

Научная статья

УДК [612.015.3:616.71-00]:617.586-089.152-001.58

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64>

Влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе

А.К. Мурсалов , А.М. Дзюба, А.С. Шипилов, М.С. Рогова, Е.А. Федотов

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

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Камалович Мурсалов, tamerlanmursalov@gmail.com

Аннотация

Введение. В последние годы растет количество ревизионных операций на стопе, что напрямую связано с увеличением количества хирургических вмешательств. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться, — это отсутствие консолидации после выполнения артродезирования и остеотомий. С экономической точки зрения ревизионные операции увеличивают срок нетрудоспособности пациентов и несут дополнительную материальную нагрузку на медицинские учреждения. Одним из ключевых параметров, приводящих к риску несращения и необходимости ревизионной операции в последующем, является нарушение костного метаболизма.

Цель работы — определить влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе и голеностопном суставе.

Материалы и методы. Проведено проспективное исследование с ретроспективным контролем, где сравнивали две группы пациентов в возрасте от 45 до 70 лет, которым требовалась ревизионная операция на стопе. Контрольная ретроспективная группа ($n = 36$) представлена пациентами, которым выполняли ревизионную операцию на стопе без предшествующей оценки состояния костного метаболизма. Проспективная группа ($n = 42$) представлена пациентами, которым в предоперационном периоде выполняли оценку состояния костного метаболизма с её последующей коррекцией при необходимости. Всем пациентам выполняли ревизионные операции на заднем и среднем отделах стопы в связи с отсутствием консолидации после проведения артродезирования соответствующих суставов. В предоперационном обследовании проводили рентгенографию стопы под нагрузкой в прямой и боковой проекциях, и проекции Зальцмана, а также компьютерную томографию с контралатеральной стороной.

Результаты. Выявлено, что средний срок от момента первичной консультации до хирургического лечения был выше у пациентов проспективной группы, чем контрольной: ($16,0 \pm 4,0$) нед. и ($8,0 \pm 1,7$) нед. соответственно. Средний срок консолидации/формирования анкилоза различался несущественно: контрольная группа — ($10,0 \pm 2,2$) нед., проспективная группа — ($8,0 \pm 1,5$) нед. Статистически значимая разница выявлена в частоте несращений между двумя группами: в контрольной группе — 14 % ($n = 5$), в проспективной — 2,4 % ($n = 1$).

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о клинической эффективности комплексного подхода к ревизионным операциям на стопе, включающего оптимизацию биологических факторов костного сращения. Внедрение протокола предоперационной оценки и коррекции костного метаболизма может значительно улучшить исходы ревизионных вмешательств, снизив риск повторных несращений и необходимость в дальнейших ревизиях.

Заключение. Срок от первичной консультации до ревизионной операции был выше в проспективной группе пациентов, срок консолидации костей не имел статистически значимой разницы. Частота несращений — выше в контрольной группе, где не проводили диагностику и коррекцию состояния костного метаболизма, что подчеркивает их важность для снижения количества последующих ревизионных операций на стопе и голеностопном суставе.

Ключевые слова: несращения, ревизионная операция, костный метаболизм, хирургия стопы, остеопороз

Для цитирования: Мурсалов А.К., Дзюба А. М., Шипилов А.С., Рогова М.С., Федотов Е.А. Влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе. *Гений ортопедии*. 2026;32(1):57-64. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64.



Metabolic bone abnormalities underlying nonunion in revision foot surgeries

A.K. Mursalov✉, A.M. Dzyuba, A.S. Shipilov, M.S. Rogova, E.A. Fedotov

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

Corresponding author: Anatoly K. Mursalov, tamerlanmursalov@gmail.com

Abstract

Introduction Revision foot surgery has increased in recent decades with the increasing surgical procedures. Nonunion is common after arthrodesis and osteotomies. From an economic perspective, revision surgery can be associated with greater length of disability imposing an additional financial burden on healthcare facilities. Impaired bone metabolism is one of the key factors leading to the risk of nonunion and a revision surgery.

The **aim** of the study was to determine the impact of metabolism bone abnormalities on the incidence of nonunion in revision foot and ankle surgery.

