ были значительно выше у пациентов с положительными посевами крови [25]. На высокий уровень ПКТ в крови существенное влияние оказывает эндотоксин грамотрицательных бактерий, являющийся облигатным липополисахаридом бактериальной стенки.

Исследования показали, что инфекция кровотока, вызванная грамотрицательными бактериями, приводит к значительно более высокому уровню ПКТ, чем грамположительными бактериями. Это связано с тем, что грамотрицательные и грамположительные бактерии распознают Toll-подобный рецептор 4 и Toll-подобный рецептор 2 на поверхности клетки с помощью липополисахарида и липотейхоевой кислоты соответственно и впоследствии индуцируют высвобождение различных цитокинов и разные уровни ПКТ [26].

Имеются сообщения и об одинаковых значениях ПКТ при грамотрицательной и грамположительной бактериемии [27]. L. Oksuz et al. не смогли продемонстрировать статистически значимую разницу между грамотрицательной и грамположительной бактериями с точки зрения уровней ПКТ [28]. Установлена корреляция между значением ПКТ и микрофлорой при условии, что очаг инфекции и инфекция кровотока вызваны одним и тем же возбудителем [29].

Согласно литературным данным, у 40–90 % пациентов с предполагаемой системной инфекцией результаты посевов крови отрицательные [30]. В нашем исследовании в пяти случаях отсутствовал рост микроорганизмов, при этом уровень ПКТ был выше 0,5 нг/мл, но ниже 10 нг/мл. Уровень ПКТ выше 2 нг/мл отмечен у 35 человек, при этом лишь у 13 пациентов в крови обнаружен возбудитель. В то же время у двух человек с низким значением ПКТ (менее 0,5 нг/мл) из крови выделена микрофлора.

На сегодняшний день ПКТ является одним из наиболее изученных биомаркеров рационального использования антибиотиков [31]. Пороговые значения ПКТ < 0,5 мкг/л или снижение на 80–90 % от пикового уровня считаются признаком выздоровления, что служит основанием для завершения курса антибиотикотерапии. В нашем исследовании снижение ПКТ до пороговых значений происходило в течение 5–9 дней. В трех случаях снижения ПКТ не наблюдали. Мы предполагаем, что динамика концентрации ПКТ при проведении антибактериальной терапии может служить критерием эффективности применения антибиотика [31–32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов с ПКТ менее 0,5 нг/мл в микрофлоре ран и свищей чаще всего встречались грамположительные микроорганизмы. Доля пациентов со значениями ПКТ ≥ 2 нг/мл и грамотрицательными бактериями в очаге была выше в сравнении с пациентами с грамположительной микрофлорой. Тем не менее, обнаруженная высокая корреляционная взаимосвязь между микробиоценозом ран пациентов и значениями прокальцитонина подтверждает ведущую роль грамположительных бактерий в развитии остеомиелита.

При положительных посевах крови уровень сывороточного ПКТ, в большинстве случаев, был выше 2,0 нг/мл. Наличие грамотрицательных бактерий в крови, также как и в ране, сопровождалось значениями ПКТ выше 10 нг/мл. При выделении одного и того же возбудителя из ран и крови отмечена высокая резистентность бактерий к большинству тестируемых препаратов.

Полученные результаты показали, что анализ крови на ПКТ одновременно с микробиологическими исследованиями может быть дополнительным инструментом в диагностике хронического остеомиелита.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миронов С.П., Цискарашвили А.В., Горбатюк Д.С. Хронический посттравматический остеомиелит как проблема современной травматологии и ортопедии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2019;25(4):610–621. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621.
2. Судницын А.С., Ключин Н.М., Мигалкин Н.С. и др. Диагностика хронического остеомиелита, осложненного микозной инфекцией. *Гений ортопедии*. 2019;25(4):528–534. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-528-534.
3. Ma X, Han S, Ma J, et al. Epidemiology, microbiology and therapeutic consequences of chronic osteomyelitis in northern China: A retrospective analysis of 255 Patients. *Sci Rep*. 2018;8(1):14895. doi: 10.1038/s41598-018-33106-6.
4. Zhang K, Bai YZ, Liu C, et al. Composition of pathogenic microorganism in chronic osteomyelitis based on metagenomic sequencing and its application value in etiological diagnosis. *BMC Microbiol*. 2023;23(1):313. doi: 10.1186/s12866-023-03046-x
5. Шипицына И.В., Осипова Е.В. Эффективность амикацина в комбинации с трипсином в отношении биоплёночных форм бактерий *P. aeruginosa*. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2023;86(6):25–29. doi: 10.30906/0869-2092-2023-86-6-25-29.
6. Besal R, Adamić P, Beović B, Papst L. Systemic Antimicrobial Treatment of Chronic Osteomyelitis in Adults: A Narrative Review. *Antibiotics (Basel)*. 2023;12(6):944. doi: 10.3390/antibiotics12060944.
7. Glaudemans AWJM, Jutte PC, Cataldo MA, et al. Consensus document for the diagnosis of peripheral bone infection in adults: a joint paper by the EANM, EBJIS, and ESR (with ESCMID endorsement). *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(4):957–970. doi: 10.1007/s00259-019-4262-x.
8. Шипицына И. В., Осипова Е. В., Леончук Д. С., Судницын А. С. Мониторинг ведущей грамотрицательной микрофлоры и антибиотикорезистентности при остеомиелите. *Гений ортопедии*. 2020;26(4):544–547. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-544-547.
9. Rubio-Díaz R, Julián-Jiménez A, González Del Castillo J, et al. Ability of lactate, procalcitonin, and criteria defining sepsis to predict 30-day mortality, bacteremia, and microbiologically confirmed infection in patients with infection suspicion treated in emergency departments. *Emergencias*. 2022;34(3):181–189.
10. Velly L, Freund Y. Biomarkers of sepsis: An old story or an exciting future? *Emergencias*. 2022;34(6):474–475.
11. El Haddad H, Chaftari AM, Hachem R, et al. Biomarkers of Sepsis and Bloodstream Infections: The Role of Procalcitonin and Proadrenomedullin With Emphasis in Patients With Cancer. *Clin Infect Dis*. 2018;67(6):971–977. doi: 10.1093/cid/ciy331.
12. Samsudin I, Vasikaran SD. Clinical Utility and Measurement of Procalcitonin. *Clin Biochem Rev*. 2017;38(2):59–68.

13. Шипицына И.В., Осипова Е.В., Люлин С.В., Свириденко А.С. Диагностическая ценность прокальцитонина в посттравматическом периоде у пациентов с политравмой. *Политравма*. 2018;(1):47-51.
14. Sato H, Tanabe N, Murasawa A, et al. Procalcitonin is a specific marker for detecting bacterial infection in patients with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*. 2012;39(8):1517-1523. doi: 10.3899/jrheum.111601.
15. Zafar Iqbal-Mirza S, Serrano Romero de Ávila V, Estévez-González R, et al. Ability of procalcitonin to differentiate true bacteraemia from contaminated blood cultures in an emergency department. *Enferm Infecc Microbiol Clin (Engl Ed)*. 2019;37(9):560-568. doi: 10.1016/j.eimc.2019.01.012.
16. Wei TT, Hu ZD, Qin BD, Ma N, Tang QQ, Wang LL, Zhou L, Zhong RQ. Diagnostic Accuracy of Procalcitonin in Bacterial Meningitis Versus Nonbacterial Meningitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(11):e3079. doi: 10.1097/MD.0000000000003079.
17. Balakrishnan B, Kulkarni UP, Pai AA, et al. Biomarkers for early complications post hematopoietic cell transplantation: Insights and challenges. *Front Immunol*. 2023;14:1100306. doi: 10.3389/fimmu.2023.1100306.
18. Kennis B, Ali A, Lasoff D, et al. The diagnostic utility of procalcitonin is limited in the setting of methamphetamine toxicity. *Am J Emerg Med*. 2022;54:36-40. doi: 10.1016/j.ajem.2022.01.049.
19. Oksuz L, Somer A, Salman N, et al. Procalcitonin and C-reactive protein in differentiating to contamination from bacteremia. *Braz J Microbiol*. 2015;45(4):1415-1421. doi: 10.1590/s1517-83822014000400036.
20. Berthezène C, Aissa N, Manteaux AE, et al. Accuracy of procalcitonin for diagnosing peripheral blood culture contamination among patients with positive blood culture for potential contaminants. *Infection*. 2021;49(6):1249-1255. doi: 10.1007/s15010-021-01697-4.
21. Banerjee R, Humphries R. Rapid Antimicrobial Susceptibility Testing Methods for Blood Cultures and Their Clinical Impact. *Front Med (Lausanne)*. 2021;8:635831. doi: 10.3389/fmed.2021.635831.
22. Nolan J, Meragawa PF. The role of serum procalcitonin in establishing diagnosis of bone and joint infections. *J Clin Orthop*. 2020;5(1):3-7.
23. Lima AL, Oliveira PR, Carvalho VC, et al. Recommendations for the treatment of osteomyelitis. *Braz J Infect Dis*. 2014;18(5):526-534. doi: 10.1016/j.bjid.2013.12.005.
24. He C, Wang B, Wang YF, Shen YC. Can procalcitonin be used to diagnose Gram-negative bloodstream infection? Evidence based on a meta-analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2017;21(14):3253-3261.
25. Watanabe Y, Oikawa N, Hariu M, et al. Ability of procalcitonin to diagnose bacterial infection and bacteria types compared with blood culture findings. *Int J Gen Med*. 2016;9:325-331. doi: 10.2147/IJGM.S115277.
26. Hawkey PM. Multidrug-resistant Gram-negative bacteria: a product of globalization. *J Hosp Infect*. 2015;89(4):241-247. doi: 10.1016/j.jhin.2015.01.008.
27. Julián-Jiménez A, Rubio-Díaz R, González Del Castillo J, et al. New predictive models of bacteremia in the emergency department: a step forward. *Rev Esp Quimioter*. 2022;35(4):344-356. (In Span.) doi: 10.37201/req/015.2022.
28. Oksuz L, Somer A, Salman N, et al. Procalcitonin and C-reactive protein in differentiating to contamination from bacteremia. *Braz J Microbiol*. 2015;45(4):1415-21. doi: 10.1590/s1517-83822014000400036.
29. Leng Y, Chen C, Zhang Y, et al. Ability of serum procalcitonin to distinguish focus of infection and pathogen types in patients with bloodstream infection. *Ann Transl Med*. 2019;7(7):135. doi: 10.21037/atm.2019.03.24.
30. Laukemann S, Kasper N, Kulkarni P, et al. Can We Reduce Negative Blood Cultures With Clinical Scores and Blood Markers? Results From an Observational Cohort Study. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(49):e2264. doi: 10.1097/MD.0000000000002264.
31. Gregoriano C, Heilmann E, Molitor A, Schuetz P. Role of procalcitonin use in the management of sepsis. *J Thorac Dis*. 2020;12(Suppl 1):S5-S15. doi: 10.21037/jtd.2019.11.63.
32. El Haddad H, Chaftari AM, Hachem R, et al. Biomarkers of Sepsis and Bloodstream Infections: The Role of Procalcitonin and Proadrenomedullin With Emphasis in Patients With Cancer. *Clin Infect Dis*. 2018;67(6):971-977. doi: 10.1093/cid/ciy331.

Статья поступила 16.10.2024; одобрена после рецензирования 09.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 16.10.2024; approved after reviewing 09.01.2025; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Ирина Владимировна Шипицына — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Елена Владимировна Осипова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
E-V-OsipovA@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2408-4352>;

Александр Леонидович Шастов — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник,
alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>.

Information about the authors:

Irina V. Shipitsyna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher,
ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Elena V. Osipova — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
E-V-OsipovA@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2408-4352>;

Alexander L. Shastov — Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher,
alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>.

Научная статья

УДК 004.94:616.718.45-004.8-089.844-74:666.3-127:616-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-226-236>



Экспериментальная оценка свойств костнозамещающих материалов на основе $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ на модели критического дефекта бедренной кости крысы

И.М. Щербаков✉, П.В. Евдокимов, Д.С. Ларионов, В.И. Путляев, Г.А. Шипунов, Н.В. Данилова, А.Ю. Ефименко, Е.С. Новоселецкая, В.Э. Дубров

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Иван Михайлович Щербаков, imscherbackov@yandex.ru

Аннотация

Введение. В современной травматологии и ортопедии остро стоит проблема замещения дефектов костной ткани. Достижения современного материаловедения позволяют создавать широкий спектр костнозамещающих материалов, однако выбор наиболее эффективных из них является актуальной задачей биомедицинских исследований.

Цель работы — определение влияния трехмерной структуры и размера пор костнозамещающих материалов на основе трикальциевого фосфата на их osteoconductive свойства на модели критического диафизарного дефекта бедренной кости крысы.

Материалы и методы. В эксперименте под наркозом воспроизводили монокортикальный дефект средней трети диафиза бедренной кости крыс на протяжении 7 мм, который заполняли блоками одного из четырех материалов на основе трикальциевого фосфата, различающихся количеством, размером и направлением пор. В каждую из групп включено по 16 животных. Через 3 и 6 мес. по 8 крыс из каждой группы выводили из эксперимента, после чего при гистологическом исследовании проводили оценку площади новообразованной костной ткани с последующим сравнением результатов между группами с использованием статистических методов.

Результаты. Во всех группах отмечено прорастание костной ткани в зону дефекта по порам материала. Через 3 и 6 мес. площадь новообразованной костной ткани в соотношении к площади дефекта составила: в группе Цилиндры — $(11 \pm 4) \%$ и $(31 \pm 6) \%$ соответственно; в группе Гироид — $(14 \pm 5) \%$ и $(29 \pm 4) \%$; в группе Гироид-150 мкм — $(39 \pm 5) \%$ и $(41 \pm 7) \%$; в группе Гироид-50 мкм — $(17 \pm 7) \%$ и $(27 \pm 8) \%$. Площадь новообразованной костной ткани в группе Гироид-150 мкм статистически значительно больше по сравнению с остальными группами ($p < 0,05$, критерий Kruskal – Wallis).

Обсуждение. Оценка влияния типа архитектуры блока костнозамещающего материала, размера пор и их взаимоотношений в настоящее время является темой многих исследований, в которых показано, что наличие пор большого диаметра (более 600 мкм) улучшает osteoconductive свойства, однако верхний предел пористости ограничен снижением механических свойств блока. Подтверждается превосходство структуры Гироид над другими типами архитектур, как в теоретических, так и в прикладных исследованиях. Однако изучению структур с порами различного размера посвящено мало работ, в связи с чем результаты нашего исследования позволяют ответить на вопрос о целесообразности применения таких сложных структур и их роли в замещении костной ткани.

Заключение. Трехмерная структура костнозамещающих материалов на основе трикальциевого фосфата оказывает влияние на osteoconductive свойства, при этом добавление к структуре Гироид дополнительной моды пор диаметром 150 мкм приводит к статистически значимо большему вращению костной ткани в образец материала в эксперименте.

Ключевые слова: травматология, репарация костной ткани, костнозамещающие материалы, 3D-печать

Для цитирования: Щербаков И.М., Евдокимов П.В., Ларионов Д.С., Путляев В.И., Шипунов Г.А., Данилова Н.В., Ефименко А.Ю., Новоселецкая Е.С., Дубров В.Э. Экспериментальная оценка свойств костнозамещающих материалов на основе $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ на модели критического дефекта бедренной кости крысы. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):226-236. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-226-236.



Experimental evaluation of $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ based bone substitutes using rat femoral defect models

I.M. Shcherbakov✉, P.V. Evdokimov, D.S. Larionov, V.I. Putlayev, G.A. Shipunov, N.V. Danilova, A.Yu. Efimenko, E.S. Novoseletskaia, V.E. Dubrov

Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Ivan M. Shcherbakov, imscherbackov@yandex.ru

Abstract

Introduction Replacement of bone defects is an important issue of modern traumatology and orthopedics. With increasing technological advances there is a spectrum of bone-substituting materials, and the choice of the effective option is essential for biomedical research.

The **objective** was to determine the effect of the three-dimensional structure and pore size of tricalcium phosphate based bone substitute materials on osteoconduction using a critical diaphyseal defect of the rat femur.

Material and methods A monocortical 7 mm defect was simulated in the middle third of the rodent femoral shaft under anaesthesia and filled with blocks of one of four tricalcium phosphate based materials differing in the number, size and direction of pores. Eight rats from each group were sacrificed at 3 and 6 months, and the newly formed bone was histologically examined and the results compared using statistical methods.

Results The bone tissue was shown to grow into the defect area through the pores of the material in all the groups at 3 and 6 months. The newly formed bone measured $(11 \pm 4) \%$ and $(31 \pm 6) \%$ of the defect area in the Cylinders group, $(14 \pm 5) \%$ and $(29 \pm 4) \%$ in the Gyroid group; $(39 \pm 5) \%$ and $(41 \pm 7) \%$ in the Gyroid-150 μm group and $(17 \pm 7) \%$ and $(27 \pm 8) \%$ in the Gyroid-50 μm group, respectively. The area of newly formed bone was statistically greater in the Gyroid-150 μm group compared to that in the other groups ($p < 0.05$, Kruskal – Wallis test).

Discussion The effect of the type of architecture of the bone substitute material, the pore size and their relationships are reported in many studies with larger diameter pores (more than 600 μm) improving osteoconduction, and the upper limit of porosity being limited by a decrease in the mechanical properties of the block. The advantages of the Gyroid structure over other types of architectures are described in theoretical and applied research. Structures with pores of different sizes were examined in few studies, and our findings demonstrated the feasibility of using the complex structures and the role in replacing bone tissue.

Conclusion The three-dimensional structure of bone substitute materials based on tricalcium phosphate was shown to have an effect on osteoconductive properties, with an additional pore mode with a diameter of 150 μm added to the Gyroid structure leading to significantly greater experimental bone tissue ingrowth in the sample.

Keywords: traumatology, bone repair, bone substitute, 3D-printing

For citation: Shcherbakov IM, Evdokimov PV, Larionov DS, Putlayev VI, Shipunov GA, Danilova NV, Efimenko AY, Novoseletskaia ES, Dubrov VE. Experimental evaluation of $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ based bone substitutes using rat femoral defect models. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):226-236. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-226-236.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема замещения дефектов костной ткани посттравматической и послеоперационной этиологии по-прежнему является актуальной в современной травматологии и ортопедии [1–5]. Возможности аутопластики ограничены по объёму, поэтому продолжается активная работа по поиску алло- и ксено-трансплантатов [6–11]. Достижения современного материаловедения позволяют создавать широкий спектр костнозамещающих материалов, однако выбор наиболее оптимальных из них является задачей биомедицинских исследований [3, 7, 12–17].

Для разработки новых костнозамещающих материалов применяют различные химические вещества, различающиеся как по своим механическим свойствам, так и по биорезорбируемости [12, 18–21]. Для процесса замещения материала костной тканью не меньшее значение имеет трехмерная структура материала, которая определяет процесс новообразования костной ткани и его скорость [22, 23]. Однако в литературе нет четких критериев, позволяющих выбирать архитектуру материала для ускорения процесса прорастания костью. Сама губчатая костная ткань представляет собой сложную нерегулярную трехмерную структуру с пористостью от 50 до 90 % и размером пор от 300 до 500 мкм с негомогенными анизотропными свойствами [24]. Одной из оптимальных структур с точки зрения компромисса между проницаемостью и прочностью является структура на основе трехмерной периодической минимальной поверхности типа Гироид, в то же время она обладает высокой относительной жесткостью [25].

Цель работы — определение влияния трехмерной структуры и размера пор костнозамещающих материалов на основе трикальциевого фосфата на их osteoconductive свойства на модели критического диафизарного дефекта бедренной кости крысы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемые биорезорбируемые материалы представляют собой макропористые керамические 3D-конструкции нового поколения на основе ортофосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Для синтеза высокопористых керамических материалов на его основе использовали фотоотверждаемые эмульсии. Для их получения применяли ранее описанную методику [25]. В качестве исходной архитектуры использовали материал Цилиндры. В этом материале общая пористость по объёму составляла около 55 %, размер основных пор — 300 мкм, а переходы между ними — 50 мкм, при этом поры располагались без четкой организации.

Для формирования материалов с заданной архитектурой типа Гироид была выбрана стереолитографическая 3D-печать с помощью DLP-принтера Ember (Autodesk, США), а трехмерные модели структур были созданы с помощью компьютерных программ Monolith (Autodesk, США) и Fusion 360 (Autodesk, США). Общая пористость созданного материала (материал Гироид) по объёму составляет около 70 %, основные каналы имеют размеры 1250 мкм, и переходы между ними — 750 мкм, что обеспечивает максимальную проницаемость таких архитектур (рис. 1, слева). Использование фотоотверждаемых эмульсий позволяет задавать дополнительную моду пор в заданном керамическом 3D-каркасе. В данной работе исследованы материалы с дополнительной модой пор со средним размером 50 (материал Гироид-50 мкм) и 150 мкм (материал Гироид-150 мкм) (рис. 1, справа). Общая пористость созданных материалов по объёму составляет около 85 %.

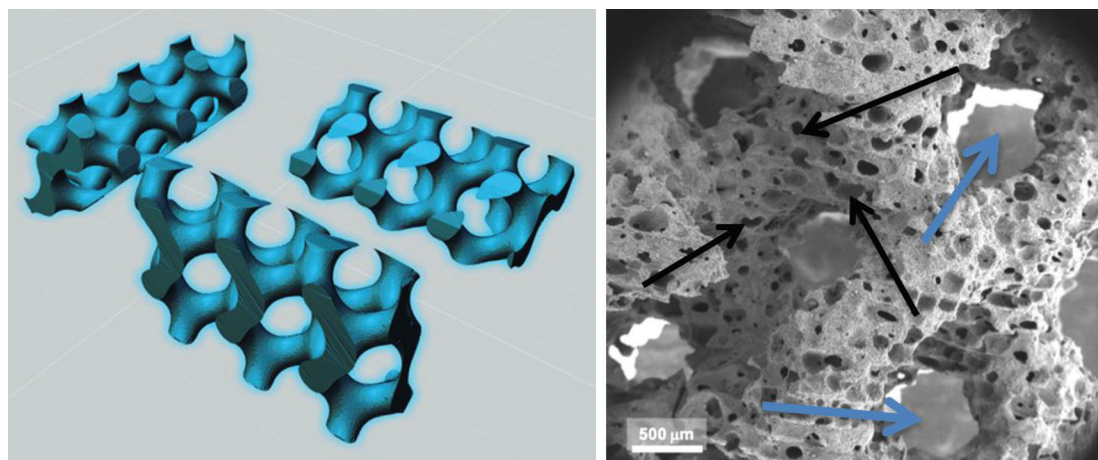


Рис. 1. Трехмерная структура созданных костнозамещающих материалов. Слева — графическая компьютерная модель структуры материала Гироид. Справа — сканирующая электронная микрофотография материала Гироид-150 мкм (увеличение 50 крат). Вид из основной поры. Определяются переходы между основными порами диаметром до 750 мкм (синие стрелки) и поры дополнительной моды диаметром 150 мкм (черные стрелки)

Работа получила одобрение Комиссии по биоэтике МГУ им. М.В. Ломоносова (одобрено на заседании 11.02.2021, рег. № 123-ж). Исследование проводили в соответствии с «Руководством по содержанию и уходу за лабораторными животными» (Межгосударственный стандарт ГОСТ 33216-2014 «Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами»).

