

Последовательный остеосинтез в условиях современных вооружённых конфликтов

А.А. Керимов<sup>1</sup>, И.В. Хоминец<sup>1</sup>, С.Н. Переходов<sup>2</sup>, Н.С. Козлов<sup>2</sup>, К.К. Бекшоков<sup>3</sup>,  
М.Н. Нелин<sup>1</sup>, Е.А. Кукушко<sup>1</sup>, В.Д. Беседин<sup>1</sup>, С.И. Твердохлебов<sup>4</sup>, А.И. Козельская<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Главный военный клинический госпиталь им. Н.Н. Бурденко, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Российский университет медицины, Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия;

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томский политехнический университет), Томск, Россия

Аннотация

**Обоснование.** В условиях современных вооружённых конфликтов в структуре боевых санитарных потерь по-прежнему преобладают ранения конечностей, составляя от 55 до 75% от их общего числа. На протяжении длительного времени в нашей стране для лечения данной категории пациентов применяли методику чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову. Однако в нынешних условиях массового поступления раненых в центральные военно-медицинские организации возникает необходимость в улучшении качества и сокращении сроков их лечения. Одним из способов оптимизации лечения является применение последовательного внутреннего остеосинтеза. А внедрение внутренних фиксаторов с антибактериальным покрытием позволяет снизить количество инфекционных осложнений при проведении последовательного остеосинтеза.

**Цель.** Проанализировать на основе нашего клинического опыта и данных мировой литературы эффективность применения методики последовательного остеосинтеза при лечении раненых с огнестрельными переломами длинных костей конечностей в условиях нынешнего вооружённого конфликта.

**Материалы и методы.** Работа основана на анализе результатов лечения 320 пациентов с ранениями верхних и нижних конечностей, находившихся на этапе оказания специализированной медицинской помощи в центре травматологии и ортопедии Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко Министерства обороны Российской Федерации. В зависимости от используемой методики остеосинтеза пациенты были разделены на три группы. Все пациенты были лицами мужского пола в возрасте от 18 до 59 лет, их средний возраст составил  $32,2 \pm 9,02$  года. Всем пациентам выполнялись этапные рентгенограммы после проведения остеосинтеза. Функциональный результат лечения при переломах плечевой кости оценивался по шкале DASH, а функциональный результат при переломах бедренной и большеберцовой кости — по шкале Neer-Grantham-Shelton.

**Результаты.** Пациентов с переломами плечевой кости было 90 (28,125%), а с ранениями нижних конечностей, сопровождающимися переломами бедренной и большеберцовой кости — 230 (71,875%). У 288 раненых (90%) преобладали осколочные ранения и/или взрывные повреждения. При сравнении групп пациентов между собой отмечено, что использование внутренних имплантатов с антибактериальным покрытием позволяет

значимо ( $p < 0,0167$ ) сократить сроки перехода с внешней фиксации на внутреннюю, а также снизить риск развития инфекционных осложнений.

**Заключение.** Последовательный остеосинтез хорошо зарекомендовал себя как двухэтапный метод лечения раненых с переломами длинных костей конечностей и в условиях современного вооружённого конфликта рассматривается как основной метод терапии изолированных и множественных неосложнённых огнестрельных переломов при строгом соблюдении определённых рекомендаций. Кроме того, на нынешнем этапе развития травматологии и ортопедии существует возможность применения имплантатов с антибактериальным покрытием, что позволяет снизить риск развития инфекционных осложнений.

**Ключевые слова:** остеосинтез переломов; огнестрельные ранения; антибактериальное покрытие; переломы костей конечностей.

*Как цитировать:*

Керимов А.А., Хоминец И.В., Переходов С.Н., Козлов Н.С., Бекшоков К.К., Нелин М.Н., Кукушко Е.А., Беседин В.Д., Твердохлебов С.И., Козельская А.И. Последовательный остеосинтез в условиях современных вооружённых конфликтов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2025. Т. 32, № 2. С. XXX–XXX. DOI: 10.17816/vto643121 EDN: YVRMAJ

**Рукопись получена:** 17.12.2024

**Рукопись одобрена:** 29.01.2025

**Опубликована online:** 22.05.2025

Successive osteosynthesis in the context of modern armed conflicts

Artur A. Kerimov<sup>1</sup>, Igor V. Khominets<sup>1</sup>, Sergey N. Perekhodov<sup>2</sup>, Nikolay S. Kozlov<sup>2</sup>, Kazbek K. Bekshokov<sup>3</sup>, Maxim N. Nelin<sup>1</sup>, Evgeny A. Kukushko<sup>1</sup>, Vladimir D. Besedin<sup>1</sup>, Sergey I. Tverdokhlebov<sup>4</sup>, Anna I. Kozelskaya<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Russian University of Medicine, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