Material and methods A prospective study with retrospective control was conducted to compare two groups of patients aged 45 to 70 years who required revision foot surgery. The retrospective control group ($n = 36$) consisted of patients who had no bone metabolism assessment prior to revision foot surgery. The prospective group ($n = 42$) consisted of patients who underwent bone metabolism assessment preoperatively and subsequent correction if needed. Revision surgery was produced in the hindfoot and midfoot due to failed arthrodesis of the corresponding joints. AP and lateral weight-bearing radiographs of the foot, the Salzman view and a CT scan of the feet were produced preoperatively.

Results The mean period from the initial consultation to surgical treatment was longer in the prospective group than in controls: (16.0 ± 4.0) weeks and (8.0 ± 1.7) weeks, respectively. There were no significant differences in the mean period of consolidation/ankylosis measuring (10.0 ± 2.2) weeks in controls and (8.0 ± 1.5) weeks in the prospective group. A statistically significant difference was found in the frequency of non-unions between the two groups showing 14 % ($n = 5$) in controls and 2.4 % ($n = 1$) in the prospective group.

Discussion The findings demonstrated clinical effectiveness of a comprehensive approach to revision foot surgery including optimization of biological factors for bone union. Protocol for preoperative assessment and correction of bone metabolism can significantly improve outcomes of revision procedures reducing the risk of recurrent nonunions and the need for revisions.

Conclusion The time from initial consultation to revision surgery was longer in the prospective group of patients with no statistically significant differences in the time to bone consolidation. The nonunion rate was higher in the control group with no diagnosis and correction of bone metabolism diagnostics performed, highlighting the importance in reducing the rate of revision foot and ankle surgeries.

Keywords: nonunion, revision surgery, bone metabolism, foot surgery, osteoporosis

For citation: Mursalov AK, Dzyuba AM, Shipilov AS, Rogova MS, Fedotov EA. Metabolic bone abnormalities underlying nonunion in revision foot surgeries. *Genij Ortopedii*. 2026;32(1):57-64. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-1-57-64.

ВВЕДЕНИЕ

Частота ревизионных операций на стопе растет, что напрямую связано с увеличением количества хирургических вмешательств в целом. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться, — это отсутствие консолидации после выполнения артродезирования и остеотомий [1, 2]. По данным литературы, при тройном артродезе частота несращений варьирует от 0 % до 29 % [3]. Одним из ключевых параметров, приводящих к риску несращения и необходимости ревизионной операции в последующем, является нарушение костного метаболизма, которое может проявляться в различных формах [4].

Предоперационный протокол ревизионных вмешательств включает три последовательных этапа: диагностику, планирование и собственно ревизионную операцию. Диагностический этап инициируется комплексным клиническим обследованием с применением инструментальных и лабораторных методов исследования. Основная цель данного этапа — идентификация ключевых факторов, приведших к несостоятельности предшествующего хирургического вмешательства [5].

Этиологические факторы неудовлетворительных исходов можно разделить на две основные категории: механические и биологические. Механические факторы ассоциированы с нарушением алгоритмов хирургического вмешательства, в то время как биологические факторы обусловлены патофизиологическими изменениями в организме пациента, в частности, нарушениями костного метаболизма.

Диагностика механических факторов базируется преимущественно на клиническом осмотре и инструментальных методах исследования. К наиболее значимым механическим факторам относятся: нестабильность фиксации металлоконструкции, игнорирование биомеханических осей, недооценка роли связочного аппарата, а также, напротив, чрезмерная абсолютизация мягкотканых методик.

Для выявления биологических факторов, обуславливающих необходимость ревизионного вмешательства, требуется комплексное и детальное обследование пациента. Особое внимание биологическим факторам следует уделять при соблюдении всех механических условий, возрасте пациента старше 65 лет и присутствии сопутствующих соматических заболеваний. Инволюционные процессы в стопе и повышенный риск остеопороза являются характерными особенностями старения организма, особенно выраженными у женщин [6]. В современной научной литературе все чаще используют термин «стареющая стопа» [7], который отражает комплекс возрастных изменений в структуре и функции стопы. Однако важно отметить, что хронологический возраст не всегда коррелирует с функциональным статусом пациента.

Несмотря на то, что возраст является значимым фактором риска для развития остеопороза и других дегенеративных изменений стопы [8, 9], он не должен рассматриваться как единственный или решающий критерий при планировании лечения. Функциональный статус пациента может существенно варьировать в пределах одной возрастной группы, что обусловлено индивидуальными особенностями образа жизни, генетическими факторами и сопутствующими заболеваниями.