Исследование выполнено на 66 самцах крыс *Rattus norvegicus* линии Wistar в возрасте 20–22 нед. из ЦКП «SPF-виварий» ИЦиГ СО РАН (Институт цитологии и генетики СО РАН). Животных содержали в виварии по 3 особи в клетке. Доступ крыс к воде и корму был не ограничен. Формирование дефекта и заполнение его изучаемым материалом (рис. 2) проводили по описанной ранее методике [16].

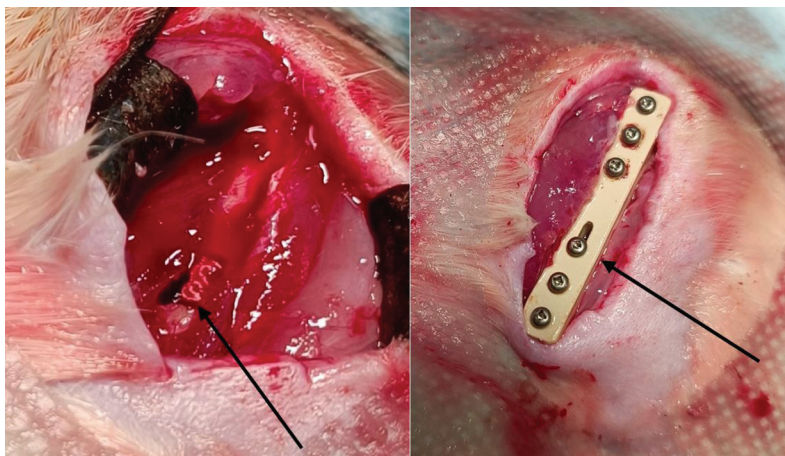


Рис. 2. Ход операции: вид операционной раны с дефектом, заполненным имплантированным материалом (слева, указан стрелкой), и фиксация кости полиэфирэфиркетоновой пластиной и титановыми винтами (справа, пластина указана стрелкой)

Животные распределены на 4 группы по 16 особей в каждой в зависимости от имплантируемого материала. Через 3 и 6 мес. после выполнения операции по 8 крыс из каждой группы выводили из эксперимента по стандартной методике с использованием CO₂-камеры с последующим забором материала (бедренная кость с дефектом) для гистологического исследования. Подготовку образцов для гистологического исследования осуществляли по стандартной методике [16].

Для оценки результатов проводили слепой гистометрический анализ. Изображения гистологических препаратов получали с помощью светового микроскопа Leica DM LB2 (Carl Zeiss) и цифровой камеры AxioCam ICc3 (Carl Zeiss). Оцифрованные изображения переводили в формат JPEG. Гистометрическую оценку проводили с помощью программы Fiji [26] на увеличении в 10 раз с измерением площади новообразованной костной ткани в лакунах материалов в процентах от общей площади дефекта. Для каждого образца проводили вычисление на двух препаратах, всего для каждого срока в каждой группе получали 16 значений. Результаты каждой группы представляли в виде среднего и стандартного отклонений. Для установления статистической значимости различий использовали вычисление непараметрического критерия Kruskal – Wallis с помощью программы StatSoft Statistica 10.0 (2011) отдельно для групп со сроком вывода 3 мес. и со сроком вывода 6 мес.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведения эксперимента от осложнений, связанных с наркозом, погибло два животных. Остальные животные перенесли оперативное вмешательство и дожили до вывода из эксперимента без особенностей. Средняя масса крыс на момент ввода в эксперимент — (488 ± 54) г, на момент вывода через 3 мес. — (611 ± 32) г, через 6 мес. — (653 ± 56) г. Значимая разница между группами по массе и её приросту не зафиксирована (табл. 1).

Таблица 1

Масса животных в группах на момент проведения операции и вывода из эксперимента

Группа	Масса на момент включения в эксперимент, г	Масса на момент вывода из эксперимента, г	
		через 3 мес.	через 6 мес.
Цилиндры	460 ± 38	606 ± 59	649 ± 71
Гироид	453 ± 42	616 ± 45	645 ± 83
Гироид-50 мкм	513 ± 26	620 ± 34	709 ± 72
Гироид-150 мкм	507 ± 36	589 ± 40	692 ± 74

Поведение животных в послеоперационном периоде не менялось, все крысы перемещались на четырех лапах без попыток ограничивать нагрузку. Гнойных осложнений раневого процесса и осложнений механического характера со стороны имплантата и кости не выявляли.

В группе **Цилиндры** через 3 мес. на гистологических срезах в зоне дефекта определяли прямоугольное образование серого цвета, по структуре соответствующее имплантированному материалу. В области имплантата были участки округлой формы, лишённые заполнения, что соответствовало местам резорбции материала. В порах имплантата выявляли участки врастания костной ткани (рис. 3). Через 6 мес. в области имплантата отмечено увеличение площади участков, лишённых заполнения, что соответствовало местам резорбции материала, особенно в половине, примыкающей к мягким тканям. Отмечена утрата четкости контуров имплантата, появление их сглаженности на фоне резорбции. В порах имплантата выявляли участки врастания костной ткани (рис. 3), максимальное количество которых отмечено в области костнозамещающего материала, примыкающего к костномозговому каналу. В динамике по сравнению с 3 мес. можно отметить увеличение прорастания кости в поры материала.

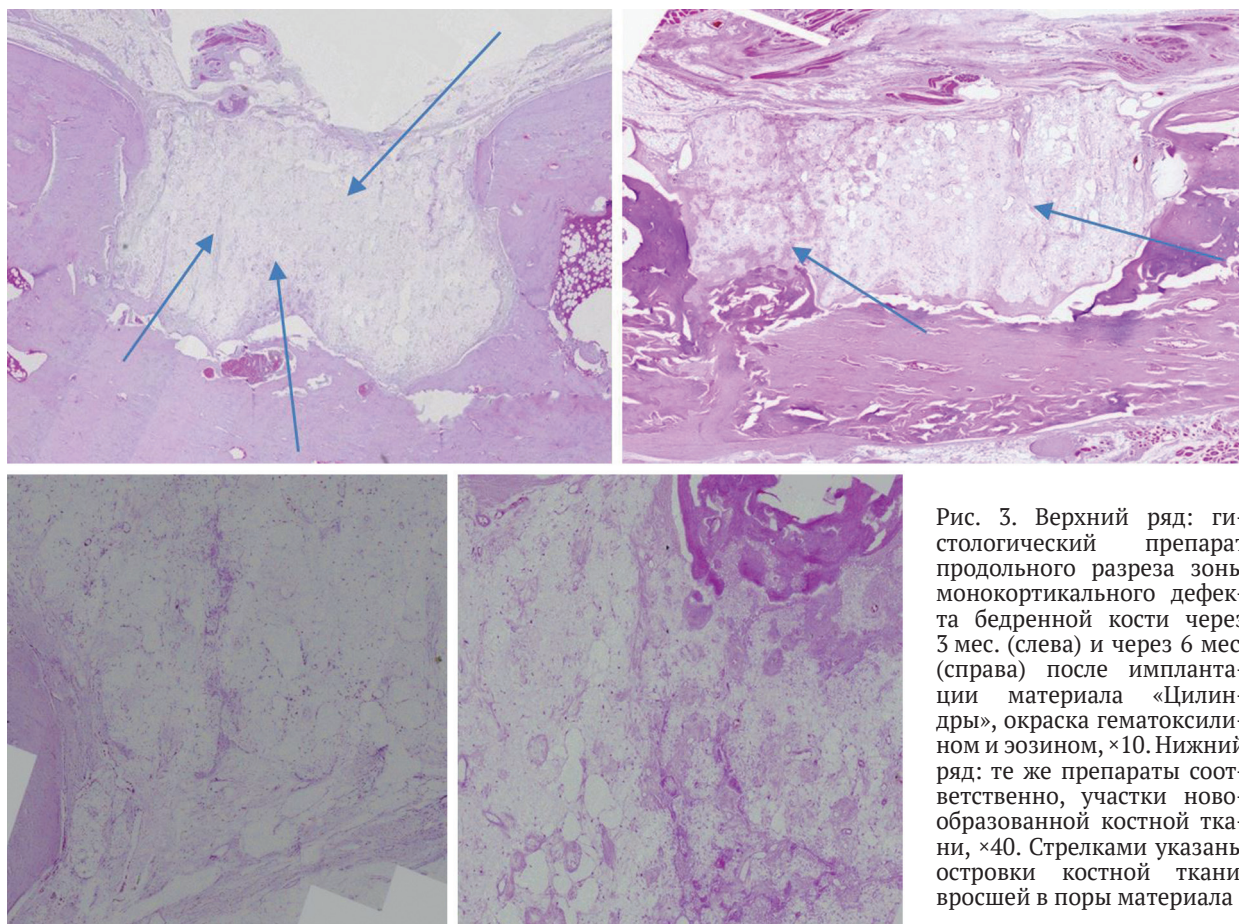


Рис. 3. Верхний ряд: гистологический препарат продольного разреза зоны монокортикального дефекта бедренной кости через 3 мес. (слева) и через 6 мес. (справа) после имплантации материала «Цилиндры», окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$. Нижний ряд: те же препараты соответственно, участки новообразованной костной ткани, $\times 40$. Стелками указаны островки костной ткани, вросшей в поры материала

В группе **Гироид** через 3 мес. в зоне дефекта отмечали зоны сохраненной структуры материала, представленные серыми полями с единичными клетками по периметру и крупными порами на месте резорбции материала. В имплантат врастала со стороны мягких тканей жировая и соединительная ткань, а со стороны кости — компактная костная ткань. Поры материала заполнены соединительной тканью с единичными врастаниями костной ткани. Со стороны костномозгового канала материал ограничен компактной костной тканью (рис. 4). Через 6 мес. в зоне дефекта можно было различить крупноячеистую сеть пустот, оставшуюся на месте материала после декальцинации. По всей площади среза отмечали прорастание костной ткани мелкими островками, повторяющими контуры пор (рис. 4).

В группе **Гироид-150 мкм** через 3 мес. отмечено врастание кости в поры между элементами материала, повторяющее архитектуру имплантата. В зоне, прилегающей к костномозговому каналу, отмечена массивная резорбция материала и замещение его зрелой костной тканью. Через 6 мес. отмечено врастание кости в поры материала, однако его резорбции не отмечено, поэтому статистически значимого различия в площади новообразованной костной ткани по сравнению с образцами через 3 мес. не выявлено (рис. 5).

В группе **Гироид-50 мкм** через 3 мес. четко прослеживается имплантированный материал с врастанием со стороны костномозгового канала островков костной ткани (рис. 6). Со стороны дефекта отмечено врастание в материал соединительной ткани.

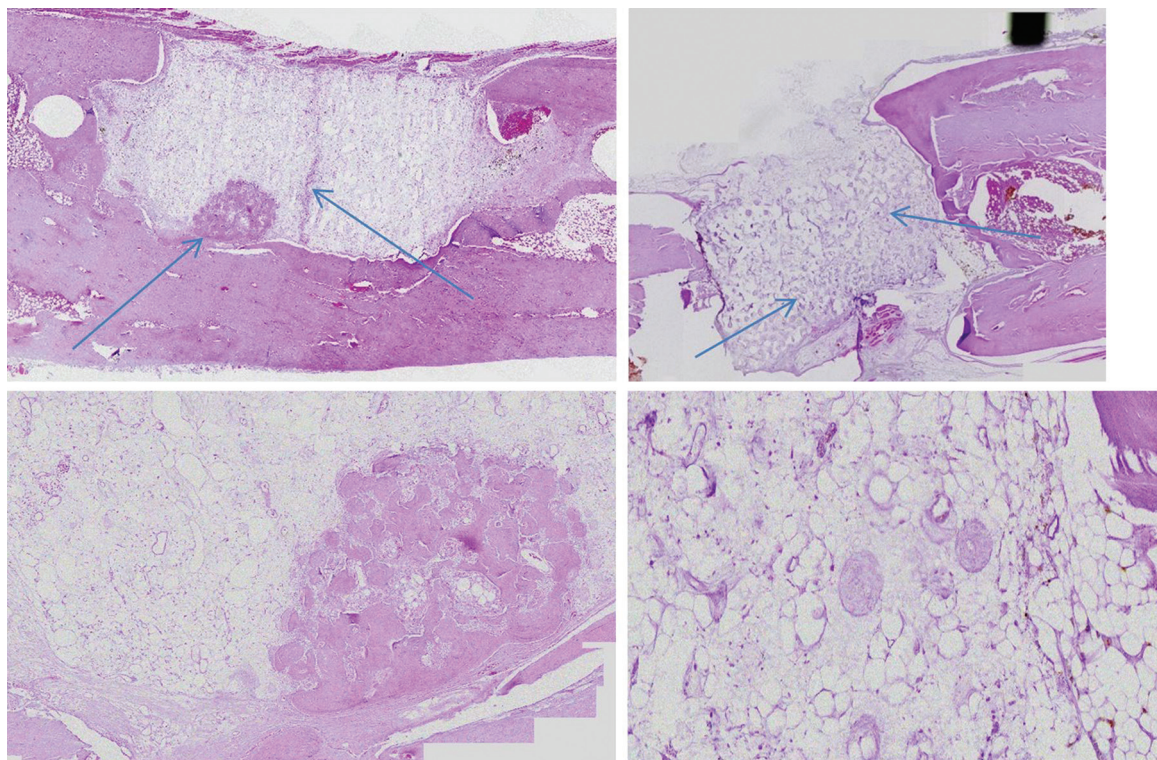


Рис. 4. Верхний ряд: гистологический препарат продольного разреза зоны монокортикального дефекта бедренной кости через 3 месяца (слева) и через 6 месяцев (справа) после имплантации материала Гироид, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$. Нижний ряд: те же препараты соответственно, участки новообразованной костной ткани, $\times 40$. Стрелками указаны очаги врастания костной ткани в имплант

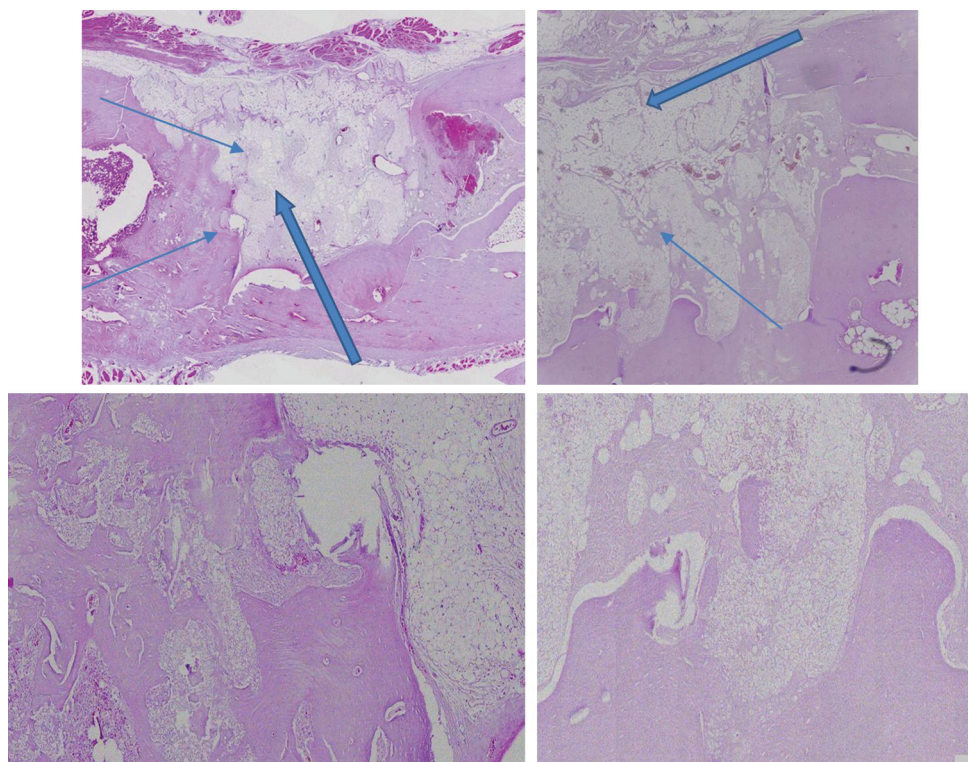


Рис. 5. Верхний ряд: гистологический препарат продольного разреза зоны монокортикального дефекта бедренной кости через 3 мес. (слева) и через 6 мес. (справа) после имплантации материала Гироид-150 мкм, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$. Нижний ряд: те же препараты соответственно, участки новообразованной костной ткани, $\times 40$. Тонкими стрелками указаны островки костной ткани, вросшей в поры материала, толстыми стрелками обозначены зоны материала

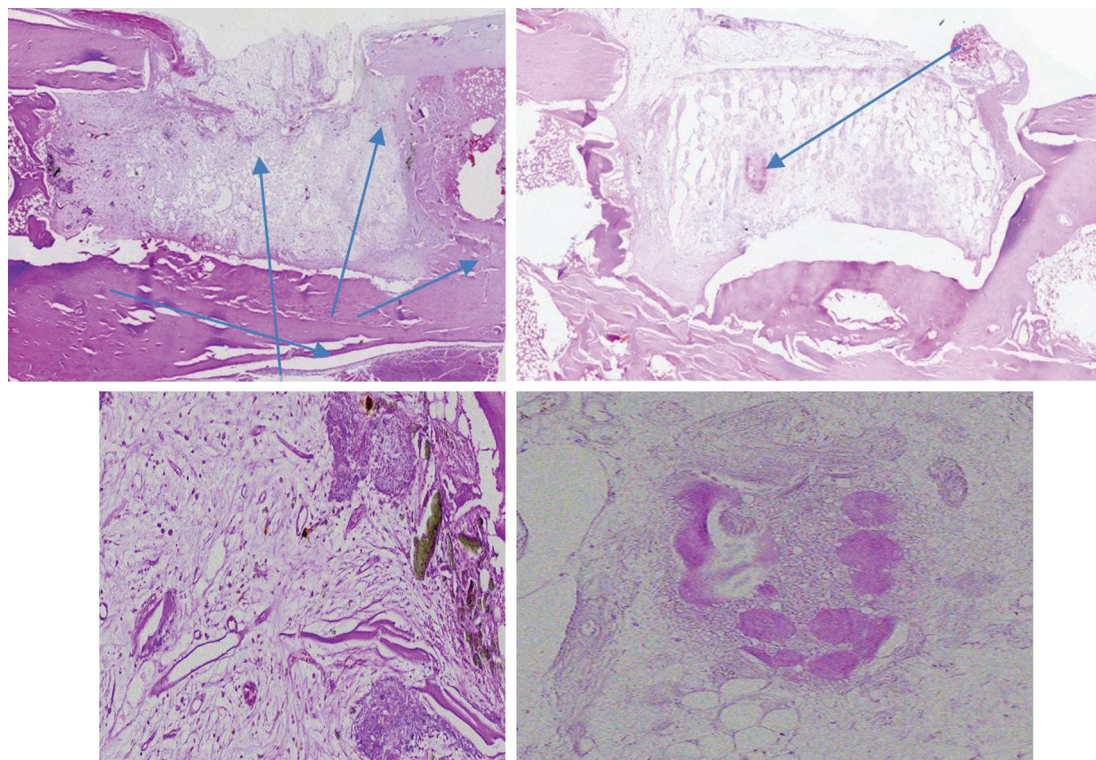


Рис. 6. Верхний ряд: гистологический препарат продольного разреза зоны монокортикального дефекта бедренной кости через 3 мес. (слева) и через 6 мес. (справа) после имплантации материала Гироид-50 мкм, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$. Нижний ряд: те же препараты соответственно, участки новообразованной костной ткани, $\times 40$. Тонкими стрелками указаны островки костной ткани, вросшей в поры материала

Через 6 мес. в группе Гироид-50 мкм в динамике отмечено увеличение числа и площади островков кости в толще имплантата, а также появление зон резорбции материала по всей толще в виде округлых пустот. Со стороны костномозгового канала отмечено обрастание имплантата костной тканью, соответствующей по структуре кортикальной кости (рис. 6).

Суммарные данные по площади новообразованной костной ткани представлены в таблице 2.

Таблица 2

Распределение величины площади новообразованной костной ткани в зоне дефекта по группам исследования — проценты к его общей площади, среднее $\pm$ выборочное стандартное отклонение

Группа	Площадь новообразованной костной ткани на момент вывода из эксперимента, %	
	через 3 месяца	через 6 месяцев
Цилиндры	11 ± 4	31 ± 6
Гироид	14 ± 5	29 ± 4
Гироид-50 мкм	17 ± 7	27 ± 8
Гироид-150 мкм	$39 \pm 5^*$	$41 \pm 7^*$

Примечание: значения, обозначенные знаком *, статистически значимо отличаются от значений в других группах для данного срока наблюдения, критерий Kruskal – Wallis, $p < 0,05$

В группе Гироид-150 мкм статистически значимо больше площадь новообразованной костной ткани по сравнению с остальными группами исследования. При этом следует отметить, что во всех остальных группах наблюдается прорастание кости внутрь материала с течением времени, что свидетельствует о наличии остеокондуктивных свойств у всех исследуемых материалов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Критические дефекты кости, не подвергающиеся самостоятельно репарации, составляют в настоящее время одну из серьезных проблем современной медицины. Возможности применения собственной кости, трупной кости и кости животных ограничены по разным причинам (ограничение количества, риск передачи инфекций, иммунные реакции), что делает создание синтетических костнозамещающих материалов перспективным направлением современной регенеративной медицины. Активно развивающиеся в последние 10 лет технологии 3D-печати значительно расши-

рили возможности создания материалов с заданной структурой, однако возникла проблема поиска наиболее эффективных образцов для замещения костной ткани, чему и посвящены многочисленные исследования последних лет.

Целью нашего исследования было установление влияния трехмерной организации пор на osteoconductive свойства костнозамещающего материала. Влияние структуры пористого материала на osteoconductive свойства созданных из них костнозамещающих блоков в последние годы широко обсуждается в литературе [27–31]. При этом признается, что небольшие поры облегчают адгезию клеток и их первичную дифференцировку, но затрудняют дальнейшее прорастание сосудов и ухудшают питание новообразованных тканей. Очень большие поры снижают механические свойства блоков материала, из-за чего возможно их преждевременное разрушение и нарушение врастания, что особенно важно при заполнении сегментарных дефектов диафиза костей [32]. Одним из направлений решения этой проблемы является создание в одном образце пор различного диаметра, позволяющих добиться высокой пористости при сохранении механических свойств материала, чему и посвящена наша работа.

Выбор архитектуры Гироид обусловлен как предшествующими нашими работами, так и результатами исследований, показывающими теоретические преимущества этой архитектуры для процесса миграции клеток. Например, в статье S. Seehanam et al. [33] проведено сравнение структур Гироид и Diamond по различным биомеханическим параметрам и способности стимулировать рост клеток, в результате чего сделан вывод о преимуществе архитектуры Гироид с размером основных пор 500 мкм.

Результаты применения материалов *in vivo* в нашем исследовании сопоставимы с работами других исследователей. Так, в статье R. Wu et al. [34] проведено сравнение osteoconductive свойств керамического материала на основе Mg-замещенного валлостонита с диаметром пор 200, 320, 450 и 600 мкм и кубической структурой ячеек на модели критического дефекта мыщелка бедренной кости кролика на сроках от 2 до 16 нед. При этом группа Цилиндры нашего исследования соответствовала материалу с размерами пор 320 мкм, а группа Гироид — размеру пор более 600 мкм. Также как и в исследовании указанных выше авторов, лучшие osteoconductive и osteoinductive свойства показали структуры с большим диаметром пор. Количество образованной костной ткани для материала с порами 400 и 600 мкм в сроки около 3–4 мес. (30–35 %) соответствуют группе Гироид с дополнительной модой пор 150 мкм [34]. При этом авторы данной работы использовали дефект в губчатой кости метаэпифиза бедренной кости вблизи от зоны красного костного мозга, в отличие от нашей работы, где дефект располагали в диафизарной зоне. Спецификой нашего исследования стало использование структуры типа Гироид с добавлением еще одного уровня пор, который при диаметре 150 мкм показал достоверно значимое увеличение прорастания костной ткани внутрь материала.