Таким образом, возраст пациента следует рассматривать как предостерегающий фактор, требующий более тщательной оценки состояния костной ткани и общего функционального статуса, но не как абсолютное противопоказание к определенным видам лечения. Индивидуальный подход, учитывающий комплекс факторов, позволяет оптимизировать тактику лечения и улучшать исходы у пациентов старшей возрастной группы.

Костный метаболизм представляет собой комплексный биохимический и биомеханический процесс, регулируемый множеством факторов, некоторые из которых поддаются количественной оценке и диагностике. Деформации стопы оказывают существенное влияние на костный метаболизм, что объясняется теорией механостата, также известной как закон Вольфа или теория Фроста [10]. Согласно этой теории, участки стопы, не подвергающиеся адекватной механической нагрузке, претерпевают адаптивные изменения, приводящие к снижению минеральной плотности костной ткани.

Помимо механических факторов, на костный метаболизм значительное влияние оказывают биохимические нарушения. Одним из ключевых факторов, способствующих развитию остеопороза, является дефицит витамина D, играющий критическую роль в кальциевом гомеостазе и минерализации костной ткани [11].

Для комплексной оценки состояния костного метаболизма и диагностики остеопороза рекомендуется проведение следующих лабораторных исследований [12]:

- *анализ крови*: общий анализ крови, коагулограмма, биохимия крови (глюкоза, креатинин, мочевины, общий билирубин, АсТ, АлТ, кальций общий, кальций ионизированный, фосфор, щелочная фосфатаза), витамин D крови, остеокальцин;
- *анализ мочи*: общий анализ мочи, дизоксипиридинолин, кальций и фосфор суточной мочи.

Интерпретацию результатов данных исследований должны осуществлять специалисты в области костного метаболизма (эндокринологи или сотрудники специализированных центров остеопороза). Это необходимо для корректной оценки состояния костного метаболизма, выбора оптимальной тактики лечения [13] и определения приоритетности между коррекцией метаболических нарушений и проведением ревизионного хирургического вмешательства.

Комплексный подход к диагностике и коррекции нарушений костного метаболизма позволяет оптимизировать тактику ведения пациентов с деформациями стопы и минимизировать риски послеоперационных осложнений.

Цель работы — определить влияние нарушений костного метаболизма на частоту несращений при ревизионных операциях на стопе и голеностопном суставе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное исследование с ретроспективным контролем проведено в период с 2018 по 2023 гг. на базе НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова.

Критерии включения в исследование:

- возраст от 18 до 75 лет;
- необходимость проведения ревизионной операции по поводу патологии стопы.

Критерии невключения:

- возраст до 18 и старше 75 лет;
- наличие тяжелых декомпенсированных соматических заболеваний;
- врожденные системные заболевания костной ткани;
- инфекционные поражения костей (остеомиелит);
- нарушение механических принципов фиксации.

Контрольная ретроспективная группа ($n = 36$) представлена пациентами, которым в 2018–2021 гг. выполняли ревизионную операцию на стопе без предшествующей оценки состояния костного метаболизма. Распределение по полу: 83 % женщин ($n = 30$), 17 % мужчин ($n = 6$). Средний возраст — $(63,0 \pm 5,4)$ года.

Проспективная группа ($n = 42$) представлена пациентами, которым в 2021–2023 гг. в предоперационном периоде выполняли оценку состояния костного метаболизма с её последующей коррекцией при необходимости. Распределение по полу: 81 % женщин ($n = 34$), 19 % мужчин ($n = 8$). Средний возраст — $(61,0 \pm 7,5)$ лет.

Возрастной диапазон в исследовании составил 45–70 лет. Все пациенты, включенные в исследование, вели обычный образ жизни без повышенных функциональных запросов. Среди них не было профессиональных спортсменов или лиц, чья повседневная активность существенно превышала бы среднестатистический уровень. Возрастные ограничения (18–75 лет) позволили охватить как относительно молодых пациентов без значительных ограничений подвижности, так и пациентов старшего возраста с умеренными нарушениями функции голеностопного сустава, однако ни у одного из них не отмечалось крайне выраженных ограничений трудоспособности или передвижения.

Всем пациентам выполняли ревизионную операцию на заднем и среднем отделах стопы в связи с отсутствием консолидации после выполненных ранее операций по коррекции приобретенных деформаций.