X. Wang et al. [35] показали положительные результаты увеличения пористости материала на основе трикальцийфосфата в виде увеличения образования костной ткани на срезах на уровне середины материала. Однако моделью в работе был дефект костей свода черепа с мембранозным костеобразованием, а сам материал получен путем вспенивания смеси порошка трикальцийфосфата, то есть без четкой 3D-организации пор. Большие продольные поры 1 мм в диаметре образованы путем высверливания в исходном блоке, исходные поры были диаметром 550 мкм, общая пористость составляла 80 %. Толщина блока была всего 1,5 мм, а диаметр — 8 мм. Авторы сообщают об уровне образования костной ткани в материале до 40–50 % через 3 мес., однако участки костной ткани повторяли размеры пор, а различия между блоками с порами и непористым материалом были только в средней части.

H.K. Lim et al. [36] изучали керамические материалы на основе гидроксиапатита и трикальциевого фосфата на модели костного дефекта черепа кролика на сроках 4 и 8 нед. В материале были только крупные основные поры размерами от 0,8 до 1,4 мм с шагом 0,2 мм без дополнительного сообщения между ними. Авторы сообщают о разрастании костной ткани к двум месяцам только до 10 %, при этом отмечают, что на данном сроке размер пор уже не влияет на количество образованной костной ткани. По сравнению с нашей работой, авторы применили меньшие сроки наблюдения, простую форму решетки и отсутствие пор в материалах, а также модель дефекта черепа, что, вероятно, и обусловило худшие гистологические результаты.

K. Shibahara et al. [37] также изучали влияние микропор на osteoconductive свойства керамического костнозамещающего материала (в работе карбонатзамещенный апатит). Однако размер основных пор был значительно меньше (около 300 мкм), их структура линейная («сотовое» расположение), а микропоры размером около 1 мкм расположены хаотично. Данный материал соответствует архитектуре Цилиндры в нашем исследовании. Свойства *in vivo* проверяли на модели дефекта локтевой кости кролика с дополнительной фиксацией пластиной и винтами на сроках 1 и 4 мес. Площадь новообразованной костной ткани даже через 4 мес. в группе с большими порами и большими микропорами составила всего 12 %, в группах с меньшими размерами пор этот показатель был менее 10 %, что сопоставимо

с нашими результатами в группе Цилиндры. Это говорит о необходимости создания в материале основной группы пор диаметром больше 1 мм для более быстрого вставания тканей, а модификация должна проводиться уже в соединениях пор и микропорах, которые создают необходимые условия для дифференцировки клеток и ускоряют процесс резорбции костнозамещающего материала.

J. Jiao et al. [32] изучали влияние пористости (60, 70 и 80 %) костнозамещающего материала из тантала на его остеокондуктивные свойства. Размер основных пор был соответственно 450, 600 и 800 мкм, а соединения между ними — 100 мкм. 3D-структуру авторы описали как бионическую трабекулярную, соответствующую структуре нативной губчатой кости. Для изучения свойств *in vivo* использовали модель некротического метафизарного дефекта наружного мыщелка бедренной кости крысы размерами 3 мм в диаметре и 5 мм в глубину на сроках 6 и 12 нед. после имплантации. Авторы сообщают о площади новообразованной костной ткани через 12 нед. в группах с пористостью 60, 70 и 80 % соответственно 14,3 %, 28,6 %, и 23,3 %, что уступает результатам в группе Гироид — 150 мкм через 3 мес., однако больше, чем площадь новообразованной костной ткани в других группах. Объяснение этому факту лежит в большей общей пористости нашего материала (около 85 %) и более сложной структуре пор, что оказывает принципиальное влияние на остеокондуктивные свойства материала. Особенностью материалов из металлов (титан, тантал и их сплавы) является невозможность его резорбции и сохранение постоянного размера пор в течение всего времени остеоинтеграции.

Мы согласны с авторами, считающими, что в настоящее время нет единых подходов к изучению костнозамещающих материалов на животных моделях, это очень сильно затрудняет сравнение результатов и выработку рекомендаций для клинической практики [32].

В результате нашего исследования можно сделать вывод о положительном влиянии выбора структуры Гироид с большим диаметром основных пор (более 1 мм) и добавления при печати в структуру материала дополнительных соединительных каналов средним диаметром 150 мкм. Это позволяет достоверно увеличить количество новообразованной костной ткани и, соответственно, улучшить остеокондуктивные свойства костнозамещающего материала на основе керамики. Причиной данного явления может быть влияние поверхности пор с определенной кривизной на дифференциацию прогениторных клеток по остеобластическому пути, что отражается в большем количестве врастающей костной ткани. Однако отсутствие нарастания количества новообразованной костной ткани при сравнении сроков наблюдения в 3 и 6 мес. говорит о недостаточной способности к резорбции выбранного вещества (трикальцийфосфат), поскольку максимум прорастания достигается уже на ранних сроках и в дальнейшем ограничивается именно сохранением материала в объеме дефекта. Таким образом, пути дальнейшего повышения остеокондуктивных свойств лежат не только в оптимизации архитектуры материала, но и в выборе для его построения вещества с большей способностью к резорбции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Добавление в структуру керамических материалов на основании трикальцийфосфата Гироида дополнительной моды пор до 150 мкм в диаметре позволяет статистически значимо увеличить количество новообразованной костной ткани и улучшить остеокондуктивные свойства материала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта РНФ 20-79-10210. Результаты, представленные в работе, получены на оборудовании, приобретённом за счет средств Программы развития Московского университета.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Farhan YAA, Abdelsameea SE, Elgamily M, Awad S. Impact of Different Preparations of Tooth Graft vs Xenogeneic Bone Graft on Bone Healing: An Experimental Study. *J Contemp Dent Pract.* 2022;23(11):1163-1172. doi: 10.5005/jp-journals-10024-3438.
2. Яриков А.В., Горбатов Р.О., Денисов А.А. и др. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии. *Клиническая практика.* 2021;12(1):90-104. doi: 10.17816/clinpract64944.
3. Каралкин П.А., Сергеева Н.С., Комлев В.С. и др. Бактериостатические свойства костнозамещающих конструкторов, полученных методом 3D-печати из композиционных материалов на основе природных полимеров, фосфатов кальция и ванкомицина. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2017;24(2):48-56. doi: 10.17816/vto201724248-56.
4. Хомянец В.В., Воробьев К.А., Соколова М.О. и др. Аллогенные остеопластические материалы для реконструктивной хирургии боевых травм. *Известия Российской военно-медицинской академии.* 2022;41(3):309-314. doi: 10.17816/rmmar109090.
5. Hong YR, Kim TH, Lee K, et al. Bioactive Bone Substitute in a Rabbit Ulna Model: Preclinical Study. *Tissue Eng Regen Med.* 2023;20(7):1205-1217. doi: 10.1007/s13770-023-00591-4.
6. Tomas M, Karl M, Čandrlić M, et al. A Histologic, Histomorphometric, and Immunohistochemical Evaluation of Anorganic Bovine Bone and Injectable Biphasic Calcium Phosphate in Humans: A Randomized Clinical Trial. *Int J Mol Sci.* 2023;24(6):5539. doi: 10.3390/ijms24065539.
7. Suzuki O, Hamai R, Sakai S. The material design of octacalcium phosphate bone substitute: increased dissolution and osteogenicity. *Acta Biomater.* 2023;158:1-11. doi: 10.1016/j.actbio.2022.12.046.
8. Климентьев А.А., Набока В.А. Биологические характеристики биодеградируемого материала на основе фиброина шелка для замещения костной ткани. *Медицина теория и практика.* 2021;6(3):28-36.
9. Попков А.В., Стогов М.В., Горбач Е.Н. и др. Гидролиз костнозамещающих материалов на основе полимолочной кислоты с добавлением гидроксиапатита в эксперименте *in vitro*. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2022;174(7):114-118.

10. Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Толстикова Т.Г., Кирилова И.А. Замещение костных дефектов тканеинженерной конструкцией на основе депротеинизированной губчатой кости: экспериментальное исследование. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):602-608. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-602-608. EDN: FYLP0S.
11. Vasileva R, Chaprazov T. Bone Healing of Critical-Sized Femoral Defects in Rats Treated with Erythropoietin Alone or in Combination with Xenograft. *Vet Sci*. 2023;10(3):196. doi: 10.3390/vetsci10030196.
12. Guerrero J, Maevskaia E, Ghayor C, et al. Influence of Scaffold Microarchitecture on Angiogenesis and Regulation of Cell Differentiation during the Early Phase of Bone Healing: A Transcriptomics and Histological Analysis. *Int J Mol Sci*. 2023;24(6):6000. doi: 10.3390/ijms24066000.
13. Putra NE, Leeflang MA, Klimopoulou M, et al. Extrusion-based 3D printing of biodegradable, osteogenic, paramagnetic, and porous FeMn-akermanite bone substitutes. *Acta Biomater*. 2023;162:182-198. doi: 10.1016/j.actbio.2023.03.033.
14. Yung WTB, Koo SCJJ, Mak CKM, et al. Clinical and Radiological Outcome of Osteoscopic-Assisted Treatment of Enchondroma in Hand with Artificial Bone Substitute or Bone Graft: A 7-Year Case Series and Literature Review. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2023;28(2):214-224. doi: 10.1142/S2424855523500236.
15. Дробышев А.Ю., Редько Н.А., Свиридов Е.Г., Деев Р.В. Особенности регенерации костной ткани альвеолярного гребня челюстей при применении материала на основе гидроксиапатита. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):9-18. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-9-18.
16. Щербаков И.М., Климашина Е.С., Евдокимов П.В. и др. Оценка свойств костнозамещающих материалов на основе полиэтиленгликоль диакрилата и октакальциевого фосфата на модели монокортикального дефекта бедренной кости крысы : экспериментальное исследование. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):25-35. doi: 10.17816/2311-2905-2023.
17. Стогов М.В., Киреева Е.А., Дубиненко Г.Е., Твердохлебов С.И. Изучение скорости деградации материала состава полилактид/гидроксиапатит в зависимости от кристалличности структуры полимера. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):591-595. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-591-595.
18. Хелминская Н.М., Эттингер А.П., Кравец В.И. и др. Сравнительная оценка регенерации костной ткани при ограниченных дефектах теменной кости (экспериментальное исследование на моделях животных). *Российский медицинский журнал*. 2018;24(4):180-184. doi: 10.18821/0869-2106-2018-24-4-180-184.
19. Попков А.В., Горбач Е.С., Горбач Е.Н. и др. Применение биоактивного биодеградируемого имплантата из поликапролактона для лечения остеохондральных дефектов: экспериментальное исследование. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):615-628. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-615-628.
20. Рождественский А.А., Дзюба Г.Г., Ерофеев С.А. и др. Влияние синтетических имплантатов на основе фосфатов и силикатов кальция на процессы репаративной регенерации костной ткани. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2023;3:25-30. doi: 10.17513/mjpf.13517.
21. Yano M, Yasui K, Jo JJ, et al. Carbonate apatite versus β -tricalcium phosphate for rat vertical bone augmentation: A comparison of bioresorbable bone substitutes using polytetrafluoroethylene tubes. *Dent Mater J*. 2023;42(6):851-859. doi: 10.4012/dmj.2023-112.
22. Дубров В.Э., Климашина Е.С., Щербаков И.М. и др. Возможности получения и применения биоматериалов на основе гидрогелей для регенерации костной ткани человека. *Вестник трансплантологии и внутренних органов*. 2019;21(3):141-150. doi: 10.15825/1995-1191-2019-3-141-150.
23. Wen J, Song M, Zeng Y, Dong X. Effect of different HA/ β -TCP coated 3D printed bioceramic scaffolds on repairing large bone defects in rabbits. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2023;31(3):10225536231222121. doi: 10.1177/10225536231222121.
24. Li Y, Xiao Y, Liu C. The Horizon of Materiobiology: A Perspective on Material-Guided Cell Behaviors and Tissue Engineering. *Chem Rev*. 2017;117(5):4376-4421. doi: 10.1021/acs.chemrev.6b00654.
25. Евдокимов П.В., Тихонова С.А., Киселева А.К. и др. Влияние размера пор на биологическую активность резорбируемых макропористых керамических материалов на основе β -Ca₃(PO₄)₂, полученных методом фотополимеризации. *Журнал неорганической химии*. 2021;66(11):1507-1513. doi: 10.31857/S0044457X21110064.
26. Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods*. 2012;9(7):676-682. doi: 10.1038/nmeth.2019.
27. Yang Y, Wang G, Liang H, et al. Additive manufacturing of bone scaffolds. *Int J Bioprint*. 2018;5(1):148. doi: 10.18063/IJB.v5i1.148.
28. Chen H, Han Q, Wang C, et al. Porous Scaffold Design for Additive Manufacturing in Orthopedics: A Review. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020;8:609. doi: 10.3389/fbioe.2020.00609.
29. García-Lamas L, Sánchez-Salcedo S, Jiménez-Díaz V, et al. Desing and comparison of bone substitutes. Study of in vivo behavior in a rabbit model. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2023;67(4):324-333. doi: 10.1016/j.recot.2022.12.002.
30. Анастасиева Е.А., Черданцева Л.А., Медведчиков А.Е. и др. Восстановление рентгеновской плотности кости при замещении дефектов кортикальной пластины тканеинженерной конструкцией в эксперименте. *Acta Biomedica Scientifica*. 2023;8(5):235-243. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.25.
31. Kim NH, Yang BE, On SW, et al. Customized three-dimensional printed ceramic bone grafts for osseous defects: a prospective randomized study. *Sci Rep*. 2024;14(1):3397. doi: 10.1038/s41598-024-53686-w.
32. Jiao J, Hong Q, Zhang D, et al. Influence of porosity on osteogenesis, bone growth and osteointegration in trabecular tantalum scaffolds fabricated by additive manufacturing. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1117954. doi: 10.3389/fbioe.2023.1117954.
33. Seehanam S, Khrueaduangkham S, Sinthuvanich C, et al. Evaluating the effect of pore size for 3d-printed bone scaffolds. *Heliyon*. 2024;10(4):e26005. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26005.
34. Wu R, Li Y, Shen M, et al. Bone tissue regeneration: The role of finely tuned pore architecture of bioactive scaffolds before clinical translation. *Bioact Mater*. 2020;6(5):1242-1254. doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.11.003.
35. Wang X, Nie Z, Chang J, et al. Multiple channels with interconnected pores in a bioceramic scaffold promote bone tissue formation. *Sci Rep*. 2021;11(1):20447. doi: 10.1038/s41598-021-00024-z.
36. Lim HK, Hong SJ, Byeon SJ, et al. 3D-Printed Ceramic Bone Scaffolds with Variable Pore Architectures. *Int J Mol Sci*. 2020;21(18):6942. doi: 10.3390/ijms21186942.
37. Shibahara K, Hayashi K, Nakashima Y, Ishikawa K. Effects of Channels and Micropores in Honeycomb Scaffolds on the Reconstruction of Segmental Bone Defects. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:825831. doi: 10.3389/fbioe.2022.825831.

Статья поступила 18.03.2024; одобрена после рецензирования 06.12.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 06.12.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Иван Михайлович Щербаков — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, imscherbackov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5487-9039>;

Павел Владимирович Евдокимов — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ассистент кафедры, pavel.evdokimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4398-054X>;

Дмитрий Сергеевич Ларионов — младший научный сотрудник, dmiselar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4499-9341>;
Валерий Иванович Путляев — кандидат химических наук, доцент кафедры, valery.putlayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7601-6787>;
Георгий Александрович Шипунов — аспирант кафедры, shipunovgeorge@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4495-7050>;
Наталья Владимировна Данилова — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, старший научный сотрудник, natalyadanilova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6707>;
Анастасия Юрьевна Ефименко — кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией, AEfimenko@mc.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0696-1369>;
Екатерина Сергеевна Новоселецкая — лаборант-исследователь, kuznecova2793@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0922-9157>;
Вадим Эрикович Дубров — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой, vduort@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>.

Information about the authors:

Ivan M. Shcherbakov — Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor, imshcherbakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5487-9039>;
Pavel V. Evdokimov — Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Assistant Professor, pavel.evdokimov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4398-054X>;
Dmitriy S. Larionov — Junior Researcher, dmiselar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4499-9341>;
Valeriy I. Putlayev — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, valery.putlayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7601-6787>;
Georgiy A. Shipunov — postgraduate student, shipunovgeorge@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4495-7050>;
Nataliya V. Danilova — Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department, Senior Researcher, natalyadanilova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6707>;
Anastasiya Yu. Efimenko — Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory, AEfimenko@mc.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0696-1369>;
Ekaterina S. Novoseletskaia — laboratory assistant-researcher, kuznecova2793@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0922-9157>;
Vadim E. Dubrov — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, vduort@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>.

Научная статья

УДК 004.8:616.718.4/.6-001.58:616-056.7

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-237-244>

Прогнозирование нарушения консолидации переломов длинных костей конечностей с помощью нейросетевого анализа

А.М. Миromanов✉, К.А. Гусев, А.Н. Старосельников, В.А. Мудров

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Михайлович Миromanов, miromanov_a@mail.ru

Аннотация

Введение. Нарушение репаративной регенерации костной ткани у пациентов с переломами является наиболее частым осложнением, в патогенезе которого ведущую роль играют иммуногенетические механизмы. Поиском «идеального» диагностического маркера занимаются многие исследователи. С этой целью все чаще используются нейросети, которые позволяют осуществлять не только прогноз различных патологических состояний, но и определяют достоверные варианты профилактики и лечения.

Цель работы — оценить эффективность прогнозирования нарушения консолидации переломов длинных костей конечностей с помощью нейросетевого анализа данных.

Материалы и методы. Обследовано 108 пациентов молодого возраста (по ВОЗ) с переломами длинных костей нижних конечностей. Группа клинического сравнения — 62 пациента без осложнений в возрасте 34,5 лет [18; 44]. Основная группа — 46 пациентов аналогичного возраста (36 [18; 44]) с развитием замедленной консолидации. Группа контроля — 92 практически здоровых человека. Критерии невключения: любые сопутствующие заболевания, другая локализация и характер травм, алкоголизм, недостаточное сопоставление костных отломков при репозиции, повторные операции. Исключены пациенты, получавшие антирезорбтивную терапию и препараты кальция на догоспитальном этапе. Лабораторные (генетические) исследования включали определение носительства полиморфных молекул *TNFRSF11B-1181(G>C)*, *IL6-174(C>G)*, *TGFβ₁-25(Arg>Pro)*, *EGFR-2073(A>T)* и *VDR(BsmI283G>A)*. Амплификацию осуществляли с помощью наборов праймеров «Литех» — «SNP» (Россия). Оценку риска развития замедленной консолидации выполняли в программе SPSS Statistics Version 25.0 (модуль Neural Networks). Прогностические характеристики нейронной сети оценивали с помощью ROC-анализа.

Результаты. При определении важности независимой переменной отмечена следующая градация: полиморфизм гена *TGFβ₁-25(Arg>Pro)* — 100 %; полиморфизм гена *TNFRSF11B-1181(G>C)* — 97,1 %, полиморфизм гена *VDR-BsmI283(G>A)* — 34,7 %; полиморфизм гена *IL6-174(C>G)* — 31,5 %; полиморфизм гена *EGFR-2073(A>T)* — 15,3 %. Процент неверных предсказаний составил — 8,3 %. Площадь под кривой ROC-анализа (англ.: area under curve, AUC) = 0,91[0,85–0,98], $p < 0,001$. Специфичность полученной модели — 0,95 %, чувствительность — 0,87 %, точность — 91,7 %.

Обсуждение. В настоящее время использование подобных технологических решений в практике ограничено отсутствием универсального программного обеспечения и начальными этапами цифровизации медицинской сферы. В ближайшем будущем при развитии исследований генетической предрасположенности к различным заболеваниям/осложнениям данная технология, на наш взгляд, будет иметь широкое распространение.

Заключение. Применение нейронной сети для прогнозирования замедленной консолидации переломов с использованием данных носительства определенных полиморфизмов генов оказалось достаточно эффективным, поскольку обладает высокой степенью точности (91,7 %), что свидетельствует о перспективности внедрения нейросетевого анализа в травматологию и ортопедию.

Ключевые слова: нарушение консолидации, генетические маркеры, полиморфизм, нейросетевой анализ, нейронная сеть

Для цитирования: Миromanов А.М., Гусев К.А., Старосельников А.Н., Мудров В.А. Прогнозирование нарушения консолидации переломов длинных костей конечностей с помощью нейросетевого анализа. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):237–244. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-237-244.



Prediction of impaired consolidation of limb long-bone fractures using neural network analysis

A.M. Miromanov✉, K.A. Gusev, A.N. Staroselnikov, V.A. Mudrov

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

Corresponding author: Alexander M. Miromanov, miromanov_a@mail.ru

Abstract

Introduction Impaired reparative regeneration in patients with fractures is the most common complication; immunogenetic mechanisms play a leading role in its pathogenesis. Many researchers are engaged in the search for an "ideal" diagnostic marker. For this purpose, neural networks have been increasingly used, which allow not only to predict various pathological conditions but also to determine reliable options for prevention and treatment.

The **purpose** of the study was to evaluate the effectiveness of predicting impaired consolidation of long-bone fractures of the extremities using the neural network data analysis.

Material and methods We examined 108 young patients (WHO classification) with fractures of lower limb long bones. The clinical comparison group consisted of 62 patients without complications at the age of 34.5 [18; 44] years. The study group included 46 patients of similar age (36 [18; 44]) years and gender with delayed consolidation. The control group included 92 practically healthy individuals. Exclusion criteria from the study were any concomitant disease, other location and nature of injuries, alcoholism, as well as inaccurate reduction of bone fragments, and repeated operations. Patients who received antiresorption therapy and calcium supplements in the prehospital stage were also excluded. Laboratory (genetic) studies included determination of carriage of polymorphic molecules — *TNFRSF11B-1181(G>C)*, *IL6-174(C>G)*, *TGFβ1-25(Arg>Pro)*, *EGFR-2073(A>T)* and *VDR(BsmI283G>A)*. Amplification was carried out using primer sets Litekh-SNP (Russia). The risk of developing delayed consolidation was assessed using SPSS Statistics Version 25.0 (Neural Networks module). The predictive performance of the neural network was assessed using ROC analysis.

Results For determining the importance of the independent variable, the following gradation was noted: *TGFβ1-25(Arg>Pro)* gene polymorphism — 100 %; gene polymorphism *TNFRSF11B-1181(G>C)* — 97.1 %, gene polymorphism *VDR-BsmI283(G>A)* — 34.7 %; *IL6-174(C>G)* gene polymorphism — 31.5 %; polymorphism of the *EGFR-2073(A>T)* gene — 15.3 %. The percentage of incorrect predictions was 8.3 %. Area under the curve of ROC analysis (AUC) = 0.91[0.85–0.98], $p < 0.001$. The specificity of the resulting model is 0.95 %, sensitivity is 0.87 %, accuracy is 91.7 %.

Conclusion The use of the neural network for predicting delayed consolidation of fractures using data on the carriage of certain gene polymorphisms has a sufficient degree of accuracy (91.7 %), which indicates that the introduction of the neural network analysis into practical medicine is promising.