Патологии:

- ригидная плоско-вальгусная деформация, не отягощенная тяжелыми декомпенсированными соматическими заболеваниями;
- посттравматический артроз голеностопного сустава, подтаранного сустава и суставов среднего отдела стопы;
- приобретенные деформации, образовавшиеся в исходе асептического некроза костей стопы (синдром Мюллера – Вейса).

Остеосинтез проводили с помощью преформированных минипластин или канюлированных винтов, без использования аппаратов наружной фиксации. Также в ходе операции при необходимости использовали костные аллотрансплантаты. Оперативное пособие осуществляла одна хирургическая бригада 13-го отделения НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова. Распределение по локализации проведения ревизионной операции представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение пациентов по локализации сегмента, на котором выполнена ревизионная операция

Локализация несостоявшегося анкилоза	Контрольная группа (n = 36)		Проспективная группа (n = 42)	
	абс.	%	абс.	%
Таранно-ладьевидный сустав	6	17	8	19
Подтаранный сустав	15	42	15	36
Голеностопный сустав	10	28	9	21
Два и более сустава	5	14	10	24

Несмотря на смещение в проспективной группе в сторону ревизионных операций при сочетанных несращениях в различных отделах стопы, группы могут считаться репрезентативными.

В рамках исследования выполнено инструментальное обследование пациентов:

- рентгенография стопы под нагрузкой в прямой, боковой проекциях и проекции Зальцмана для оценки анатомических осей стопы;
- компьютерная томография с контралатеральной конечностью для оценки состояния костной ткани, планируемого объема резекции и последующей костной пластики.

В проспективной группе использовали лабораторные методы исследования для оценки состояния костного метаболизма и последующей коррекции параметров при необходимости (табл. 2). Дефицит витамина D (< 30 нг/мл) выявлен у 76 % пациентов. Гипокальциемия и снижение остеокальцина свидетельствуют о нарушении процессов ремоделирования костной ткани. Коррекцию этих параметров (например, назначение витамина D и препаратов кальция) проводили до достижения целевых значений, что, вероятно, способствовало снижению частоты несращениях во второй группе. В таблице 2 представлены количественные значения показателей костного метаболизма в проспективной группе.

Таблица 2

Показатели костного метаболизма у пациентов проспективной группы (n = 42)

Параметр	Среднее значение ± SD	Референсные значения	Пациенты с отклонениями	
			абс.	%
Витамин D (нг/мл)	25,0 ± 6,4*	30–100	32	76
Кальций общий (ммоль/л)	2,12 ± 0,15	2,15–2,55	19	45
Кальций ионизированный (ммоль/л)	1,02 ± 0,08	1,12–1,32	22	52
Фосфор (ммоль/л)	0,87 ± 0,12*	0,81–1,45	10	24
Щелочная фосфатаза (Ед/л)	98 ± 32	40–150	5	12
Остеокальцин (нг/мл)	14,5 ± 4,1*	11–43	13	31

В рамках исследования проводили оценку сроков достижения консолидации по результатам компьютерной томографии. При этом критериями консолидации служили наличие «кортикального мостика» и формирование трабекулярного костного рисунка через линию перелома, что является общепринятым подходом.

Также выполняли оценку среднего срока от первичной консультации до проведения хирургического вмешательства. Данный параметр косвенно связан с экономическими затратами на лечение пациентов, так как увеличение сроков нетрудоспособности приводит к снижению экономической эффективности применяемой модели.

Ключевым фактором сравнения эффективности подходов была оценка частоты несращениях в ретроспективной и проспективной группах после выполнения ревизионных операций. Для проведения статистического анализа использовали критерий хи-квадрата Пирсона ввиду его эффективности и простоты применения для оценки значимости различий в группах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам статистического исследования выявлено, что средний срок от момента первичной консультации до хирургического лечения был выше у пациентов проспективной группы, чем у контрольной, соответственно (16,0 ± 4,0) и (8,0 ± 1,7) нед. Обусловлено данное явление тем, что в проспективной группе в среднем требовалось 3–4 недели для сдачи лабораторных анализов и последующей интерпретации результатов. При наличии метаболических расстройств пациентам назначали соответствующую консервативную терапию, направленную на коррекцию показателей метаболизма костной ткани с контрольной сдачей анализов. И только по достижению референсных показателей пациентам

проводили хирургическое лечение. В ряде случаев операции проводили на фоне назначенной терапии (например, при изолированном дефиците витамина D), и в таких случаях удавалось сократить сроки ожидания хирургического вмешательства.