Keywords: consolidation disorder, genetic markers, polymorphism, neural network analysis, neural network

For citation: Miromanov AM, Gusev KA, Staroselnikov AN, Mudrov VA. Prediction of impaired consolidation of limb long-bone fractures using neural network analysis. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):237-244. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-237-244.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на достижения в хирургическом лечении пострадавших с травмами опорно-двигательной системы, процессы замедленной репарации костной ткани регистрируются достаточно часто, и около 10 % переломов завершаются несращением [1, 2, 3]. По-прежнему остается открытым вопрос возникновения нарушения репаративной регенерации у пациентов без системных и местных факторов риска. В настоящее время проведены исследования, указывающие на ведущую роль иммуногенетики человека при данном осложнении, а определенные варианты носительства полиморфных генов и их аномальная экспрессия могут являться решающими в механизме нарушения консолидации [4, 5, 6, 7]. Однако диапазон подобных изысканий по-прежнему не столь широк и требует дальнейшего изучения.

В современном мире отмечается возрастание роли инновационных технологий анализа получаемых данных. Использование нейросетей и искусственного интеллекта (ИИ) в современном здравоохранении позволяет решать многие задачи, в частности, осуществлять не только прогнозирование различных заболеваний/осложнений, но и определять достоверные варианты профилактики и лечения данных патологических состояний [8, 9, 10].

Цель работы — оценить эффективность прогнозирования нарушения консолидации переломов длинных костей конечностей с помощью нейросетевого анализа данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе с обследуемыми лицами соблюдены этические принципы, предъявляемые Хельсинкской Декларацией Всемирной Медицинской Ассоциации (поправки 1964, 2011 гг.).

Данная статья подготовлена в рамках комплексной научно-исследовательской работы РК 034(02, 03), регистрационный номер АААА-А16-116063010015-6.

Обследовано 108 пациентов молодого возраста (по ВОЗ) с переломами длинных костей нижних конечностей. Группу клинического сравнения составили 62 пациента без осложнений в возрасте 34,5 лет [18; 44], основную группу — 46 пациентов аналогичного возраста (36 [18; 44]) с развитием замедленной консолидации, в группу контроля включены 92 практически здоровых человека, сопоставимых по возрасту (35,0 [18; 44]) и полу.

Критериями невключения в исследование являлись любые сопутствующие заболевания, другая локализация и характер травм, алкоголизм, а также недостаточное сопоставление костных отломков при репозиции и повторные операции. Также исключены пациенты, получавшие антирезорбтивную терапию и препараты кальция на догоспитальном этапе.

Диагноз замедленной консолидации выставляли на основании шкалы оценки признаков консолидации RUST [11] и рентгенологических критериев, описанных в клинических рекомендациях. Лечение пациентов осуществляли в соответствии с клиническими рекомендациями, утвержденными Минздравом России (Переломы бедренной кости (кроме проксимального отдела бедренной кости), 2021; Переломы костей голени, 2021).

Материалом для молекулярно-генетического анализа служили образцы ДНК, выделенные из лейкоцитов периферической крови исследуемых. Для исследования SNV (*англ.*: Single Nucleotide Variant — однонуклеотидный полиморфизм) выбраны точковые мутации рецептора тумор некротического фактора (TNFRSF11B) в позиции 1181 (G>C), интерлейкина-6 (IL6) в позиции 174 (C>G), трансформирующего фактора роста β_1 (TGF β_1) в позиции 25 (Arg>Pro), рецептора эпидермального фактора роста (EGFR) в позиции 2073 (A>T) и витамина D (VDR) (BsmI 283G>A). Амплификацию фрагментов генов выполняли в термоцикле модели «Бис» — M111 (ООО «Бис-Н», Новосибирск). В работе использовали наборы праймеров «Литех» — «SNP» (Россия). Визуализация продуктов амплификации выполнена с помощью электрофореза в 3 % агарозном геле с добавлением бромистого этидия в проходящем ультрафиолетовом свете. Полученные результаты трактовали согласно инструкциям фирмы производителя.

Оценку риска развития замедленной консолидации выполняли с помощью программы SPSS Statistics Version 25.0 (модуль Neural Networks). Прогностические характеристики нейронной сети оценивали с помощью ROC-анализа. При проведении статистического анализа авторы руководствовались принципами Международного комитета редакторов медицинских журналов (ICMJE) и рекомендациями «Статистический анализ и методы в публикуемой литературе» (SAMPL) [12].

Для проверки значимости различий количественных параметров между группами применяли методы описательной статистики и ряд непараметрических критериев. Закон распределения признаков с учетом численности групп оценивали при помощи критерия Шапиро – Уилка. Анализ различий количественных параметров исследуемых выборок проводили с помощью U-критерия Манна – Уитни. Качественные данные описывали с указанием абсолютных (*n*) и относительных (%) значений.

Для сравнения номинальных данных двух групп исследования использовали критерий χ^2 Пирсона. Если количество ожидаемых наблюдений было менее 10, для сравнения использовали критерий χ^2 Пирсона с поправкой Йейтса на непрерывность, если менее 5 — точный критерий Фишера. Статистически значимым считали значение $p < 0,05$ [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В модели прогноза использованы только генотипы исследуемых полиморфизмов генов (*TNFRSF11B*, *IL6*, *TGF β_1* , *EGFR*, *VDR*) (табл. 1, 2).

При анализе частоты носительства генотипов SNV у пациентов с замедленной консолидацией отмечено преобладание мутантного генотипа гена *IL6*(C174G), *TGF β_1* (A25P), *EGFR*(A2073T) и *VDR* (BsmI G>A) над группой клинического сравнения в 2,1, 10,1, 5,1 и 3,1 раза соответственно. Напротив, при определении частоты распределения генотипа полиморфизма гена *TNFRSF11B*(G1181C) в группе с замедленной консолидацией выявлено значимое преобладание нормального гомозиготного варианта в сравнении с первой группой в 4,3 раза (табл. 1, 2).

Таблица 1

Частота носительства исследуемых SNV
среди здоровых лиц и групп пациентов с переломами длинных костей

Генотип		Группа контроля (n = 92)	Группа клинического сравнения (n = 62)	Основная группа (n = 46)
<i>TNFRSF11B</i> -1181G>C	Генотип GG OR [95 % CI]	0,511	0,161 0,18 [0,08–0,41]	0,696 2,19 [1,03–4,63]
	Генотип GC OR [95 % CI]	0,326	0,452 1,7 [0,88–3,30]	0,196 0,5 [0,22–1,17]
	Генотип CC OR [95 % CI]	0,326	0,387 3,24 [1,53–6,88]	0,109 0,63 [0,21–1,84]
	χ^2 p		21,12 < 0,001	4,3 0,12
<i>IL6</i> -174C>G	Генотип CC OR [95 % CI]	0,326	0,323 0,98 [0,49–1,96]	0,174 0,44 [0,18–1,05]
	Генотип CG OR [95 % CI]	0,467	0,468 1,00 [0,53–1,91]	0,391 0,37 [0,36–1,5]
	Генотип GG OR [95 % CI]	0,207	0,210 1,02 [0,46–2,25]	0,435 2,96 [1,37–6,39]
	χ^2 p		0,00 1	8,63 0,01
<i>TGFβ_1</i> -25Arg>Pro	Генотип ArgArg OR [95 % CI]	0,630	0,581 0,81 [0,42–1,57]	0,282 0,23 [0,11–0,5]
	Генотип ArgPro OR [95 % CI]	0,240	0,371 1,88 [0,93–3,79]	0,196 0,77 [0,32–1,85]
	Генотип ProPro OR [95 % CI]	0,130	0,048 0,34 [0,09–1,26]	0,522 7,27 [3,14–16,82]
	χ^2 p		4,91 0,09	25,47 < 0,001
<i>EGFR</i> -2073A>T	Генотип AA OR [95 % CI]	0,315	0,306 0,96 [0,48–1,93]	0,13 0,33 [0,12–0,85]
	Генотип AT OR [95 % CI]	0,598	0,597 1,00 [0,52–1,92]	0,37 0,39 [0,19–0,82]
	Генотип TT OR [95 % CI]	0,087	0,097 1,13 [0,37–3,42]	0,5 10,5 [4,15–26,54]
	χ^2 p		0,05 0,98	30,48 < 0,001
<i>VDR</i> -BsmI283G>A	Генотип GG OR [95 % CI]	0,359	0,468 1,57 [0,82–3,03]	0,196 0,43 [0,19–1,01]
	Генотип GA OR [95 % CI]	0,446	0,435 0,96 [0,5–1,84]	0,5 1,24 [0,61–2,53]
	Генотип AA OR [95 % CI]	0,196	0,097 0,44 [0,16–1,18]	0,304 1,8 [0,8–4,05]
	χ^2 p		3,43 0,18	4,44 0,11

Примечание: p — статистическая значимость различий с группой контроля.

Таблица 2

Частота носительства исследуемых SNV среди групп пациентов с переломами длинных костей

Генотип		I группа (n = 62)	II группа (n = 46)	χ^2	p	OR [95 % CI]
<i>TNFRSF11B-1181G>C</i>	Генотип GG	0,161	0,696	32,06	< 0,001	11,89 [4,72–29,92]
	Генотип GC	0,452	0,196			0,3 [0,12–0,71]
	Генотип CC	0,387	0,109			0,19 [0,07–0,56]
<i>IL6-174C>G</i>	Генотип CC	0,323	0,174	6,99	0,03	0,44 [0,17–1,12]
	Генотип CG	0,468	0,391			0,73 [0,34–1,59]
	Генотип GG	0,210	0,435			2,9 [0,89–6,75]
<i>TGFβ₁-25Arg>Pro</i>	Генотип ArgArg	0,581	0,283	23,73	< 0,001	0,05 [0,01–0,17]
	Генотип ArgPro	0,371	0,196			2,42 [0,99–5,92]
	Генотип ProPro	0,048	0,522			3,51 [1,55–7,95]
<i>EGFR-2073A>T</i>	Генотип AA	0,306	0,13	22,25	< 0,001	0,34 [0,12–0,94]
	Генотип AT	0,597	0,37			0,4 [0,18–0,87]
	Генотип TT	0,097	0,5			9,33 [3,36–25,92]
<i>VDR-BsmI 283 G>A</i>	Генотип GG	0,468	0,196	11,94	0,003	0,28 [0,11–0,67]
	Генотип GA	0,435	0,5			1,3 [0,6–2,79]
	Генотип AA	0,097	0,304			4,08 [1,43–11,67]

Примечание: p — статистическая значимость различий между группами.

Модель прогнозирования нарушения консолидации

С целью проверки полученных результатов прогноза замедленной консолидации нами дополнительно выполнен нейросетевой анализ данных. В качестве модели использовали систему многослойного перцептрона, основанную на зависимой переменной (замедленная консолидация), которая определяется при анализе независимых данных (возможных предикторов). В качестве независимых переменных (15 входных нейронов) мы использовали генотипы исследуемых SNP, имеющие значимую прогностическую ценность. При расчете нейронная сеть показала архитектуру с оптимальным количеством скрытых слоев (5 и 4, соответственно), которые осуществляют прогноз (рис. 1). Создание взаимосвязи взвешенных сумм объектов с последующим слоем значений данных объектов в обоих скрытых слоях осуществляется с помощью активации сигмоидной функции. Аналогичная функция регистрируется и в выходном слое (0; 1), что соответствует исходному дизайну исследования. В качестве функции ошибки выступала сумма квадратов. Выходной слой содержал 1 целевую (зависимую) переменную (замедленная консолидация есть / нет) (рис. 1).

При определении важности независимой переменной отмечена следующая градация: полиморфизм гена *TGFβ₁-25(Arg>Pro)*; полиморфизм гена *TNFRSF11B-1181(G>C)*; полиморфизм гена *VDR-BsmI283(G>A)*; полиморфизм гена *IL6-174(C>G)*; полиморфизм гена *EGFR-2073(A>T)* (рис. 2).

При этом нормализованная важность составила 100 %, 97,1 %, 34,7 %, 31,5 % и 15,3 % соответственно. Процент неверных предсказаний составил 8,3 %.

Прогностическую ценность данной нейронной сети оценивали с помощью ROC-анализа (рис. 3).

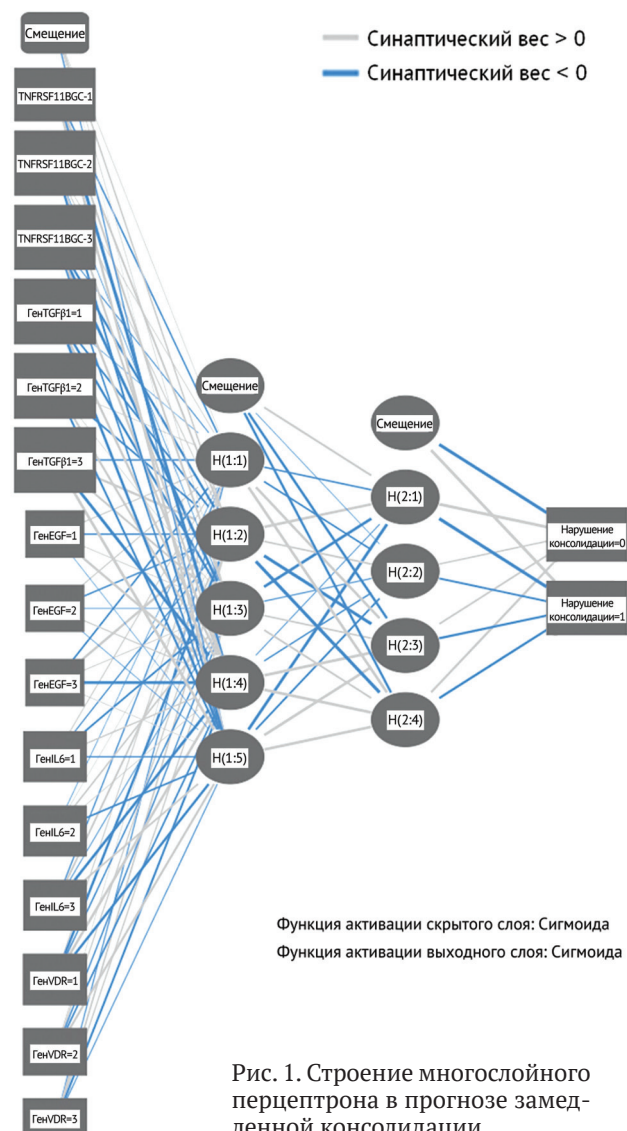


Рис. 1. Строение многослойного перцептрона в прогнозе замедленной консолидации

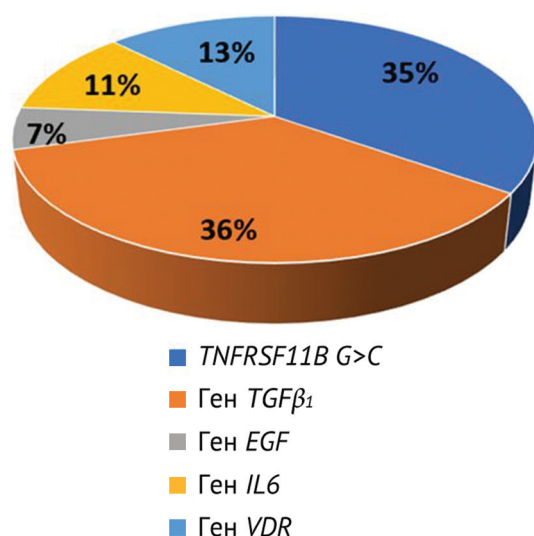


Рис. 2. Градация при определении важности независимой переменной

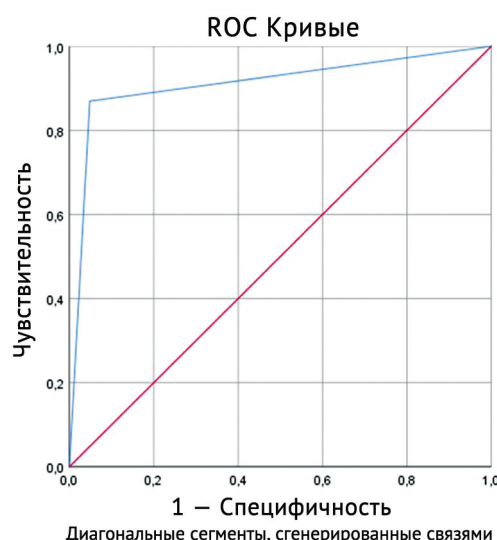


Рис. 3. ROC-анализ возможности развития замедленной консолидации на основе нейросетевого анализа данных

Площадь под кривой (AUC) = 0,91 (95 % ДИ = 0,85–0,98). Точность прогноза прогностической модели составила 91,7 %, чувствительность — 0,87 %, специфичность — 0,95 %. AUC — 0,91 (95 % ДИ = 0,85–0,98), $p < 0,001$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Преобладание мутантного генотипа гена *IL6*(C174G), *TGFβ₁*(A25P), *EGFR*(A2073T), *VDR* (*BsmI* G>A) и нормального гомозиготного варианта *TNFRSF11B*(G1181C) в группе с замедленной консолидацией свидетельствуют о высоком риске нарушения консолидации при их носительстве [4].

Учитывая результаты научных трудов последних десятилетий, можно отметить, что наследственные факторы имеют немаловажное место в развитии неправильной работы системы иммунитета. Запрограммированная, генетически пониженная или повышенная выработка белков в макроорганизме способствует возможности по-разному откликаться иммунной системе на патогены [4, 14]. В частности, доказана роль полиморфизма генов многих цитокинов как в развитии патологических состояний, так и в их протекторном действии [15, 16].

Однако данные исследования не столь широко представлены и недостаточно раскрывают иммуногенетические механизмы заболеваний и/или осложнений опорно-двигательной системы [4].

К настоящему времени имеются немногочисленные исследования, где в качестве «маркеров» риска нарушения консолидации выступают SNV генов. В частности, с развитием атрофического ложного сустава ассоциированы SNV гена транскрипционного фактора *SMAD6* (T/T rs2053423) и гена белка-ингибитора некоторых морфогенетических белков *NOGGIN* (G/G rs1372857). Несращения диафиза бедренной и большеберцовой костей чаще наблюдают при носительстве гаплотипа А тромбоцитарного фактора роста (PDGF) (rs1800814, rs62433334, rs13309625; CCG). Предрасположенность к развитию воспалительного осложнения и нарушению процессов репарации костной ткани установлена при носительстве аллели Т и С/Т кодона 10 гена трансформирующего фактора роста-β (*TGF-β*) и мутантного гена толл-подобного рецептора-4 (*TLR4*) W/1. Также к факторам риска нарушения консолидации относится носительство генотипа Т/Т гена *IL1β* (rs2853550) и гена синтазы оксида азота *NOS2* (rs2297514). Кроме того, нарушению нормальных процессов репаративной регенерации способствует носительство гаплотипа А гена морфогенетического белка *BMP4* (rs2761884, rs17563, rs2071047, rs762642; GTAA), генотипа Т/Г гена ангиогенного индуктора, богатого цистеином *CYR61* (rs3753793), а также С аллели гена рецептора фактора роста фибробластов *FGFR1* (rs13317) [17].

В работе G. Zimmermann et al. показана роль экспрессии генов при нормальной консолидации перелома и ее нарушении. Так, избыточная экспрессия генов цистеиндиоксигеназы-1 (*CDO1*), белка олигомерного матрикса хряща (*COMP*), фибромодулина (*FMOD*), фибронектина 1 (*FN1*), кластерина (*CLU*), двухкомпонентной системы сигнальных путей (*TCS22*), актина (*ACTA2*) и белка, взаимодействующего с фосфодиэстеразой 4D (*PDE4DIP*), способствует дисбалансу в работе структуры и функции клеток при репаративной регенерации, что приводит к нарушению консолидации по типу несращения [18].

Экспериментальные исследования T. Waki et al. демонстрируют роль микроРНК (miRNA) в репаративной регенерации и ремоделировании костной ткани. Установлено, что при усилении экспрессии miR-31a-3p, miR-31a-5p, miR-146a-5p, miR-146b-5p и miR-223-3p регистрируется нарушение консолидации [19].

Напротив, в научной работе H. Wang et al. отмечено, что рецептор костного морфогенетического белка типа Ib (BMPRIb) является потенциальной мишенью miR-125b, ингибирует ее и способствует лучшему восстановлению дефектов костной ткани [20]. Таким образом, экспериментальным путем идентифицировано 11 miRNAs, которые могут способствовать нарушению процессов репаративной регенерации [21].

Имеются данные и о носительстве SNV, являющимся протективным (защитным). Установлено, что с благоприятным течением консолидации ассоциировано носительство генотипа G/T и G/G гена нейронного специфического индуцируемого ретиноевой кислотой (FAM5C (rs1342913)), генотипа G/G гена морфогенетического белка кости 6 (BMP6 (rs270393)) и генотипа G/G гена матричной металлопротеиназы 13 (MMP13 (rs3819089)) [22].

Тем не менее, с целью подтверждения значимой роли вышеуказанных SNV в процессах нарушения консолидации переломов вышеперечисленные данные требуют масштабирования исследований с большим количеством пациентов и строгими критериями включения / исключения в отношении сопутствующей патологии.

В настоящее время показано, что ИИ может выполнять ключевые задачи здравоохранения, в том числе по диагностике заболеваний. Математическая модель на основе выборочных данных (обучающих) строится с помощью алгоритмов машинного обучения (МО), что приводит к построению прогнозов и/или конкретных решений [23, 24, 25]. В частности, наиболее часто алгоритмы МО применяют в персонифицированной (персонализированной) медицине. Такие программы МО в обязательном порядке требуют контролируемого обучения с использованием переменной исхода [23].

Сейчас все чаще в медицине применяют сложные формы МО, — нейронные сети. Такие технологии также используют в диагностике (прогнозе) различных патологических состояний [26]. Что касается используемого в данной работе многослойного перцептрона, то его причисляют к сети прямого пространства (от слоя к слою). Окончательный результат расчета формируется в виде итога разности между ответами каждого слоя. Точность данной модели повышается при увеличении количества слоев перцептрона [27].

Таким образом, дальнейшее изучение персонифицированных иммуногенетических механизмов неблагоприятного течения травматической болезни при переломах длинных костей конечностей, в том числе и с применением современных цифровых систем, может послужить основой для обнаружения предиктора развития осложнений и позволит вносить необходимую профилактическую коррекцию в лечение, что будет способствовать значительному снижению неблагоприятных исходов.

В настоящее время использование в практике подобных технологических решений ограничено в связи с отсутствием универсального программного обеспечения и начальными этапами цифровизации медицинской сферы. Однако создание единого цифрового контура и внедрение ИИ, набирающее оборот в рамках федерального проекта «Цифровые сервисы здравоохранения», демонстрирует важность цифровизации научных медицинских технологий всех отраслей. В ближайшем будущем при развитии исследований генетической предрасположенности к различным заболеваниям/осложнениям данная технология, на наш взгляд, будет иметь широкое распространение.

Полученные нами данные носят предварительный характер. Мы надеемся, что дальнейшие полномасштабные исследования позволят обосновать внедрение иммуногенетических маркеров на основе цифровых сервисов в диагностику развития осложнений при патологии опорно-двигательной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нейронной сети для прогнозирования замедленной консолидации переломов при использовании данных носительства определенных полиморфизмов генов оказалось достаточно эффективным, поскольку обладает высокой степенью точности (91,7 %), что свидетельствует о перспективности внедрения нейросетевого анализа в травматологию и ортопедию.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Без спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко А.В., Гусейнов Р.Г., Герасимова О.А. и др. Частота, факторы риска, особенности диафизарных несращений длинных костей нижних конечностей. *Политравма*. 2023;(2):36-44. doi: 10.24412/1819-1495-2023-2-36-44.
2. Федоров В.Г., Кузин И.В. Результаты лечения переломов диафиза бедренной кости блокируемым интрамедуллярным и на костном остеосинтезом (итоги за 10 лет). *Acta biomedica scientifica*. 2023;8(5):166-173. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.18.