Средний срок консолидации не имел статистически значимой разницы: проспективная группа — $(10,0 \pm 2,2)$ нед., контрольная группа — $(8,0 \pm 1,5)$ нед. Данное явление связано с тем фактом, что коррекция процессов показателей костного метаболизма просто восстанавливает нормальную биологию, а не форсирует её. Соответственно, ожидать сокращения сроков консолидации нецелесообразно.

При оценке частоты несращений получены следующие результаты: в ретроспективной группе частота несращений составила 14 % ($n = 5$), в проспективной группе — всего лишь 2,4 % ($n = 1$). Распределение пациентов по локализации несращений после ревизионного хирургического вмешательства представлены в табл. 3

Таблица 3

Локализация несращений после проведенной ревизионной операции

Локализация несостоявшегося анкилоза	Контрольная группа ($n = 36$)		Проспективная группа ($n = 42$)	
	абс.	%	абс.	%
Таранно-ладьевидный сустав	0	0	0	0
Подтаранный сустав	2	5,6	0	0
Голеностопный сустав	2	5,6	0	0
Два и более сустава	1	2,8	1	2,4
Всего	5	14,0	1	2,4

При этом на основании расчета критерия хи-квадрат выявлено, что различия в частоте несращений между контрольной и проспективной группами не являются статистически значимыми на уровне значимости 0,05. Однако наблюдается уверенная тенденция к меньшей частоте несращений в проспективной группе, что может быть предметом дальнейшего исследования. Вероятно, при расчете на больших группах будут получены статистически значимые различия, на основе которых уже можно будет сделать убедительные выводы об эффективности используемой модели.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ научной литературы показывает, что несращение является одним из статистических важных осложнений при ревизионных операциях на стопе.

Результаты исследования В. Chrea et al. показали, что послеоперационные осложнения при вмешательствах на стопе и голеностопном суставе негативно влияют на удовлетворенность пациентов результатами независимо от предоперационных ожиданий [14]. Этот эффект сохраняется даже после полного восстановления функционального статуса пациентов.

N. Greer et al. приводят показатели несращения после артродеза стопы и голеностопного сустава, которые составляют от 0 % до 36 % при среднем показателе от 10 % до 11 % [15]. В исследовании М. Chraim et al. [16] частота несращений после артродеза подтаранного сустава составила около 20 %. N.M. Rao сообщает, что у 100 % пациентов с несращением при артродезе голеностопного сустава наблюдают дефицит витамина D. Контролируемый риск (витамин D, курение) и неконтролируемый риск (диабет) следует оценивать при постановке диагноза «несращение голеностопного сустава» после артродезирования [17].

D.V. Cardoso et al. указывают, что определение лиц, подверженных риску развития несращения, важно для снижения частоты несращений и улучшения результатов лечения [18]. Авторы выявили несколько модифицируемых факторов риска, связанных с неблагоприятными исходами после артродеза стопы и голеностопного сустава. Факторы риска, связанные с пациентом, на которые можно повлиять до операции, включают отказ от курения, контроль диабета ($HbA1c < 7\%$) и прием добавок витамина D. Влияние курения на результаты операций, проводимых на стопе и голеностопном суставе, выше, чем на других сегментах. Это связано с тем, что никотин снижает уровень простоциклинов, что приводит к сужению сосудов и гипоперфузии тканей. Кроме того, есть данные, указывающие на связь между курением, низкой минеральной плотностью костной ткани и замедленным сращением переломов. Сахарный диабет также негативно влияет на репаративные способности костной ткани. Гипергликемия и недостаток инсулина приводят к апоптозу хондроцитов и остеобластов, что может способствовать возникновению несращений при операциях на стопе. Плохо контролируемый уровень глюкозы у пациентов с диабетом ведет к двукратному повышению вероятности развития послеоперационных несращений. Уровень витамина D является низким у 70 % пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата и крайне низким у 22 % пациентов, проходящих плановые процедуры на стопе и голеностоп-

ном суставе. При низком уровне витамина D всасывание кальция и фосфата в кишечнике снижается, вызывая повышение паратиреоидного гормона, приводящее к росту активности остеокластов и снижению плотности костной ткани [18].

V. Anciano et al. провели анализ дефицита витамина D при несращении артродеза стопы и голеностопного сустава. В общей сложности 13 пациентов, у которых развилось несращение, согласились на повышение уровня витамина D, у 11 из них был низкий уровень витамина D (среднее значение = 14,6 нг/мл, диапазон = 9–24 нг/мл). Пяти пациентам выполнен ревизионный артродез после нормализации уровня витамина D, у четырех из пяти пациентов проведено успешное сращение. Авторы сделали вывод, что гиповитаминоз D может быть модифицируемым фактором риска несращения после обширной процедуры артродеза стопы и голеностопного сустава. Хирурги-ортопеды должны рассмотреть возможность скрининга и дополнительного приема витамина D у пациентов, проходящих плановые процедуры артродеза [19].

В контексте коррекции нарушений костного метаболизма перспективным представляется применение комбинированных препаратов, содержащих витамин D3 и K2. Витамин D3 улучшает всасывание кальция, а витамин K2 активирует остеокальцин и матриксный Gla-белок, что способствует направленной минерализации костной ткани и снижает риск кальцификации мягких тканей. Хотя мы в исследовании такие препараты не использовали, их включение в протокол предоперационной подготовки могло бы усилить эффект коррекции метаболических нарушений, особенно у пациентов с остеопорозом или резистентностью к монотерапии витамином D [20].

Из представленных исследований можно заключить, что модифицируемые факторы риска, в том числе нарушение костного метаболизма, увеличивают опасность возникновения несращений при хирургических вмешательствах на стопе и голеностопном суставе, а заблаговременная диагностика и коррекция нарушений костного метаболизма снижают частоту несращений и необходимость повторных операций [21].

В рамках данного исследования мы не проводили оценку гормонального фона (например, уровня паратиреоидного гормона, тестостерона, эстрогенов), что является ограничением работы. Однако учитывая известное влияние эндокринных нарушений на костный метаболизм, мы считаем целесообразным дальнейшее изучение этой взаимосвязи. Скрининг гормонального профиля у всех пациентов перед ревизионными операциями может быть затруднен из-за экономических и организационных ограничений. Мы рекомендуем проводить его выборочно, например, у пациентов с рефрактерными нарушениями минерального обмена или при подозрении на эндокринопатию. Мы также подчеркиваем важность оценки показателей костного метаболизма у пациентов, нуждающихся в ревизионных операциях на стопе, и планируем провести дальнейшее исследование для более глубокого понимания взаимосвязи между костным метаболизмом и исходами хирургического лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Срок от первичной консультации до ревизионной операции был ожидаемо выше в проспективной группе пациентов, что связано с затратами времени на оценку и коррекцию костного метаболизма. Срок консолидации костей в группах не имел статистически значимой разницы. Частота несращений была выше в контрольной группе, где не проводили диагностику и коррекцию костного метаболизма. Это подчеркивает важность своевременной диагностики и лечения, которые могут помочь снизить количество ревизионных операций, связанных с несращением, обусловленным нарушением метаболического обмена костной ткани.

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

Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Thevendran G, Wang C, Pinney SJ, et al. Nonunion Risk Assessment in Foot and Ankle Surgery: Proposing a Predictive Risk Assessment Model. *Foot Ankle Int.* 2015;36(8):901-907. doi: 10.1177/1071100715577789.
2. Greene H, Dodd A, Le I, LaMothe J. Nonunion in foot and ankle arthrodesis surgery: review of risk factors, identification of high-risk patients, and a guide to perioperative testing and optimization. *J Am Acad Orthop Surg.* 2024. doi: 10.5435/JAAOS-D-24-00500.
3. Perkins JM, Vacketta VG, Prissel MA. Triple Arthrodesis: How to Manage Failures, Malunion, and Nonunion. *Clin Podiatr Med Surg.* 2023;40(4):649-668. doi: 10.1016/j.cpm.2023.05.008.
4. Brinker MR, O'Connor DP, Monla YT, Earthman TP. Metabolic and endocrine abnormalities in patients with nonunions. *J Orthop Trauma.* 2007;21(8):557-70. doi: 10.1097/BOT.0b013e31814d4dc6.
5. Moore KR, Howell MA, Saltrick KR, Catanzariti AR. Risk Factors Associated With Nonunion After Elective Foot and Ankle Reconstruction: A Case-Control Study. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56(3):457-462. doi: 10.1053/j.jfas.2017.01.011.