3. Wildemann B, Ignatius A, Leung F, et al. Non-union bone fractures. *Nat Rev Dis Primers*. 2021;7(1):57. doi: 10.1038/s41572-021-00289-8.
4. Мированов А.М., Гусев К.А., Старосельников А.Н. и др. Современные генетические и иммунологические аспекты патогенеза нарушения консолидации переломов (обзор литературы). *Acta Biomedica Scientifica*. 2022;7(2):49-64. doi: 10.29413/ABS.2022-7.2.6.
5. Afrasiabian B, Eftekhari M. Prediction of mode I fracture toughness of rock using linear multiple regression and gene expression programming. *J Rock Mech Geotech Eng*. 2022;14(5):1421-1432. doi: 10.1016/j.jrmge.2022.03.008.
6. Cui Y, Hu X, Zhang C, Wang K. The genetic polymorphisms of key genes in WNT pathway (LRP5 and AXIN1) was associated with osteoporosis susceptibility in Chinese Han population. *Endocrine*. 2022;75(2):560-574. doi: 10.1007/s12020-021-02866-z.
7. Ding ZC, Lin YK, Gan YK, Tang TT. Molecular pathogenesis of fracture nonunion. *J Orthop Translat*. 2018;14:45-56. doi: 10.1016/j.jot.2018.05.002.
8. MacEachern SJ, Forkert ND. Machine learning for precision medicine. *Genome*. 2021;64(4):416-425. doi: 10.1139/gen-2020-0131.
9. Pasini A. Artificial neural networks for small dataset analysis. *J Thorac Dis*. 2015;7(5):953-960. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.04.61.
10. Curchoe CL, Bormann CL. Artificial intelligence and machine learning for human reproduction and embryology presented at ASRM and ESHRE 2018. *J Assist Reprod Genet*. 2019;36(4):591-600. doi: 10.1007/s10815-019-01408-x.
11. Plumarom Y, Wilkinson BG, Willey MC, et al. Sensitivity and specificity of modified RUST score using clinical and radiographic findings as a gold standard. *Bone Jt Open*. 2021;2(10):796-805. doi: 10.1302/2633-1462.210.BJO-2021-0071.R1.
12. Lang TA, Altman DG. Statistical analyses and methods in the published literature: The SAMPL guidelines. *Medical Writing*. 2016;25(3):31-36. doi: 10.18243/eon/2016.9.7.4.
13. Мудров В.А. Алгоритм применения ROC-анализа в биомедицинских исследованиях с помощью пакета программ SPSS. *Забайкальский медицинский вестник*. 2021;(1):148-153. doi: 10.52485/19986173_2021_1_148.
14. Симбирцев А.С. Иммунофармакологические аспекты системы цитокинов. *Бюллетень сибирской медицины*. 2019;18(1):84-95. doi: 10.20538/1682-0363-2019-1-84-95.
15. Schaettler MO, Richters MM, Wang AZ, et al. Characterization of the Genomic and Immunologic Diversity of Malignant Brain Tumors through Multisector Analysis. *Cancer Discov*. 2022;12(1):154-171. doi: 10.1158/2159-8290.CD-21-0291.
16. Akbarov AN, Ziyadullayeva NS, Reimnazarova GD, Nurullaeva MU. Peculiarities of osteoreparation in case of bone defect replacement with bioactive glass in combination with an antibiotic. *British View*. 2022;7(1):101-105. doi: 10.5281/zenodo.6571286.
17. Ding ZC, Lin YK, Gan YK, Tang TT. Molecular pathogenesis of fracture nonunion. *J Orthop Translat*. 2018;14:45-56. doi: 10.1016/j.jot.2018.05.002.
18. Zimmermann G, Schmeckenbecher KHK, Boeuf S, et al. Differential gene expression analysis in fracture callus of patients with regular and failed bone healing. *Injury*. 2012;43(3):347-356. doi: 10.1016/j.injury.2011.10.031.
19. Waki T, Lee SY, Niikura T, et al. Profiling microRNA expression in fracture nonunions: Potential role of microRNAs in nonunion formation studied in a rat model. *Bone Joint J*. 2015;97-B(8):1144-1451. doi: 10.1302/0301-620X.97B8.34966.
20. Wang H, Xie Z, Hou T, et al. MiR-125b Regulates the Osteogenic Differentiation of Human Mesenchymal Stem Cells by Targeting BMPRIb. *Cell Physiol Biochem*. 2017;41(2):530-542. doi: 10.1159/000457013.
21. He B, Zhang ZK, Liu J, et al. Bioinformatics and microarray analysis of mirnas in aged female mice model Implied new molecular mechanisms for impaired fracture healing. *Int J Mol Sci*. 2016;17(8):1260. doi: 10.3390/ijms17081260.
22. Guimarães JM, Guimarães IC, Duarte ME, et al. Polymorphisms in BMP4 and FGFR1 genes are associated with fracture non-union. *J Orthop Res*. 2013;31(12):1971-1979. doi: 10.1002/jor.22455.
23. Комков А.А., Мазаев В.П., Рязанова С.В. и др. Основные направления развития искусственного интеллекта в медицине. Научное обозрение. *Медицинские науки*. 2020;(5):33-40. doi: 10.17513/srms.1141.
24. Bernard de Villeneuve F, Jacquet C, El Kadim B, et al. An artificial intelligence based on a convolutional neural network allows a precise analysis of the alignment of the lower limb. *Int Orthop*. 2023;47(2):511-518. doi: 10.1007/s00264-022-05634-4.
25. Memiş A, Varlı S, Bilgili F. Semantic segmentation of the multiform proximal femur and femoral head bones with the deep convolutional neural networks in low quality MRI sections acquired in different MRI protocols. *Comput Med Imaging Graph*. 2020;81:101715. doi: 10.1016/j.compmedimag.2020.101715.
26. Lee SI, Celik S, Logsdon BA, et al. A machine learning approach to integrate big data for precision medicine in acute myeloid leukemia. *Nat Commun*. 2018;9(1):42. doi: 10.1038/s41467-017-02465-5.
27. Зиганшин А.М., Дикке Г.Б., Мудров В.А. Прогнозирование клинически узкого таза с помощью нейросетевого анализа данных. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2023;17(2):211-220. doi: 10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2023.382.

Статья поступила 18.09.2024; одобрена после рецензирования 10.10.2024; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 18.09.2024; approved after reviewing 10.10.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Информация об авторах:

Александр Михайлович Мированов — доктор медицинских наук, профессор, Первый проректор, проректор по лечебной работе, заведующий кафедрой, miromanov_a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>;

Кирилл Аркадьевич Гусев — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, kirill.gusev.86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3375-9956>;

Артем Николаевич Старосельников — ассистент кафедры, a.staroselnikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4400-0750>;

Виктор Андреевич Мудров — специалист научного отдела по патентной работе, mudrov_viktov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>.

Information about the authors:

Alexander M. Miromanov — Doctor of Medical Sciences, Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Medical Work, Head of Department, miromanov_a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>;

Kirill A. Gusev — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, kirill.gusev.86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3375-9956>;

Artem N. Staroselnikov — Assistant of the Department, a.staroselnikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4400-0750>;

Viktor A. Mudrov — Specialist in the Scientific Department for Patent work, mudrov_viktov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>.



The diagnostic value of IL-6 and thymidine phosphorylase in the progression of osteosarcoma

B.A. Abdul Azeez¹, G.S. Abd Alhussain², R.S. Salman³, A.A. Al-Fahham²✉

¹ University of Basrah, Iraq

² University of Kufa, Iraq

³ University of Al-Shatrah, Iraq

Corresponding author: Ali A. Al-Fahham, fahham925@gmail.com

Abstract

Introduction Thymidine phosphorylase (TP) is known to be correlated with the pathogenesis of solid tumors. IL-6 is overexpressed in osteosarcoma, and data exist showing that high concentrations of IL-6 are linked to a poor prognosis.

The **aim** of this study is to investigate the diagnostic role of thymidine phosphorylase and IL-6 in the pathogenesis and progression in patients with osteosarcoma.

Materials and methods Thirty patients diagnosed with osteosarcoma (with age ranging between 15–44 years) were included in the current study. Those patients were distributed as 6, 15, 5 and 4 subjects for stages AI, BI, II and III respectively.

Results Statistical analysis pointed out that IL-6 tends to be increased patients in stage III (3.89 ± 0.34 ng/ml) compared to stage AI, BI and II: 1.48 ± 0.22 ng/ml, 1.55 ± 0.24 ng/ml and 2.45 ± 0.45 ng/ml respectively. Regarding thymidine phosphorylase, the current study also found that it tends to be increased patients in stage III 8.3 ± 0.33 ng/ml comparing to stage AI, BI and II: 7.2 ± 0.92 ng/ml, 6.82 ± 1.14 ng/ml and 7.8 ± 0.22 ng/ml, respectively. The area under the curve (AUC) for thymidine phosphorylase was 0.87, with high significant difference $p < 0.001$, at a cut-off point 2.44, while the sensitivity and specificity ratios were 0.85, and 0.71 respectively. Regarding IL-6, the area under the curve (AUC) was 0.75, with significant difference $p < 0.038$, at a cut-off point 6.32, while the sensitivity and specificity ratios were 0.81, and 0.69 respectively. These biomarkers can also be used in the diagnosis and progression of osteosarcoma.

Discussion High levels of TP are expressions of tumor aggressiveness and poor prognostic factors. Some separate studies focus on TP expression at different osteosarcoma stages but their numbers are few, arguing that there is a gap in the current available literature. TP more recently has attracted significant attention for its involvement in cancer biology, especially with regard to its influence on disease pathogenesis and prognosis, according to available studies, TP plays a major part in the development of most malignant diseases, and particularly bone-related malignancies. It has been observed that TP promotes angiogenesis, is expressed in tumor-associated macrophages within the tumor stroma. TP expression has been studied in different types of cancer as a predictive body. New prognostic models for patients with bone cancer can be developed based on literature data.

Conclusion It is suggested that thymidine phosphate activity and IL-6 have a significant high diagnostic power in the diagnosis and progression of osteosarcoma.

Keywords: thymidine phosphorylase, IL-6, diagnosis power, osteosarcoma

For citation: Abdul Azeez BA, Abd Alhussain GS, Salman RS, Al-Fahham AA. The diagnostic value of IL-6 and thymidine phosphorylase in the progression of osteosarcoma. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):245-251. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-245-251.



Диагностическое значение интерлейкина-6 и тимидинфосфорилазы в прогрессировании остеосаркомы

В.А. Abdul Azeez¹, G.S. Abd Alhussain², R.S. Salman³, A.A. Al-Fahham^{2✉}

¹ University of Basrah, Iraq

² University of Kufa, Iraq

³ University of Al-Shatrah, Iraq

Автор, ответственный за переписку: Али А. Аль-Фаххам, fahham925@gmail.com

Аннотация

Введение. Тимидинфосфорилаза (ТФ) коррелирует с патогенезом солидных опухолей. Интерлейкин-6 (ИЛ-6) имеет повышенную экспрессию при остеосаркоме. Высокие концентрации ИЛ-6 дают основание предполагать плохой прогноз и агрессивный характер опухоли.

Цель работы — изучение диагностической роли ТФ и ИЛ-6 в патогенезе и прогрессировании остеосаркомы.

Материалы и методы. В текущее исследование включены 30 пациентов с диагнозом остеосаркома в возрасте от 15 до 44 лет. Пациенты распределены по стадиям AI ($n = 6$), BI ($n = 15$), II ($n = 5$) и III ($n = 4$).

Результаты. Статистический анализ показал, что ИЛ-6 имеет тенденцию к повышению у пациентов на стадии III, ($3,89 \pm 0,34$) нг/мл, по сравнению со стадиями AI, BI и II: ($1,48 \pm 0,22$) нг/мл, ($1,55 \pm 0,24$) нг/мл и ($2,45 \pm 0,45$) нг/мл. Что касается ТФ, данное исследование также показало, что она имеет тенденцию к повышению у пациентов на стадии III, ($8,3 \pm 0,33$) нг/мл, по сравнению со стадиями AI, BI и II: ($7,2 \pm 0,92$) нг/мл, ($6,82 \pm 1,14$) нг/мл и ($7,8 \pm 0,22$) нг/мл соответственно. Площадь под кривой (AUC) для ТФ составила 0,87 с высокой значимой разницей $p < 0,001$ при точке отсечения 2,44, в то время как коэффициенты чувствительности и специфичности составили 0,85 и 0,71. Что касается ИЛ-6, площадь под кривой (AUC) составила 0,75, со значительной разницей $p < 0,038$, при точке отсечения 6,32, в то время как коэффициенты чувствительности и специфичности составили 0,81 и 0,69 соответственно. Эти биомаркеры также можно использовать в диагностике и прогрессировании остеосаркомы.

Обсуждение. Высокий уровень ТФ является показателем агрессивности опухоли и плохим прогностическим фактором. Отдельные исследования посвящены экспрессии ТФ на разных стадиях остеосаркомы, но их число невелико. В последнее время ТФ привлекает значительное внимание своим участием в биологии рака, особенно своим влиянием на патогенез и прогноз заболевания. Согласно исследованиям, ТФ играет важную роль в развитии большинства злокачественных заболеваний, и особенно злокачественных новообразований костей. ТФ способствует ангиогенезу, экспрессируя в опухоль-ассоциированных макрофагах в строме опухоли. Экспрессия ТФ изучена при различных типах рака в качестве прогностического фактора. На основе данных литературы могут быть разработаны новые прогностические модели для пациентов с раком костей.

Заключение. Активность ТФ и ИЛ-6 имеет значительную диагностическую ценность при прогрессировании остеосаркомы.

Ключевые слова: тимидинфосфорилаза, интерлейкин-6, диагностика, остеосаркома

Для цитирования: Abdul Azeez B.A., Abd Alhussain G.S., Salman R.S., Al-Fahham A.A. Диагностическое значение интерлейкина-6 и тимидинфосфорилазы при прогрессировании остеосаркомы. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):245-251. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-245-251.

INTRODUCTION

Osteosarcoma (OS), the most common primary bone malignancy, has a worldwide annual incidence of 3.4 per million population. The main pathophysiological mechanism includes multiple possible genetic drivers of the disorder associated with bone formation, leading to a progressive and metastatic malignant transformation. Although significant steps have been made towards the prognosis of patients with localized forms having the event-free survival rate above 60 % it generally remains grim in cases of those with metastatic versions and stays below 30 % [1]. The pathogenesis of osteosarcoma is polygenic and compiles genetic, molecular, and cellular aspects. While these sources do not straightly talk about osteosarcoma, knowledge of cancer genetics from other cancers can help direct views, including the genetic foundation for myeloproliferative neoplasms commented on by W. Vainchenker et R. Kralovics to the landscape of osteosarcoma at the molecular level [2]. Mutation of specific genes acting as tumor suppressors, for instance tumor protein p53 (TP53) and retinoblastoma 1 (RB1), defines most of the tumorigenic pathways in osteosarcoma. Experience has also shown that two to three driver gene mutations can transform osteoblasts to become osteosarcomas. This event likely follows loss of the p53 and Rb pathways based on what transformation has been shown to use across tumor types. Loss of differentiation may help explain why normal differentiation is blocked and sarcomas have primitive-appearing cells. The findings here are consistent with the strong genetic evidence indicative of the critical role of TP53 as a major tumor suppressor gene in human tumorigenesis and sarcoma genesis specifically [2]. Osteosarcoma is the third most common cancer in adolescence, after lymphomas and brain tumors, with an annual incidence of 5.6 cases per million children below 15 years of age. Osteosarcoma incidence is bimodal, peaking at 18 and 60 years of age, and is slightly more common in males. Peak incidence is in the second decade of life. Before the age of five, OS is rare. OS arises sporadically, with few cases related to known inherited defects in cell cycle regulation, but about 70 % of tumor specimens show a chromosomal abnormality. Some key mutated genes drive the initiation and progression of osteosarcoma [3]. Thymidine phosphorylase (TP) is a rather interesting enzyme that performs functions in nucleosides metabolism that executes salvage of pyrimidine with its functional activities in the pathway. First described in 1953, stimulated by TP is the reversible bioconversion of thymidine (TdR) into thymine and 2-deoxy- α -D-ribose-1-phosphate (dRib-1-P), as well as deoxy uridine phosphorolysis into uracil and 2-deoxy- α -D-ribose-1-phosphate. However, this reaction is reversible; TP's major function is catabolic. There are two different names for one molecule: angiogenic factor platelet-derived endothelial-cell growth (PD-ECGF) and TP. That metabolic role aside, TP plays an essential role in angiogenesis. The reaction is catalyzed by TP expressed as: $\text{TdR} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{thymine} + 2\text{-deoxy-}\alpha\text{-D-ribose}$ [4, 5]. The reversible nature of the reaction has arisen some debate as to the reality of TP catalyzing that reaction to any appreciable extent, such a view seems to dismiss a good body of consistent evidence, which is becoming available, that supports a catalytic function for this enzyme in pyrimidine degradation both *in vitro* and *in vivo* within the large majority of cells that TP is the primarily source of this activity [6–7]. Furthermore, several human cancers overexpress TP. The human TP gene is located on chromosome 22q13. TP is a dimer protein composed of two identical subunits non-covalently associated with a dimeric molecular mass of 51 kD [8]. Thymidine phosphorylase (TP) levels are expressed in some epithelial, glial cells, macrophages, and stromal cells. It is manifested in the nucleus. Here it regulates the supply of pyrimidine nucleosides that are necessary for DNA synthesis as well as in the cytoplasm, where it exhibits enzymatic activities [9]. IL-6 is a pleiotropic cytokine, synthesizing from various cells, including endothelial cells, keratinocytes, fibroblasts, and tumor cells; it is considered as the most important cytokine responsible for induction of events-ranging over many biological processes. IL-6 is a key inflammatory mediator implicated in the procession and advancement of osteosarcoma. IL-6 binds with a receptor complex having α -gp80 (or IL-6R) and then further association with gp 130 [10]. IL-6 exerts inflammatory responses and has been impugned in the pathogenesis of a variety of cancers. High levels of this cytokine within the tumor microenvironment are also well documented to underlie the poor prognosis and aggressive nature of the tumor; D.T. Fisher et al., in 2014, focus their assertions that IL-6 may have paradoxical effects within the tumor microenvironment, dichotomously acting not only as a growth promoter but also as an apoptosis inhibitor. This duality perfectly underscores the complexity surrounding attempts to target this cytokine in cancer therapy [11]. In 2016, T. Tanaka et al. expound on how IL-6 contributes to inflammation-driven carcinogenesis, a process that takes place in colorectal cancer as basic mechanisms work similarly in osteosarcoma. This leads to expression in the tumors' proximity of factors like IL-6 that further enhance chronic signaling through pathways like JAK/STAT to advance and support tumorigenic processes [12].

The **aim** of this study is to find out the diagnostic role of thymidine phosphorylase and IL-6 in the pathogenesis and stages progression in patients with osteosarcoma.

MATERIAL AND METHODS

Patients and data collection

A prospective study was performed at Al-Forat Al-Awsat Oncology Center in Najaf and Oncology Center in Baghdad/Iraq in the period from September 2023 to June 2024. Thirty patients diagnosed as having osteosarcoma, aged between 15–44 years were included in the present study. The general information (age, gender, and stage) was collected from the records of the patients in the Oncology Center. An amount of 5 milliliters venous blood samples were collected. The blood samples were allowed to coagulate in the gel tube at room temperature for 20 minutes. After coagulation, the samples were centrifuged at 2000xg for 20 min to obtain the serum, which was stored at (-20°C) until assayed. IL-6 and thymidine phosphorylase were estimated in the serum by ELISA kit (My BioSource, USA) for serum thymidine phosphorylase and IL-6 determination. The Enneking system for staging classifies according to grade (I or II), intra- or extra-compartmental location (A or B), and the presence of metastases (III). So, stage IA is a low-grade intra-cortical tumor, IB is a low-grade extra-cortical tumor, IIA is a high-grade intra-cortical tumor, and IIB is a high-grade extra-cortical tumor. Metastatic disease instantly catapults to III stage [3].

Statistical Analysis

The SPSS software version 25.0 (SPSS, Chicago) was used for all the appropriate statistical analyses, the normality test which was used to test who want to continuous data for Shapiro Wilk test. All normally distributed data are acted as mean $\pm$ standard deviation. ANOVA test was used to find out the statistical difference in TP and IL-6 with patients' groups classified by tumor stages. The receiver operating characteristic curve (ROC) was used to test the predictive value of thymidine phosphorylase and IL-6 in predicting relapse among osteosarcoma patients. A p -value less than .05 was considered to indicate a statistically significant difference.

RESULTS

Patients who participated in the current study have a wide range of age (15–44 years) with a mean of (26.25 ± 6.22) years; the majority of them (43.33 %) within the interval (15–24) years, while those within (24–34) years constitute (40 %) of the sample. It seems that osteosarcoma is more common in male (60 %) compared to female (40 %). The distribution of patients according to the stage of osteosarcoma was as follows 6, 15, 5 and 4 individuals for stages AI, BI, II and III respectively (Table 1).

Data regarding thymidine phosphorylase and IL-6 were found to follow normal distribution. Accordingly, these data were expressed as mean and standard deviation. The statistical analysis pointed out that thymidine phosphorylase tends to be increased in patients in stage III (3.89 ± 0.34 ng/ml) compared to stage AI, BI and II: (1.48 ± 0.22 ng/ml), (1.55 ± 0.24 ng/ml) and (2.45 ± 0.45 ng/ml) respectively (Fig. 1). Regarding IL-6, the current study also found that IL-6 tends to be increased in patients in stage III (8.3 ± 0.33 ng/ml) compared to stage AI, BI and II: (7.2 ± 0.92 ng/ml), (6.82 ± 1.14 ng/ml) and (7.8 ± 0.22 ng/ml) respectively (Fig. 2).

Table 1

Statistical distribution (frequency and percentage) of patients by their general characteristics

Items	Sub-group	Patients $N = 30$	
		Freq.	%
Age	15–24	13	43.33
	25–34	12	40
	35–44	10	33.33
Mean $\pm$ SD 26.25 ± 6.22			
Sex	Male	18	60
	Female	12	40
Stage	AI	6	20
	BI	15	50
	II	5	16.67
	III	4	13.33

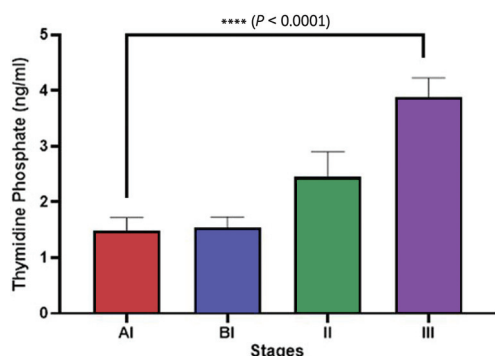


Fig. 1. Differences in serum thymidine phosphorylase in different stages of osteosarcoma

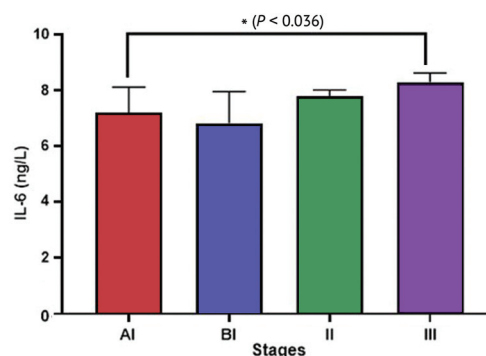


Fig. 2. Differences in serum IL-6 in different stages of osteosarcoma

The receiver-operating characteristic (ROC) curve analysis of thymidine phosphorylase and IL-6 was used in predicting relapse in patients with osteosarcoma. The area under the curve (AUC) for thymidine phosphorylase was 0.87, with high significant difference $p < 0.001$, at a cut-off point 2.44, while the sensitivity and specificity ratios were 0.85, and 0.71 respectively. Regarding IL-6, the area under the curve (AUC) was 0.75, with significant difference $p < 0.038$, at a cut-off point 6.32, while the sensitivity and specificity ratios were 0.81 and 0.69 respectively, as shown in Table 2 and Fig. 3.