6. Salari N, Darvishi N, Bartina Y, et al, Mohammadi M. Global prevalence of osteoporosis among the world older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):669. doi: 10.1186/s13018-021-02821-8.
7. Kakagia DD, Karadimas EJ, Stouras IA, Papanas N. The Ageing Foot. *Int J Low Extrem Wounds.* 2023;15347346231203279. doi: 10.1177/15347346231203279.
8. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Strom O, et al. Case finding for the management of osteoporosis with FRAX--assessment and intervention thresholds for the UK. *Osteoporos Int.* 2008;19(10):1395-1408. doi: 10.1007/s00198-008-0712-1.
9. Cosman F, de Beur SJ, LeBoff MS, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2014;25(10):2359-2381. doi: 10.1007/s00198-014-2794-2.
10. Frost HM. Bone's mechanostat: a 2003 update. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2003;275(2):1081-1101. doi: 10.1002/ar.a.10119.
11. Romano F, Serpico D, Cantelli M, et al. Osteoporosis and dermatoporosis: a review on the role of vitamin D. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1231580. doi: 10.3389/fendo.2023.1231580.
12. Rentzeperi E, Pegiou S, Tsakiridis I, et al. Diagnosis and Management of Osteoporosis: A Comprehensive Review of Guidelines. *Obstet Gynecol Surv.* 2023;78(11):657-681. doi: 10.1097/OGX.0000000000001181.
13. Nuti R, Brandi ML, Checchia G, et al. Guidelines for the management of osteoporosis and fragility fractures. *Intern Emerg Med.* 2019;14(1):85-102. doi: 10.1007/s11739-018-1874-2.
14. Chrea B, Day J, Henry J, et al. Influence of complications and revision surgery on fulfillment of expectations in foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int.* 2021;42(7):859-866. doi: 10.1177/1071100720985231.
15. Greer N, Yoon P, Majeski B, Wilt TJ. *Orthobiologics in foot and ankle arthrodesis sites: a systematic review [Internet].* Washington (DC): Department of Veterans Affairs (US); 2020.
16. Chraim M, Recheis S, Alrabai H, et al. Midterm outcome of subtalar joint revision arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2021;42(7):824-832. doi: 10.1177/1071100721995187.
17. Rao NM, Ligas C. The Ankle Joint: Revision Ankle Fusion Options, Nonunion, Malunion, Protocol for Best Outcome. *Clin Podiatr Med Surg.* 2023;40(4):703-710. doi: 10.1016/j.cpm.2023.05.011.
18. Cardoso DV, Veljkovic A. General Considerations About Foot and Ankle Arthrodesis. Any Way to Improve Our Results? *Foot Ankle Clin.* 2022;27(4):701-722. doi: 10.1016/j.fcl.2022.08.007.
19. Anciano V, Tran SK, Carr JB, et al. Incidence of vitamin D deficiency in foot and ankle arthrodesis nonunions. *Cureus.* 2024;16(3):e57028. doi: 10.7759/cureus.57028.
20. van Ballegooijen AJ, Pilz S, Tomaschitz A, et al. The Synergistic Interplay between Vitamins D and K for Bone and Cardiovascular Health: A Narrative Review. *Int J Endocrinol.* 2017;2017:7454376. doi: 10.1155/2017/7454376.
21. Barvencik F. Medication and bone metabolism: Clinical importance for fracture treatment. *Unfallchirurg.* 2015;118(12):1017-1024. (In German). doi: 10.1007/s00113-015-0109-5.

Статья поступила 18.03.2025; одобрена после рецензирования 27.06.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 18.03.2025; approved after reviewing 27.06.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах:

Анатолий Камалович Мурсалов — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, tamerlanmursalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>;

Алексей Михайлович Дзюба — врач — травматолог-ортопед, minzdrav2008@mail.ru;

Мария Сергеевна Рогова — врач — травматолог-ортопед, m.rogova24@mail.com;

Александр Сергеевич Шпилов — ординатор, shipiloffsasha12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3036-872X>;

Евгений Андреевич Федотов — ординатор, orthodoc.fedotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8211-0184>.

Information about the authors:

Anatoly K. Mursalov — Candidate of Medical Sciences, associate professor at the Department, tamerlanmursalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3829-5524>;

Alexey M. Dzyuba — orthopaedic surgeon, minzdrav2008@mail.ru;

Mariya S. Rogova — orthopaedic surgeon, m.rogova24@mail.com;

Alexander S. Shipilov — resident, shipiloffsasha12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3036-872X>;

Eugene A. Fedotov — resident, orthodoc.fedotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8211-0184>.