Table 2

The areas under the curve (AUC), sensitivity and specificity of the biomarkers for the diagnosis of osteosarcoma

Biomarkers	(AUC)	Sig. p-value	Cut-off Point	Sensitivity (%)	Specificity (%)
TP	0.87	0.01	2.44	0.84	0.71
IL-6	0.75	0.038	6.32	0.81	0.69

TP: Thymidine phosphorylase; AUC: Area Under the Curve

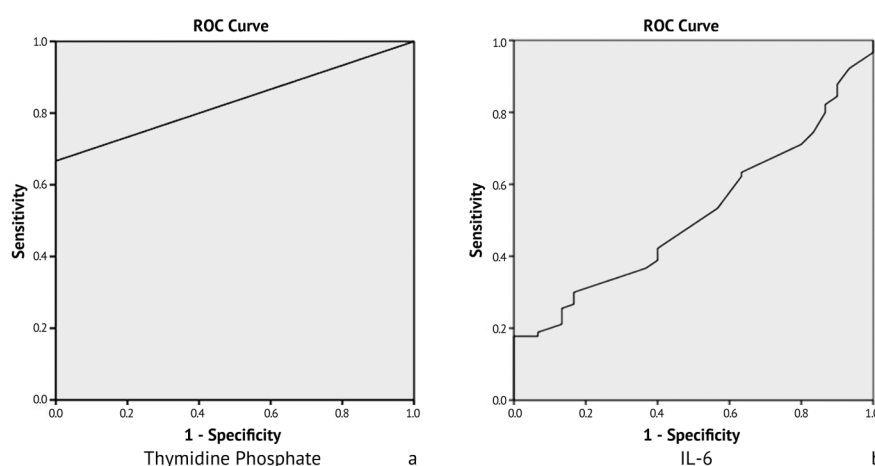


Fig. 3. Diagonal segment of the Receiver operating characteristic (ROC) curve for (a) thymidine phosphorylase and (b) IL-6 in for the diagnosis of osteosarcoma

DISCUSSION

Thymidine phosphorylase activity in 30 cases of osteosarcoma was analyzed by ELISA, including (6 cases at Stage AI, 15 at Stage BI, 5 at Stage II, 4 at Stage III). Thymidine phosphorylase is upregulated in a broad set of solid tumors and enhances progression of tumor via anti-apoptotic activity. High levels of TP are expressions of tumor aggressiveness and poor prognostic factors. The presence of high intracellular levels of this enzyme indicates increased chemosensitivity to pyrimidine antimetabolites [13–14]. This study exhibited that thymidine phosphorylase is present in high concentration in patients with higher stages of osteosarcoma. Although some separate studies focus on TP expression at different osteosarcoma stages, their numbers are few, arguing that there is a gap in the current available literature. Thymidine phosphorylase is an enzyme that acts in thymidine metabolism and more recently has attracted significant attention for its involvement in cancer biology, especially with regard to its influence on disease pathogenesis and prognosis [15]. Indeed, according to available studies, TYMP plays a major part in the development of most malignant diseases, and particularly bone-related malignancies [16]. Thymidine phosphorylase significantly promotes bone lesion formation by inhibiting osteoblast activity and stimulating osteoclast activity. This reaction models TYMP as a facilitator of myeloma-induced bone lesions and thus argues for its potential contribution to other inflammatory events accompanying bone cancer [16]. The other striking feature is TYMP's contribution to angiogenesis. It has been observed that TYMP, it promotes angiogenesis, is expressed in tumor-associated macrophages within the tumor stroma. This correlation between TYMP expression, angiogenesis, and poor prognosis underscores its potential as a key player in the tumor microenvironment: influencing both tumor growth and metastasis [17]. TYMP expression has been studied in different types of cancer as a predictive body. Thus, TYMP expression was found to be higher with a high systemic immune-inflammation index, suggesting that TYMP levels are related to patient outcomes [18]. This relationship is especially significant in the sensitivity of TYMP as a biomarker to postoperative patients with gastric cancer, which means that it has the potential to be developed as a clinical prognostic biomarker. The expression in tumor tissues with high SII values was much higher compared with those with low SII values, indicating their association with poor prognostic factors in various cancers other than bone cancer [19]. J.F. Xu et al. successfully isolated exosomes related to chemotherapy responses in osteosarcoma containing differentially expressed microRNA and mRNA. In view of this trend, highly increased TYMP may indicate a more aggressive tumor phenotype and subsequently

become a prospective aim for therapeutic intervention [20]. The present study highlighted that IL-6 is found in high concentration in patients with higher stages of osteosarcoma. Specific research on IL-6 in osteosarcoma is scanty, though several inferences can be made from those done in other malignancies. Increased levels of IL-6 have been documented in several inflammatory conditions as observations by P. Conti et al. (2020), who reported a significant increase of IL-6 in patients critically ill. In line with this, the author observed that proinflammatory cytokines like IL-6 could contribute to an immunosuppressive tumor microenvironment — a situation not suitable for effective anti-tumor immunity [21]. This association provided further insights into the role of IL-6 as a mediator of systemic inflammatory responses in disease severity, as might be relevant with osteosarcoma. There is accumulating evidence that IL-6 plays an essential role in regulating immune responses in cancer [22]. Data by A. Mazzoni et al. (2020) show the defect of immune cell cytotoxicity in severe COVID-19 patients that depends on IL-6. Secretion of such high levels of IL-6 would, therefore, skew the immune response to a more tolerogenic state. This leads to questioning whether analogously it could do so in immunotherapeutically treated osteosarcoma patients by providing room for immune response, thus lowering effectiveness of the strategy [23]. On the one hand, IL-6 is one of the pleiotropic cytokines that are surely critical in many physiological processes and simultaneously steers pathogenetic processes, especially inflammation and cancer. CAF-derived IL-6 is indeed strongly pro-tumorigenic and contributes significantly to stroma-dense growth in several cancer entities, including pancreatic ductal adenocarcinoma. Reports show recurring interplay between IL-6 and CAFs to create a pro-tumorigenic environment that supports further tumor growth and metastasis [24]. In line with this, it seems that IL-6 is not just a byproduct of the disease but takes on the form of an active player in the tumor microenvironment that per se influences the behavior of malignant cells. Through this, dysregulated IL-6 signaling in bone cancer may result in increased tumor growth and, therefore, increased survival [25]. The prolonged activation of the STAT3 pathway, which is driven by IL-6, has been implicative of cancer progression and chronic inflammatory diseases. This persistent STAT3 activation underscores, directly, the importance of IL-6 maintaining an inflammatory state that is conducive to cancer development. One of the critical prognostic values of IL-6 in cancer is its well-known relationship to poor prognosis and the growth of many tumors, such as prostate, which leads to a negative correlation with regards to survivals and responses to chemotherapy [26–27]. The negative correlation of IL-6 might make it a good biomarker for the progression of the disease, which in turn would give clues about the likelihood of response to treatment and general outcome in patients. In this regard, whether similar relationships exist between IL-6 levels and clinical outcomes in bone cancer will underpin further attempts. IL-6, by promoting cancer cell growth and blocking apoptosis, seems to be essential for the switch from tumor types to more aggressive phenotypes [27]. New prognostic models for bone cancer patients could be developed based on that information.

CONCLUSION

It is suggested that thymidine phosphorylase activity and IL-6 have a significant high diagnostic power in the diagnosis and progression of osteosarcoma.

Conflict of interest Not declared.

Funding The authors rely only on their own financial support.

Ethics approval The project in this study was approved by the ethical committee of the Medical College in the University of Kufa (No. 135 in 2024).

Consent to participate Prior to collecting samples, all patients involved in the study were required to provide written consent for their participation.

REFERENCES

1. Giaquinto AN, Sung H, Miller KD, et al. Breast Cancer Statistics, 2022. *CA Cancer J Clin.* 2022;72(6):524–541. doi: 10.3322/caac.21754.
2. Vainchenker W, Kralovics R. Genetic basis and molecular pathophysiology of classical myeloproliferative neoplasms. *Blood.* 2017;129(6):667–679. doi: 10.1182/blood-2016-10-695940.
3. Misaghi A, Goldin A, Awad M, Kulidjian AA. Osteosarcoma: a comprehensive review. *SICOT J.* 2018;4:12. doi: 10.1051/sicotj/2017028.
4. Friedkin M, Roberts D. The enzymatic synthesis of nucleosides. I. Thymidine phosphorylase in mammalian tissue. *J Biol Chem.* 1954;207(1):245–256.
5. Iltzsch MH, el Kouni MH, Cha S. Kinetic studies of thymidine phosphorylase from mouse liver. *Biochemistry.* 1985;24(24):6799–807. doi: 10.1021/bi00345a011.
6. Toi M, Atiqur Rahman M, Bando H, Chow LW. Thymidine phosphorylase (platelet-derived endothelial-cell growth factor) in cancer biology and treatment. *Lancet Oncol.* 2005;6(3):158–166. doi: 10.1016/S1470-2045(05)01766-3.
7. Bronckaers A, Gago F, Balzarini J, Liekens S. The dual role of thymidine phosphorylase in cancer development and chemotherapy. *Med Res Rev.* 2009;29(6):903–953. doi: 10.1002/med.20159.
8. Stenman G, Sahlin P, Dumanski JP, et al. Regional localization of the human platelet-derived endothelial cell growth factor (ECGF1) gene to chromosome 22q13. *Cytogenet Cell Genet.* 1992;59(1):22–23. doi: 10.1159/000133191.
9. Fox SB, Moghaddam A, Westwood M, et al. Platelet-derived endothelial cell growth factor/thymidine phosphorylase expression in normal tissues: an immunohistochemical study. *J Pathol.* 1995;176(2):183–190. doi: 10.1002/path.1711760212.
10. Salman RS, Abdul Azeez BAM, Munshid MC, Al-Fahham AA. Inflammatory Response and Pathophysiology of IL-6 Overproduction: A Review Article. *IJHMR.* 2024;3(8):568–572. doi: 10.58806/ijhmr.2024.v3i08n05.

11. Fisher DT, Appenheimer MM, Evans SS. The two faces of IL-6 in the tumor microenvironment. *Semin Immunol.* 2014;26(1):38-47. doi: 10.1016/j.smim.2014.01.008.
12. Tanaka T, Narazaki M, Kishimoto T. Immunotherapeutic implications of IL-6 blockade for cytokine storm. *Immunotherapy.* 2016;8(8):959-970. doi: 10.2217/imt-2016-0020.
13. Tabata S, Yamamoto M, Goto H, et al. Thymidine Catabolism as a Metabolic Strategy for Cancer Survival. *Cell Rep.* 2017;19(7):1313-1321. doi: 10.1016/j.celrep.2017.04.061.
14. Furukawa T, Tabata S, Yamamoto M, et al. Thymidine phosphorylase in cancer aggressiveness and chemoresistance. *Pharmacol Res.* 2018;132:15-20. doi: 10.1016/j.phrs.2018.03.019.
15. Akiyama S, Furukawa T, Sumizawa T, et al. The role of thymidine phosphorylase, an angiogenic enzyme, in tumor progression. *Cancer Sci.* 2004;95(11):851-857. doi: 10.1111/j.1349-7006.2004.tb02193.x.
16. Matsumae G, Shimizu T, Tian Y, et al. Targeting thymidine phosphorylase as a potential therapy for bone loss associated with periprosthetic osteolysis. *Bioeng Transl Med.* 2021;6(3):e10232. doi: 10.1002/btm2.10232.
17. Tang B, Xu A, Xu J, et al. MicroRNA-324-5p regulates stemness, pathogenesis and sensitivity to bortezomib in multiple myeloma cells by targeting hedgehog signaling. *Int J Cancer.* 2018;142(1):109-120. doi: 10.1002/ijc.31041.
18. Bitter EE, Townsend MH, Erickson R, et al. Thymidine kinase 1 through the ages: a comprehensive review. *Cell Biosci.* 2020;10(1):138. doi: 10.1186/s13578-020-00493-1.
19. Elamin YY, Rafee S, Osman N, et al. Thymidine Phosphorylase in Cancer; Enemy or Friend? *Cancer Microenviron.* 2016;9(1):33-43. doi: 10.1007/s12307-015-0173-y.
20. Xu JF, Wang YP, Zhang SJ, et al. Exosomes containing differential expression of microRNA and mRNA in osteosarcoma that can predict response to chemotherapy. *Oncotarget.* 2017;8(44):75968-75978. doi: 10.18632/oncotarget.18373.
21. Conti P, Ronconi G, Caraffa A, et al. Induction of pro-inflammatory cytokines (IL-1 and IL-6) and lung inflammation by Coronavirus-19 (COVI-19 or SARS-CoV-2): anti-inflammatory strategies. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2020;34(2):327-331. doi: 10.23812/CONTI-E.
22. Rose-John S, Winthrop K, Calabrese L. The role of IL-6 in host defence against infections: immunobiology and clinical implications. *Nat Rev Rheumatol.* 2017;13(7):399-409. doi: 10.1038/nrrheum.2017.83.
23. Mazzoni A, Salvati L, Maggi L, et al. Impaired immune cell cytotoxicity in severe COVID-19 is IL-6 dependent. *J Clin Invest.* 2020;130(9):4694-4703. doi: 10.1172/JCI138554.
24. Öhlund D, Handly-Santana A, Biffi G, et al. Distinct populations of inflammatory fibroblasts and myofibroblasts in pancreatic cancer. *J Exp Med.* 2017;214(3):579-596. doi: 10.1084/jem.20162024.
25. Dethlefsen C, Højfeldt G, Hojman P. The role of intratumoral and systemic IL-6 in breast cancer. *Breast Cancer Res Treat.* 2013;138(3):657-664. doi: 10.1007/s10549-013-2488-z.
26. Zhang Q, Zhao K, Shen Q, et al. Tet2 is required to resolve inflammation by recruiting Hdac2 to specifically repress IL-6. *Nature.* 2015;525(7569):389-393. doi: 10.1038/nature15252.
27. Hirano T. IL-6 in inflammation, autoimmunity and cancer. *Int Immunol.* 2021;33(3):127-148. doi: 10.1093/intimm/dxaa078.

The article was submitted 03.10.2024; approved after reviewing 29.10.2024; accepted for publication 05.02.2025.

Статья поступила 03.10.2024; одобрена после рецензирования 29.10.2024; принята к публикации 05.02.2025.

Information about the authors:

Bushra AM Abdul Azeez — MD, bushra.abdulaziz@uobasrah.edu.iq, <https://orcid.org/0000-0003-2370-0416>;

Ghufran Salman Abd Alhussain — MD, ghufans.alhabhawi@uokufa.edu.iq, <https://orcid.org/0000-0001-9722-0816>;

Rabab Alhosainy Salman — MD, rababshaker@shu.edu.iq, <https://orcid.org/0009-0006-2051-7236>;

Ali A. Al-Fahham — Professor, fahham925@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2108-1668>.



Proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fractures: a meta-analysis

I.G.A.D. Damara^{1✉}, N.S.N. Wijaya², I.W.S. Dusak^{2,3}

¹ Faculty of Medicine, Hang Tuah University, Surabaya, East Java, Indonesia

² Faculty of Medicine, Udayana University, Denpasar, Bali, Indonesia

³ I.G.N.G. Ngoerah General Hospital, Denpasar, Bali, Indonesia

Corresponding author: I Gusti Agung Ditya Damara, agungditya.journal@gmail.com

Abstract

Introduction Intertrochanteric fractures account for almost half of all hip fractures, with a mortality rate of 15 to 20 % within one year following fracture, primarily in elderly patients aged 65 years old and older.

The **purpose** of this study is to compare the operative time, intraoperative blood loss, intraoperative blood transfusion, hospitalization time, weight-bearing time, Harris Hip Score at 1, 3, 6, 12 months follow-up, and complications after proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fracture in elderly patients based on the published literature of their comparison.

Methods We conducted a comprehensive search in the electronic databases such as PubMed, Scopus, and Google Scholar. Original articles up to November 2024 were screened, focusing on retrospective or prospective cohort studies.

Results and Discussion The initial search yielded 702 studies. Six cohort studies with a total of 495 participants were assessed. The Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA) showed statistically significant shorter operative time ($p = 0.006$), lower intraoperative blood loss ($p < 0.0001$) compared with bipolar hemiarthroplasty. Bipolar Hemiarthroplasty had statistically significant better Harris Hip Score at 1 and 3 month follow-up post-operatively ($p < 0.00001$), ($p = 0.001$). It provides early weight-bearing ($p = 0.003$) and helps mobilize post-operative patients. Blood transfusion, hospitalization time, Harris Hip Score after 6-month follow-up, and complications had balanced results between two approaches.

Conclusion PFNA and bipolar Hemiarthroplasty have comparable results in intertrochanteric fractures in the elderly. PFNA has the advantages of shorter operative time, and lower intraoperative blood loss. Bipolar hemiarthroplasty has the advantages of better Harris Hip Score at 1 and 3 month follow-up and earlier weight-bearing.

Level of Evidence: I.

Keywords: Proximal Femoral Nail Antirotation, Bipolar Hemiarthroplasty, Intertrochanteric Fracture, Elderly, Harris Hip Score, Complications.

Acknowledgements The authors also acknowledge the contribution of the Department of Orthopaedic and Traumatology, Udayana University, Bali, Indonesia for the supports given.

For citation: Damara IGAD, Wijaya NSN, Dusak IWS. Proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fractures: a meta-analysis. *Genij Ortopedii*. 2025;31(2):252-262. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-252-262.

Обзорная статья

УДК 616.718.41/.44-001.511-08-035:616.71-089.844:616.71-089.223

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-2-252-262>

Антиротационный штифт для проксимального отдела бедра против биполярной гемиартропластики при межвертельных переломах: метаанализ

I.G.A.D. Damara^{1✉}, N.S.N. Wijaya², I.W.S. Dusak^{2,3}¹ Faculty of Medicine, Hang Tuah University, Surabaya, East Java, Indonesia² Faculty of Medicine, Udayana University, Denpasar, Bali, Indonesia³ I.G.N.G. Ngoerah General Hospital, Denpasar, Bali, Indonesia**Автор, ответственный за переписку:** I Gusti Agung Ditya Damara, agungditya.journal@gmail.com

Аннотация

Введение. Межвертельные переломы составляют почти половину всех переломов бедра, с уровнем смертности от 15 до 20 % в течение одного года после перелома, встречаются в основном у пациентов в возрасте 65 лет и старше.

Цель работы — на основе литературных данных об использовании технологий антиротационного штифта для проксимального отдела бедра и биполярной гемиартропластики при межвертельных переломах у пожилых пациентов сравнить показатели времени операции, госпитализации и нагрузки, интраоперационных кровопотери и переливания крови, индекса Харриса, а также оценить послеоперационные осложнения.

Методы. Проведен комплексный поиск источников в электронных базах данных PubMed, Scopus и Google Scholar. Для проведения систематического обзора и метаанализа использовали Кокрановское руководство по систематическим обзорам в соответствии с рекомендациями протокола PRISMA. Отобраны оригинальные статьи, ретроспективные или проспективные когортные исследования, опубликованные до ноября 2024 года. Первоначальный поиск дал 702 результата.

Результаты и обсуждение. Оценено шесть когортных исследований с общим числом участников 495. При использовании антиротационного штифта зарегистрированы статистически значимо более короткое время операции ($p = 0,006$) и меньшая интраоперационная кровопотеря ($p < 0,0001$). При биполярной гемиартропластике выявлена статистически значимо более высокая оценка по шкале Харриса для тазобедренного сустава через 1 и 3 месяца после операции ($p < 0,00001$), что обеспечивает раннюю нагрузку ($p = 0,003$) у пациентов после операции. Количество перелитой крови, время госпитализации и оценка по шкале Харриса для тазобедренного сустава через 6 месяцев наблюдения не имели значимых различий. Послеоперационные осложнения имели сопоставимые результаты.

Заключение. При анализе применения антиротационного штифта для проксимального отдела бедра и биполярной гемиартропластики при лечении пожилых людей с межвертельными переломами получены сопоставимые результаты. Использование антиротационного штифта для проксимального отдела бедра имеет преимущества по времени операции и меньшей интраоперационной кровопотере. Биполярная гемиартропластика имеет лучшую оценку по шкале Харриса при контрольном осмотре через один и три месяца после операции и по показателю более ранней нагрузки.

Уровень доказательности: I.

Ключевые слова: антиротационный штифт для проксимального отдела бедра, биполярная гемиартропластика, межвертельный перелом, пожилой возраст, оценка по шкале Харриса, осложнения

Благодарности. Авторы также выражают благодарность кафедре ортопедии и травматологии Университета Удайна, Бали, Индонезия, за оказанную поддержку.

Для цитирования: Damara I.G.A.D., Wijaya N.S.N., Dusak I.W.S. Антиротационный штифт для проксимального отдела бедра против биполярной гемиартропластики при межвертельных переломах: метаанализ. *Гений ортопедии*. 2025;31(2):252-262. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-252-262.

INTRODUCTION

Intertrochanteric hip fractures are common and often fatal injuries, especially among the elderly. Intertrochanteric fractures account for almost half of all hip fractures, with a mortality rate of 15 to 20 % within one year following fracture [1]. By 2050, Asia is expected to account for more than half of all hip fractures worldwide, owing to an ageing population and increased life expectancy. In Japan, the chance of lifetime hip fractures for people over the age of 50 is stated to be 5.6 % for men and 20 % for women. Hip fracture cases in China are expected to increase sixfold, from 0.7 million in 2013 to 4.5 million by 2050 [2].

The number of hip fractures in the United States alone is expected to rise from approximately 320,000 per year to 580,000 by 2040. This growing demand puts tremendous strain on the health-care system in terms of staffing and resources needed to manage these patients. In the United States, healthcare expenses for the management of hip fractures are anticipated to surpass \$10 billion annually [3–8], while the impact on the UK healthcare system is expected to be \$2 billion per year [9]. These expenditures are driven not just by the acute surgical treatment, but also by post-acute care, such as rehabilitation. While hip fracture surgery is very effective, patients are likely to endure severe morbidity in terms of pain, discomfort, and limited mobility during their recovery, and in many cases are unable to restore pre-fracture levels of function [3, 6, 9]. Studies also reveal that there is a relationship between hip fracture and higher rates of mortality, with 30 % more deaths seen than the age-matched populations with and without hip fracture [9–14]. However, such findings should be interpreted with caution, as those who have had a hip fracture may be more vulnerable and prone to illness.

The optimum surgical method for intertrochanteric fracture should restore the patient's mobility to preoperative levels while minimising intra- and postoperative morbidity and death. Although proximal femoral nail antirotation (PFNA) has been widely used by orthopaedic specialists for patients with intertrochanteric fractures, PFNA failure has been reported due to extensive comminution, osteoporosis, implant cutout, femoral medialization, and lateral migration of proximal screws or helical blades [15, 16]. As a result, bipolar hemiarthroplasty, which allows for early weight-bearing while reducing the chance of osteosynthesis failure, has become a popular option for older patients with intertrochanteric fractures [17].

The proximal femoral nail antirotation (PFNA) has acquired widespread approval for its minimally invasive nature and biomechanical advantages, which allow for early weight-bearing [18]. This treatment comprises closed fracture reduction under fluoroscopy and the subsequent insertion of an intramedullary nail with a helical blade into the femur, minimising surgical time and blood loss while improving outcomes in terms of fracture union and functional recovery [19, 20]. However, problems such as blade migration and fixation failure have been reported, motivating efforts to identify and mitigate risk factors through continuous research and advancements in surgical procedures and implant designs [21].

For older patients with unstable intertrochanteric femur fractures, hemiarthroplasty with a bipolar prosthesis improves early postoperative ambulation. This would have a direct impact on both postoperative rehabilitation and general health [22].

The **objective** of this study was to compare the operative time, intraoperative blood loss, intraoperative blood transfusion, hospitalization time, weight-bearing time, Harris Hip Score at 1, 3, 6, 12 months follow-up, and complications after the proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fracture in elderly patients, so that it can help the physician to choose the right treatment for the intertrochanteric fracture in the elderly.

MATERIALS AND METHODS

The Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions was used to perform this systematic review and meta-analysis, which was then reported using the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines.

Search Strategy

Two researchers (IGADD and NSNW) conducted literature search using three databases including PubMed, Scopus, and Google Scholar. The focus of the search was on the topic "proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty for intertrochanteric fracture in elderly". The study used only retrospective and prospective cohort studies. The literature search was performed using the keywords "proximal femoral nail antirotation" OR "PFNA" OR "bipolar hemiarthroplasty" OR "BHA" AND "Intertrochanteric Fracture". Applying filters to English language papers, human studies and cohort (retrospective or prospective) studies. The literature search ensuring inclusion of the terms in titles, abstracts, and keywords for study design and publication year. All search results were evaluated based on titles and abstracts to ensure relevance to the inclusion criteria.

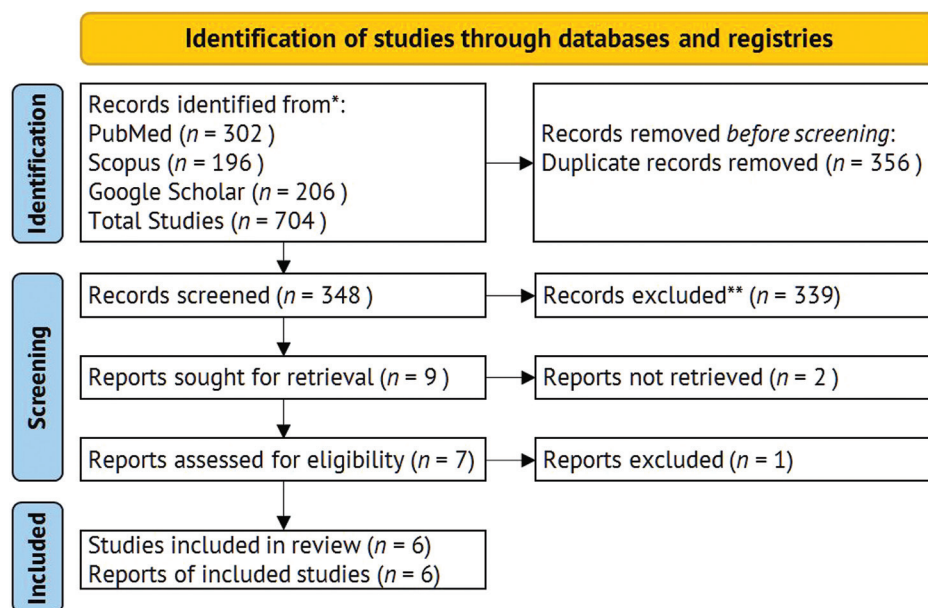


Fig. 1. PRISMA Flowchart 2020

Inclusion and Exclusion Criteria

The Inclusion criteria

- (1) retrospective or prospective cohort studies comparing the use of the proximal femoral nail antirotation (PFNA) and bipolar hemiarthroplasty (BHA) in patients with intertrochanteric fractures;
- (2) studies reporting at least one of the following outcomes: operative time, intraoperative blood loss, intraoperative blood transfusion, hospitalization time, weight-bearing time, Harris Hip Score, and complications;
- (3) the study population included participants aged above 65 years old diagnosed with intertrochanteric fractures;
- (4) articles published in English;
- (5) with full texts available.

Exclusion criteria

- (1) studies design were other than cohort (case report, case series, randomized controlled trials, literature review);
- (2) studies that did not distinguish outcomes between PFNA and BHA;
- (3) studies with fewer than 15 patients for each group;
- (4) article data that could not be quantitatively analysed.

All articles meeting the inclusion criteria were assessed for methodological quality using the Newcastle Ottawa Scale (NOS).

Study Selection

Two reviewers (IGADD and NSNW) independently reviewed the title and abstract of all studies generated from the literature search to exclude irrelevant studies. For potentially eligible studies, 2 reviewers (IGADD and NSNW) independently reviewed the full text of articles (up to November 2024) using the inclusion criteria. The references in the retrieved articles were also carefully searched. Inconsistencies were resolved by discussion by a third author (IWSD). The reviewers were not blinded to the authors, journals, or sources of financial support.

Data Extraction and Quality Assessment

Data extraction and quality assessment were conducted by two reviewers (IGADD and NSNW). Key information for data extraction was collected from each study, including the first author's name, year of publication, retrospective or prospective cohort studies, sample size, demographic characteristics of participants, fracture classification (Evan-Jensens), treatment groups (proximal femoral nail antirotation and bipolar

hemiarthroplasty). Quality assessment of included studies was performed using the Newcastle Ottawa Scale (NOS). NOS used for evaluating three domains: selection of participants, comparability of study groups, and assessment of outcomes. Studies with score ≥ 6 on the NOS were considered of high methodological quality. Disagreement during data extraction was resolved through discussion with a third reviewer (IWSD).

Statistical Analysis

Statistical analysis was conducted employing Review Manager (RevMan) version 5.4.1. Dichotomous data were condensed using odd ratio (OR) with 95 % confidence interval (CI), for continuous data were evaluated using standard mean difference (SMD) and Mean Difference (MD) to define for variation in measurement scale across studies. Heterogeneity was evaluated using the Chi² test and quantified with the I². If I² test > 50 % using random effect model indicating high heterogeneity, if I² test < 50 % using fixed effect model indicating low heterogeneity. Forest plots were generated to visually provide the pooled effect estimate for each outcome. Statistical significance was set using *p* value ≤ 0.05 . All analyses adhered to PRISMA guidelines for systematic reviews and meta-analysis.

RESULTS

Selection of the Studies

The PRISMA flow diagram shows the study selection process in Figure 1. The initial research obtained a total 704 studies, and through the elimination of duplication 348 studies underwent independent screening and 339 were excluded due to subsequent reason: irrelevant title and abstract, non PFNA and BHA procedures. After exclusion, 7 full-text studies were assessed for the eligibility. At the end, 6 studies (original articles up to November 2024) were included in our data synthesis.

Table 1

Baseline Characteristics of the studies

Study	Country	Design	Study Period	Ages (Mean $\pm$ SD)		Intervention to patients		
				PFNA	BHA	PFNA	BHA	Total
C. Cai, et al., 2022 [29]	China	Retrospective Cohort	2014–2019	80.88 $\pm$ 4.90	82.19 $\pm$ 3.96	34	36	70
X. Lu, et al., 2023 [30]	China	Retrospective Cohort	2006–2021	92.3 $\pm$ 2.7	92.1 $\pm$ 2.5	36	77	110
H. Saraf, S. Munot, 2018 [31]	India	Retrospective Cohort	2016–2017	82.4 $\pm$ 3.9	80.8 $\pm$ 4.3	20	20	40
Q.C. Song, et al. 2022 [32]	China	Retrospective Cohort	2012–2016	79.9 $\pm$ 6.1	81.0 $\pm$ 9.1	32	30	62
S. Zhou, et al., 2019 [33]	China	Retrospective Cohort	2008–2012	83.5 $\pm$ 4.8	83.8 $\pm$ 6.4	61	47	108
X. Zhou, et al., 2024 [34]	China	Retrospective Cohort	2012–2018	78.00 $\pm$ 6.95	80.04 $\pm$ 6.39	52	50	102

Table 2

Newcastle-Ottawa Scale (NOS)

Study	Selection				Comparability	Outcomes			Total
	Representativeness of exposed cohort	Selection of nonexposed cohort	Ascertainment of exposure	Outcome not present at the start of the study		Assessment of outcomes	Length of follow-up	Adequacy of follow-up	
C. Cai, et al., 2022 [29]	+	+	+	–	+	+	+	+	8
X. Lu, et al., 2023 [30]	+	+	+	+	+	+	+	+	9
H. Saraf, S. Munot, 2018 [31]	–	–	+	+	+	+	+	+	7
Q.C. Song, et al. 2022 [32]	–	+	+	+	+	+	+	+	8
S. Zhou, et al., 2019 [33]	–	+	+	+	+	+	+	+	8
X. Zhou, et al., 2024 [34]	++	+	+	+	+	+	+	+	10

Table 2 represents the results of the New Castle Ottawa Scale. Of all included studies, one study has a score of 7, three studies have a score of 8, one study has a score of 9, and one study has a score of 10. It can be concluded that all studies have high quality studies.

Operative Time

Of the 6 included studies, 5 reported the operative time [29–31, 33–34]. The forest plot analysis found that BHA had statistically significant difference in longer operative time, compared with PFNA (SMD -1.45 , 95 % CI -2.49 to -0.42 , $p = 0.006$) A random effects model was used because of the clinical heterogeneity ($I^2 = 94$ %, Fig. 2).

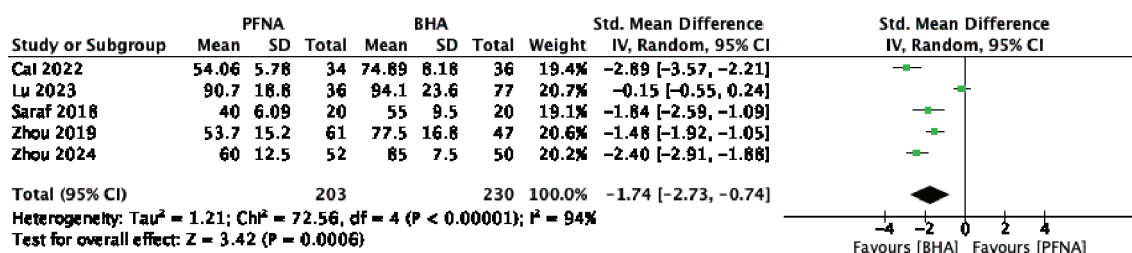


Fig. 2. Comparison of PFNA vs BHA on Operative Time

Intraoperative Blood Loss

All the included studies reported the intraoperative blood loss [29–34]. The forest plot analysis found that BHA statistically significant difference in intraoperative blood loss, compared with PFNA (SMD -2.34 , 95 % CI -3.50 to -1.19 , $p < 0.0001$) A random effects model was used because of the clinical heterogeneity ($I^2 = 96$ %, Fig. 3).

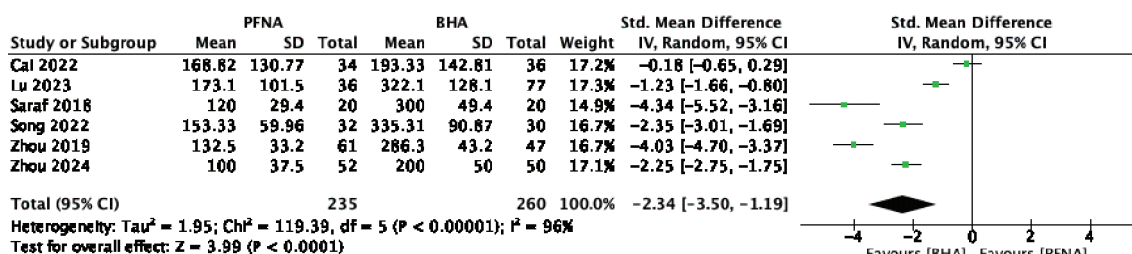


Fig. 3. Comparison of PFNA vs BHA on Intraoperative Blood Loss

Blood Transfusion

Of the 6 included studies, 2 reported the blood transfusion [29–30]. The forest plot analysis found that there was no statistically significant difference in blood transfusion between two groups (SMD -0.10 , 95 % CI -1.11 to 0.90 , $p = 0.84$) and low heterogeneity ($I^2 = 31$ %, Fig. 4).

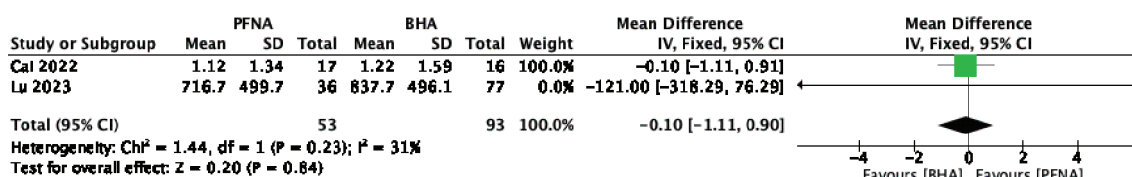


Fig. 4. Comparison of PFNA vs BHA on Blood Transfusion

Hospitalization Time

Of the 6 included studies, 5 reported the hospitalization time [29, 31–34]. The forest plot analysis found no statistically significant difference in hospitalization time between the two groups (SMD -0.16 , 95 % CI -0.59 to 0.27 , $p = 0.47$) A random effects model was used because of the clinical heterogeneity ($I^2 = 76$ %, Fig. 5).

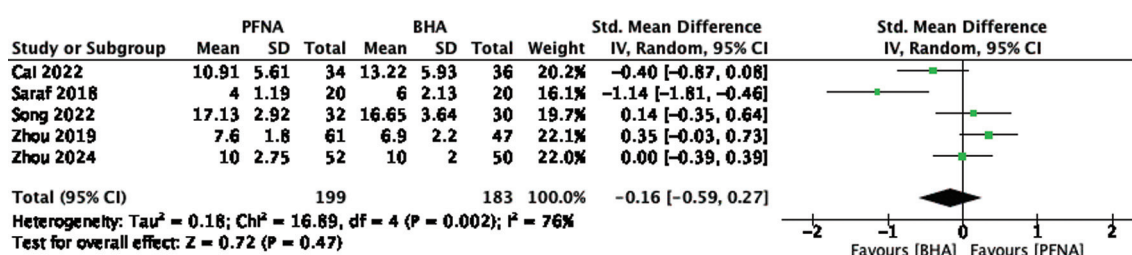


Fig. 5. Comparison of PFNA vs BHA on Hospitalization Time

Weight-Bearing Time

Of the 6 included studies, 3 reported the weight-bearing time [32–34]. The forest plot analysis found statistically significant difference that that PFNA was slower in early weight-bearing time, compared with BHA (SMD 5.16, 95 % CI 1.81 to 8.50, $p = 0.003$) A random effects model was used because of the clinical heterogeneity ($I^2 = 98\%$, Fig. 6).

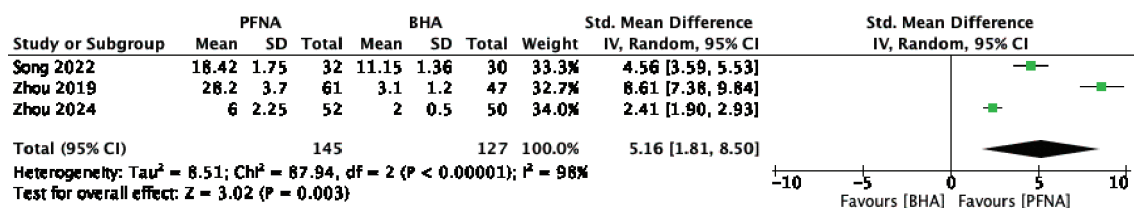


Fig. 6. Comparison of PFNA vs BHA on Weight-Bearing Time

Harris Hip Score at 1 Month Follow Up

Of the 6 included studies, 2 reported Harris Hip Score at 1-month follow-up [31, 34]. The forest plot analysis found that BHA statistically significant difference more superior in Harris Hip Score at 1-month follow-up, compared with PFNA (SMD -3.39 , 95 % CI -3.91 to -2.86 , $p < 0.00001$) and no heterogeneity ($I^2 = 0\%$, Fig. 7).

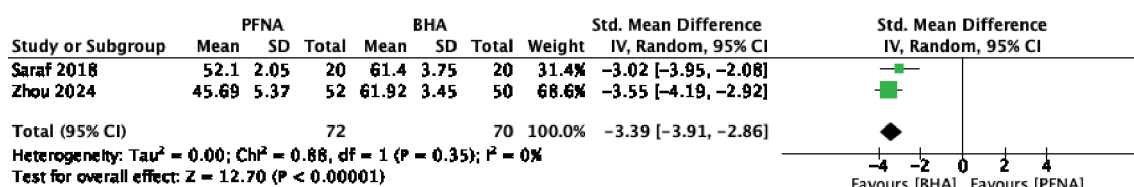


Fig. 7. Comparison of PFNA vs BHA on Harris Hip Score at 1-Month Follow-up

Harris Hip Score at 3 Month Follow Up

Of the 6 included studies, 4 reported Harris Hip Score at 3-month follow-up [29, 31, 32, 34]. The forest plot analysis found that there was statistically significant difference and BHA was more superior in Harris Hip Score at 3-month follow-up, compared with PFNA (SMD -1.80 , 95 % CI -2.90 to -0.70 , $p = 0.001$). A random effects model was used because of the clinical heterogeneity ($I^2 = 93\%$, Fig. 8).

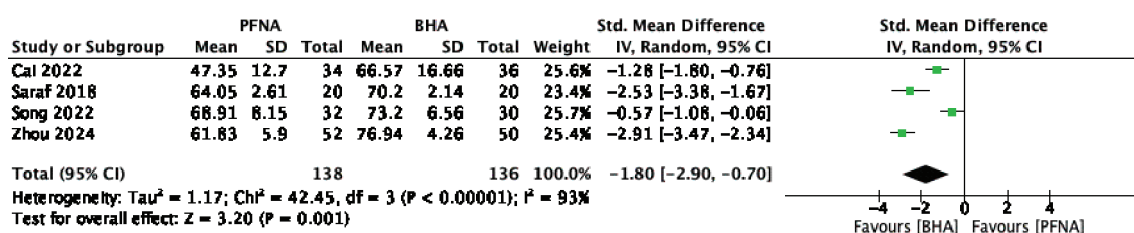


Fig. 8. Comparison of PFNA vs BHA on Harris Hip Score at 3-Month Follow-Up

Harris Hip Score at 6 Month Follow Up

Of the 6 included studies, 3 reported Harris Hip Score at 6-month follow-up [31, 32, 34]. The forest plot analysis found that no statistically significant difference in Harris Hip Score at 6-month follow-up between two groups (MD -0.29 , 95 % CI -1.16 to 0.59 , $p = 0.52$) and no heterogeneity ($I^2 = 0\%$, Fig. 9).

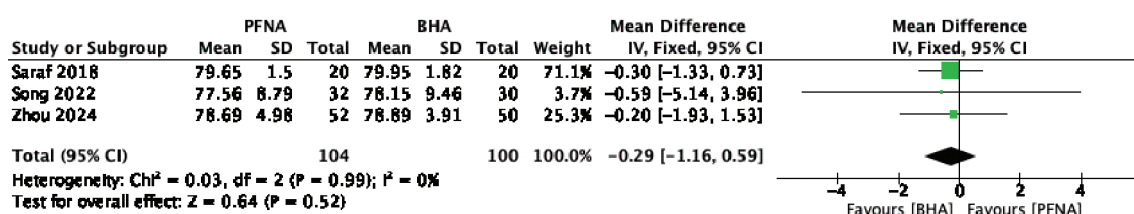


Fig. 9. Comparison of PFNA vs BHA on Harris Hip Score at 6-Month Follow-Up

Harris Hip Score at 12 Month Follow Up

All of the included studies reported Harris Hip Score at 12-month follow-up [29, 31–34]. The forest plot analysis found that there was no statistically significant difference in Harris Hip Score at 12-month follow-up between two groups (MD -0.50 , 95 % CI -1.81 to 0.81 , $p = 0.45$) and low heterogeneity ($I^2 = 34\%$, Fig. 10).

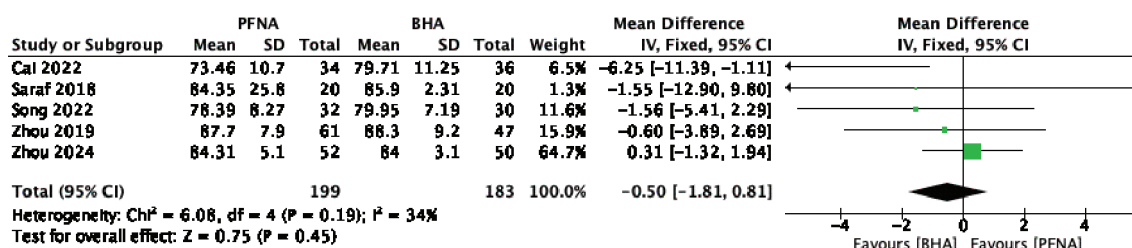


Fig. 10. Comparison of PFNA vs BHA on Harris Hip Score at Final Follow-up

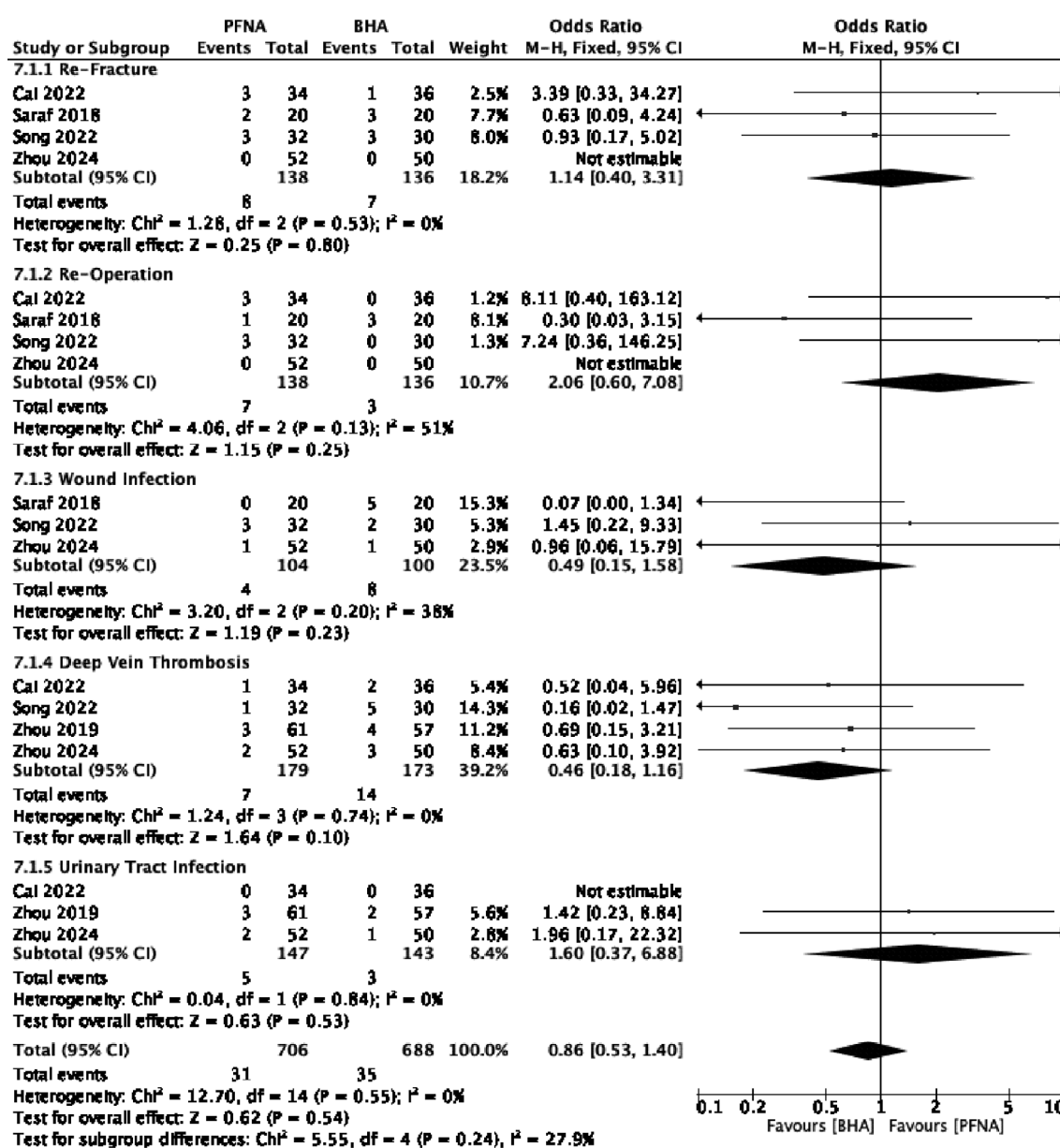
Complications

Fig. 11. Comparison of PFNA vs BHA on Complications

Our findings show that there are 5 major groups of complications that occur in patients undergoing BHA and PFNA. There was no statistically difference in re-fracture complications (OR 1.14, 95 % CI, [0.40, 3.31], $p = 0.80$, $I^2 = 0\%$) and no heterogeneity. Re-operation rate was similar and showed no statistical difference (OR 2.06, 95 % CI [0.60, 7.08], $p = 0.25$, $I^2 = 51\%$) and moderate heterogeneity, wound infection (OR 0.49, 95 % CI [0.15, 1.58], $p = 0.23$, $I^2 = 38\%$) and low heterogeneity, deep vein thrombosis (OR 1.60, 95 % CI [0.18, 1.16], $p = 0.10$, $I^2 = 0\%$) and no heterogeneity, urinary tract infection (OR 1.60, 95 % CI [0.37, 6.88], $p = 0.53$, $I^2 = 0\%$) and no heterogeneity (Fig. 11) [29–34].

DISCUSSION

Our study results on the use of proximal femoral nail antirotation versus bipolar hemiarthroplasty in intertrochanteric fractures in elderly showed statistically significant results on operative time, intraoperative blood loss, early weight-bearing time, and Harris Hip Score at 1 and 3 months after surgery. There was no statistical difference in hospitalization time, blood transfusion, Harris Hip Score 6 and 12-months after surgery, and complications.

In our study, PFNA had the advantage of shorter operative time compared to BHA. Consistent with the studies of C. Cai et al (2022), H. Saraf et S. Munot (2018), S. Zhou et al. (2019), X. Zhou et al. (2024). This is because there is no complicated prosthesis placement and the procedure is minimally invasive. PFNA also avoids the extensive soft tissue dissection and precise prosthetic alignment required in BHA. BHA usually necessitates a longer surgical time due to the intricacy of arthroplasty operations, which involve the removal of the femoral head, femoral canal preparation, and appropriate prosthesis fixation [29, 31, 33, 34].

Given that osteoporosis is more common in the elderly and causes a more comminuted intertrochanteric fracture pattern, this has important ramifications for improving the prognosis of elderly patients with intertrochanteric femoral fractures. The surgical intervention with BHA requires not only performing the femoral head osteotomy but also repeatedly broaching the medullary and even repositioning and fixing the great trochanteric fragment, which may be more traumatic for elderly patients than patients with PFNA internal fixation and may explain the higher intraoperative blood loss in the BHA group compared to the PFNA group. This result is similar with the results of a prior study revealing that PFNA therapy leads to less blood loss and shorter operating time than BHA treatments [23].

Our study demonstrates significantly lower intraoperative blood loss in proximal femoral nail antirotation (PFNA) compared to bipolar hemiarthroplasty (BHA). This result is consistent with H. Saraf et S. Munot (2018), Q.C. Song et al. (2022), S. Zhou et al. (2019), and X. Zhou et al. (2024) that PFNA reduced bleeding due to a less invasive approach compared with BHA. The increased blood loss in BHA is due to the significant soft tissue dissection and femoral canal preparation necessary during the surgery [31, 32, 33, 34].

There were no significant differences in intraoperative blood transfusion between PFNA and BHA. Q.C. Song et al. (2022) and X. Zhou et al. (2024) discovered that patient specific factors including preoperative anaemia and comorbidities had a greater impact on blood loss and transfusion during surgery [32, 34].

The analysis of hospitalization time shows no significant difference. The primary premise of postoperative functional exercise for unstable intertrochanteric fractures is to begin out-of-bed activities as soon as feasible, but the affected leg cannot bear full weight. As a result, the patient bears weight on one leg and walks using crutches or other walking aids. Patients with limited upper limb strength or poor body balance cannot follow this training plan. As a result, many patients remain in bed for extended periods of time following PFNA surgery [24]. Unfortunately, this raises the likelihood of bed-related issues, medical expenses, and longer hospital stays.

The forest plot indicates that BHA allows significantly earlier weight-bearing compared to PFNA. BHA, which is favourable in terms of less operation time and permitting early weight-bearing, was initially utilised in 1978 and subsequently employed by other surgeons for intertrochanteric fracture treatment with satisfying results [25]. It has been suggested as an alternate approach for older intertrochanteric fracture patients [26, 27]. BHA is advised as a primary treatment for intertrochanteric fracture with poor stability in the elderly with severe osteoporosis, poor prognosis after internal fixation, and a short life expectancy [28].

The Harris Hip Score (HHS) has been widely utilized to evaluate hip functional outcome in elderly patients with intertrochanteric fractures treated with bipolar hemiarthroplasty (BHA) or proximal femoral nail antirotation (PFNA). Studies constantly highlight that both techniques can achieve good functional outcomes, but the results vary in magnitude and timeline.

In our study, the Harris Hip Score after 1 month and 3 months postoperatively was better in the bipolar hemiarthroplasty group compared to PFNA. However, after 6 months and at the end of follow-up, BHA and PFNA produced functional HHS outcomes which differences were not statistically significant. In line with the research of H. Saraf et S. Munot (2018), Q.C. Song et al. (2022), X. Zhou et al. (2024) that the Harris Hip Score in the early postoperative period was better in the BHA group compared to PFNA, but after 6 months

postoperatively there was no statistically significant difference. However, it is necessary to consider age and type of fracture as a therapeutic modality used for intertrochanteric fractures [31, 32, 34].

PFNA is appropriate for treating unstable intertrochanteric fractures, although BHA is better for treating comminuted fractures in individuals with severe osteoporosis, particularly those with an intertrochanteric fracture. S. Zhou et al. (2019) recommend the following indications for BHA in the treatment of intertrochanteric fractures: age > 75 years with severe osteoporosis; severe comminuted fracture; the presence of internal diseases and the inability to tolerate long-term bed rest; implant failure or non-union; femoral head disease; and voluntary arthroplasty [33].

PFNA may be more appropriate for younger, more active patients because of its capacity to preserve the native hip joint. BHA, on the other hand, is generally chosen for older, weak patients or that with poor bone stock because it eliminates the requirement for fracture healing and reduces the risk of problems like implant failure.

Complications including re-operation rates, re-fracture, wound infection, deep vein thrombosis, urinary complications between proximal femoral nail antirotation (PFNA) and bipolar hemiarthroplasty (BHA) for intertrochanteric fractures are generally comparable, as indicated by the forest plot and supporting studies.

The advantages of this study are:

- (1) comprehensive evidence synthesis, by pooling data from multiple studies, this study improves the statistical power and provides more potent evaluation of the relative efficacy and safety of PFNA and BHA, which addresses the variations that may exist in each studies;
- (2) evaluation of multiple outcomes, such as operative time, intraoperative blood loss, intraoperative blood transfusions, hospitalization time, weight-bearing time, Harris Hip Score and complications, allowing a holistic approach of the risks and benefits of each procedures.

The results of this study confirm previous studies that reported PFNA had a longer operative time and greater intraoperative blood loss. BHA had the advantage of better Harris Hip Score at 1- and 3-month follow-up, and could be early weight-bearing.

This study has some limitations. These limitations include:

- (1) the number of articles that meet the inclusion criteria is only 6 articles, due to the lack of cohort studies discussing PFNA versus BHA;
- (2) high bias in the results of forest plots of several subgroup analyses, this can occur due to various factors, namely patient demographics, clinician experience in performing surgery, and varying pre-operative to post-operative protocols;
- (3) the number of participants is small so it can cause bias.

CONCLUSION

PFNA and BHA have comparable results. PFNA and BHA each have advantages and disadvantages. PFNA has the advantages of: (1) shorter operative time, (2) lower intraoperative blood loss. However, the disadvantage of PFNA is later weight-bearing than BHA. BHA has the advantages of: (1) better Harris Hip Score in 1 and 3 month follow-up post-operatively, (2) early weight-bearing and helps mobilize post-operative patients. However, the disadvantages of BHA are longer operative time and higher intraoperative blood loss which can increase the risk in elderly patients. It is necessary to consider performing BHA in patients with unstable intertrochanteric fractures or patients with osteoporosis so that patients can be immobilized as soon as possible. Blood transfusion, hospitalization time, Harris Hip Score at 6 and 12-month follow-up, and complications had balanced results between PFNA and BHA.

Conflicts of interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding. The authors did not receive any grant or funding for this research from any funding agency in the public, commercial or not for profit sectors.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not applicable.

REFERENCES

1. Zheng L, Wong DW, Chen X, et al. Risk of proximal femoral nail antirotation (PFNA) implant failure upon different lateral femoral wall thickness in intertrochanteric fracture: a finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2022;25(5):512-520. doi: 10.1080/10255842.2021.1964488.
2. Chang SM, Hou ZY, Hu SJ, Du SC. Intertrochanteric Femur Fracture Treatment in Asia: What We Know and What the World Can Learn. *Orthop Clin North Am.* 2020 Apr;51(2):189-205. doi: 10.1016/j.ocl.2019.11.011.
3. Ruecker AH, Rupprecht M, Gruber M, et al. The treatment of intertrochanteric fractures: results using an intramedullary nail with integrated cephalocervical screws and linear compression. *J Orthop Trauma.* 2009;23(1):22-30. doi: 10.1097/BOT.0b013e31819211b2.

4. Mundi S, Pindiprolu B, Simunovic N, Bhandari M. Similar mortality rates in hip fracture patients over the past 31 years. *Acta Orthop*. 2014;85(1):54-59. doi: 10.3109/17453674.2013.878831.
5. De Laet CE, van Hout BA, Burger H, et al. Bone density and risk of hip fracture in men and women: cross sectional analysis. *BMJ*. 1997;315(7102):221-225. doi: 10.1136/bmj.315.7102.221.
6. Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, et al. Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res*. 2007;22(3):465-475. doi: 10.1359/jbmr.061113.
7. Sogaard AJ, Holvik K, Meyer HE, et al. Continued decline in hip fracture incidence in Norway: a NOREPOS study. *Osteoporos Int*. 2016;27(7):2217-2222. doi: 10.1007/s00198-016-3516-8.
8. Nieves JW, Bilezikian JP, Lane JM, et al. Fragility fractures of the hip and femur: incidence and patient characteristics. *Osteoporos Int*. 2010;21(3):399-408. doi: 10.1007/s00198-009-0962-6.
9. Lisk R, Yeong K. Reducing mortality from hip fractures: a systematic quality improvement programme. *BMJ Qual Improv Rep*. 2014;3(1):u205006.w2103. doi: 10.1136/bmjquality.u205006.w2103.
10. Amphansap T, Nitiwarangkul L. One-year mortality rate after osteoporotic hip fractures and associated risk factors in Police General Hospital. *Osteoporos Sarcopenia*. 2015;1(1):75-79. doi: 10.1016/j.afos.2015.07.006.
11. Klop C, Welsing PM, Cooper C, Harvey NC, Elders PJ, Bijlsma JW, Leufkens HG, de Vries F. Mortality in British hip fracture patients, 2000-2010: a population-based retrospective cohort study. *Bone*. 2014;66:171-177. doi: 10.1016/j.bone.2014.06.011.
12. Imai N, Endo N, Hoshino T, et al. Mortality after hip fracture with vertebral compression fracture is poor. *J Bone Miner Metab*. 2016;34(1):51-4. doi: 10.1007/s00774-014-0640-4.
13. Papadimitriou N, Tsilidis KK, Orfanos P, et al. Burden of hip fracture using disability-adjusted life-years: a pooled analysis of prospective cohorts in the CHANCES consortium. *Lancet Public Health*. 2017;2(5):e239-e246. doi: 10.1016/S2468-2667(17)30046-4.
14. Songpatanasilp T, Sritara C, Kittisomprayoonkul W, et al. Thai Osteoporosis Foundation (TOPF) position statements on management of osteoporosis. *Osteoporos Sarcopenia*. 2016;2(4):191-207. doi: 10.1016/j.afos.2016.10.002.
15. Ülkü TK, Tok O, Seyhan M et al. Comparison of Third Generation Proximal Femoral Nails in Treatment of Reverse Oblique Intertrochanteric Fractures. *Bezmialem Sci*. 2019;7(4):271-275. doi: 10.14235/bas.galenos.2018.2798.
16. Liu JJ, Shan LC, Deng BY, et al. Reason and treatment of failure of proximal femoral nail antirotation internal fixation for femoral intertrochanteric fractures of senile patients. *Genet Mol Res*. 2014;13(3):5949-5956. doi: 10.4238/2014.August.7.10.
17. Xie Y, Dong Q, Xie Z. Proximal femoral nail anti-rotation (PFNA) and hemi-arthroplasty in the treatment of elderly intertrochanteric fractures. *Acta Orthop Belg*. 2019;85(2):199-204.
18. She Z, Yang F, Zhang S, et al. A novel intramedullary nail design of intertrochanteric fracture fixation improved by proximal femoral nail antirotation. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2023;1-11. doi: 10.1080/10255842.2023.2286917.
19. Nie SB, Zhao YP, Li JT, et al. Medial support nail and proximal femoral nail antirotation in the treatment of reverse obliquity intertrochanteric fractures (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesfragen/Orthopedic Trauma Association 31-A3.1): a finite-element analysis. *Chin Med J (Engl)*. 2020;133(22):2682-2687. doi: 10.1097/CM9.0000000000001031.
20. Liang Y, Liu S, Li L, Zhong F. Proximal femoral nail antirotation versus external fixation for unstable intertrochanteric fractures in elderly patients: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(28):e29384. doi: 10.1097/MD.00000000000029384.
21. Lee YK, Kim JT, Park CH, et al. Analysis of risk factor for nail breakage in patients with mechanical failures after proximal femoral nail antirotation in intertrochanteric fractures. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(25):e29436. doi: 10.1097/MD.00000000000029436.
22. Singh M, Nagrath AR, Maini PS. Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52(3):457-467.
23. Hao Z, Wang X, Zhang X. Comparing surgical interventions for intertrochanteric hip fracture by blood loss and operation time: a network meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2018;13(1):157. doi: 10.1186/s13018-018-0852-8.
24. Aguado-Maestro I, Escudero-Marcos R, García-García JM, et al. Results and complications of pertrochanteric hip fractures using an intramedullary nail with a helical blade (proximal femoral nail antirotation) in 200 patients. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2013;57(3):201-207. (In Span.) doi: 10.1016/j.recot.2013.03.001.
25. Green S, Moore T, Proano F. Bipolar prosthetic replacement for the management of unstable intertrochanteric hip fractures in the elderly. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;(224):169-177.
26. Tang P, Hu F, Shen J, et al. Proximal femoral nail antirotation versus hemiarthroplasty: a study for the treatment of intertrochanteric fractures. *Injury*. 2012;43(6):876-881. doi: 10.1016/j.injury.2011.11.008.
27. Fahad S, Nawaz Khan MZ, Khattak MJ, et al. Primary Proximal femur replacement for unstable osteoporotic intertrochanteric and subtrochanteric fractures in the elderly: A retrospective case series. *Ann Med Surg (Lond)*. 2019;44:94-97. doi: 10.1016/j.amsu.2019.07.014.
28. Haentjens P, Lamraski G. Endoprosthetic replacement of unstable, comminuted intertrochanteric fracture of the femur in the elderly, osteoporotic patient: a review. *Disabil Rehabil*. 2005;27(18-19):1167-1180. doi: 10.1080/09638280500055966.
29. Cai C, Tian L, Chen Z, et al. Cementless bipolar hemiarthroplasty compared with proximal femoral nail anti-rotation of unstable intertrochanteric fractures in senile patients with osteoporosis: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):461. doi: 10.1186/s12891-022-05426-2.
30. Lu X, Gou W, Wu S, et al. Complication Rates and Survival of Nonagenarians after Hip Hemiarthroplasty versus Proximal Femoral Nail Antirotation for Intertrochanteric Fractures: A 15-Year Retrospective Cohort Study of 113 Cases. *Orthop Surg*. 2023;15(12):3231-3242. doi: 10.1111/os.13913.
31. Saraf H, Munot S. Comparative study of PFN antirotation vs bipolar hemiarthroplasty in unstable senile intertrochanteric fractures. *Indian J Orthop Surg*. 2018;4(4):380-385. doi: 10.18231/2395-1362.2018.0073.
32. Song QC, Dang SJ, Zhao Y, et al. Comparison of clinical outcomes with proximal femoral nail anti-rotation versus bipolar hemiarthroplasty for the treatment of elderly unstable comminuted intertrochanteric fractures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):628. doi: 10.1186/s12891-022-05583-4.
33. Zhou S, Liu J, Zhen P, et al. Proximal femoral nail anti-rotation versus cementless bipolar hemiarthroplasty for unstable femoral intertrochanteric fracture in the elderly: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):500. doi: 10.1186/s12891-019-2793-8.
34. Zhou X, Chen T, Jiang YL, et al. Comparison of the clinical outcomes between proximal femoral nail anti-rotation with cement enhancement and hemiarthroplasty among elderly osteoporotic patients with intertrochanteric fracture. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25(1):290. doi: 10.1186/s12891-024-07414-0.

The article was submitted 04.04.2024; approved after reviewing 11.09.2024; accepted for publication 21.02.2025.

Статья поступила 04.09.2024; одобрена после рецензирования 11.09.2024; принята к публикации 21.02.2025.

Information about the authors:

I Gusti Agung Ditya Damara — MD, agungditya.journal@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-4871-6780>;

Nyoman Satria Nakayoshi Wijaya — MD, <https://orcid.org/0009-0006-0941-253X>;

I Wayan Suryanto Dusak — Professor, Hip and Knee Consultant.

Contribution of the authors:

Damara I.G.A.D. and Wijaya N.S.N. — acquisition of data, analysis and interpretation of data, wrote the first draft, study supervision.

Dusak I.W.S. — study concept and design, critical revision of manuscript for intellectual content.

Анатолий Григорьевич Каплунов (12.11.1936 – 16.03.2025)



16 марта на 89-м году ушел из жизни Анатолий Григорьевич Каплунов — кандидат медицинских наук, заслуженный врач России, один из первых учеников академика Г.А. Илизарова.

Анатолий Григорьевич Каплунов родился 12 ноября 1936 года. В 1960 году он окончил Сталинградский медицинский университет (ныне Волгоградский государственный медицинский университет) и навсегда избрал для себя специальность травматолога-ортопеда. Тогда же в Волгоград для набора молодых специалистов приехали представители Курганского госпиталя ветеранов войны, в котором открыли отделение еще неизвестного в то время хирурга-ортопеда, а впоследствии знаменитого академика Г.А. Илизарова.

А.Г. Каплунов переехал в Курган и начал работать с Илизаровым, а в 1969 году возглавил вновь созданный отдел по изучению компрессионно-дистракционного остеосинтеза при лечении заболеваний и деформаций опорно-двигательного аппарата у взрослых Курганского филиала Ленинградского НИИТО имени Вредена. Г.А. Илизаров так писал о своем ученике: «... Анатолий Каплунов, высокий, представительный молодой человек, сразу расположил к себе коллектив госпиталя. Рас-

положил энтузиазмом, старательностью, хорошей въедливостью в работу, чуткостью по отношению к больным и персоналу...».

В 1972 году Анатолий Григорьевич успешно защитил кандидатскую диссертацию «Лечение ложных суставов голени чрескостным компрессионно-дистракционным остеосинтезом по Г.А. Илизарову». В работе на большом клиническом материале он обобщил опыт использования аппарата и метода Илизарова при лечении пациентов сложнейшей патологии, доказав его значительные преимущества по сравнению с другими способами лечения.

В Центре Илизарова А.Г. Каплунов проработал 20 лет, являясь последние 10 лет заместителем директора по клинической работе, и внёс огромный вклад в развитие учреждения. Анатолий Григорьевич лично участвовал в лечении многих известных пациентов Центра: композитора Д.Д. Шостаковича, олимпийского чемпиона В. Брумеля, генерала армии А.П. Белобородова и других.

В 1979 году А.Г. Каплунов вернулся в Волгоград, где создал и возглавил областной ортопедический центр. Под его руководством в регионе начали широко применять метод Илизарова. Созданным центром он руководил до 2006 года, но и после ухода с поста много лет продолжал ежедневно консультировать пациентов. На счету Анатолия Григорьевича тысячи прооперированных пациентов, спасенных конечностей, возвращенных к обычной жизни людей.

В 2008 году вышла в свет книга А.Г. Каплунова «Неизвестный Илизаров: штрихи к портрету», в которой он рассказал о совместной работе с академиком Илизаровым: «...Мне выпала редчайшая удача — быть знакомым, учеником, сподвижником, в известной мере другом и доверенным лицом этого весьма незаурядного человека... Это был гениальный и одновременно обычный человек, и я оказался причастным к его Гению, к его человеческим радостям и слабостям... Такие личности — штучный товар исторического процесса».

Такой же особенной личностью, оставившей о себе прекрасные воспоминания, был и сам Анатолий Григорьевич Каплунов. Имя его навсегда сохранится в нашей памяти и в истории Центра Илизарова.

Коллектив Центра Илизарова и редакционная коллегия журнала «Гений ортопедии» скорбят и выражают соболезнования родным и близким Анатолия Григорьевича.

Главный редактор А.В. Бурцев

Компьютерная верстка М.А. Беляева

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Подписано в печать 17.04.2025. Дата выхода 28.04.2025

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 14,65

Тираж 75 экз. Заказ № 14739. Свободная цена

Адрес издателя, редакции журнала «Гений ортопедии»

640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

<http://ilizarov-journal.com>

Отпечатано в Типографии «Эталон». 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Трефолева, 2 литера БН, помещение 3-Н, офис 1

ilizarov-journal.com