<sup>4</sup> National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk Polytechnic University), Tomsk, Russia

### Annotation

**Background:** In the conditions of modern armed conflicts, limb injuries still prevail in the structure of combat sanitary losses, accounting for 55% to 75% of their number. For a long time in our country, the method of percutaneous compression-distraction osteosynthesis according to G.A. Ilizarov has been used to treat this category of patients. However, in the current conditions of mass admission of the wounded to the central military medical organizations, there is a need to improve the quality and shorten the duration of their treatment. One of the ways to optimize treatment is the use of successive internal osteosynthesis. And the introduction of internal fixators with antibacterial coating reduces the number of infectious complications during sequential osteosynthesis.

**Aim:** To analyze, based on our clinical experience and data from the world literature, the effectiveness of the method of sequential osteosynthesis in the treatment of wounded with gunshot fractures of long limb bones in the current armed conflict.

**Materials and methods:** The work is based on the analysis of the treatment results of 320 patients with upper and lower limb injuries who were receiving specialized medical care at the Traumatology and Orthopedics Center of the Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Depending on the osteosynthesis technique used, the patients were divided into three groups. All patients were male, aged 18 to 59 years, their average age was 32.2±9.02 years. All patients underwent stage radiographs after osteosynthesis. The functional outcome of treatment for humeral fractures was assessed using the DASH scale, and the functional outcome for femur and tibia fractures was assessed using the Neer-Grantham-Shelton scale.

**Results:** There were 90 (28.125%) patients with fractures of the humerus, and 230 (71.875%) patients with injuries of the lower extremities accompanied by fractures of the femur and tibia. Shrapnel wounds and/or explosive injuries prevailed in 288 wounded (90%). When comparing groups of patients with each other, it was noted that the use of internal implants with antibacterial coating significantly ( $p < 0.0167$ ) reduces the time of transition from external fixation to internal fixation, as well as reduces the risk of infectious complications.

**Conclusion:** Sequential osteosynthesis has proven itself as a two-stage method of treating wounded patients with fractures of long bones of the extremities and in the conditions of modern

armed conflict is considered as the main method of treating isolated and multiple uncomplicated gunshot fractures with strict adherence to certain recommendations. In addition, at the current stage of development of traumatology and orthopedics, there is a possibility of using implants with antibacterial coating, which reduces the risk of infectious complications.

**Keywords:** fracture osteosyntheses; gunshot wounds; antibacterial agents; fractures of limb bones.

*To cite this article:*

Kerimov AA, Khominets IV, Perekhodov SN, Kozlov NS, Bekshokov KK, Nelin MN, Kukushko EA, Besedin VD, Tverdokhlebov SI, Kozelskaya AI. Successive osteosynthesis in the context of modern armed conflicts. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025;32(2):XXX–XXX. DOI: [10.17816/vto643121](https://doi.org/10.17816/vto643121) EDN: YVRMAJ

**Received:** 17.12.2024

**Accepted:** 29.01.2025

**Published online:** 22.05.2025

## ОБОСНОВАНИЕ

Лечение раненых с боевыми повреждениями конечностей является одной из важнейших задач военной травматологии и ортопедии. Военно-медицинская статистика вооружённых конфликтов последних десятилетий, со времён войны в Афганистане до специальной военной операции, свидетельствует о том, что, независимо от интенсивности боевых действий и используемого вооружения, в структуре боевых санитарных потерь по-прежнему преобладают ранения конечностей, составляя от 55 до 75% от их общего числа [1–4].

В настоящее время военная медицина столкнулась с новыми трудностями при лечении пациентов, получивших ранения в условиях современных вооружённых конфликтов, что обусловлено рядом причин.

Во-первых, существенно изменился характер ведения боевых действий. Отмечается широкое использование высокоточного дальнобойного оружия с большой поражающей способностью, массированное применение беспилотных летательных аппаратов, использование кассетных боеприпасов, в то время как стрелковый бой становится редкостью, а средства индивидуальной бронезащиты не способны обеспечить защиту личного состава от новых видов боеприпасов.

Во-вторых, в структуре современных санитарных потерь отмечается преобладание осколочных ранений и взрывных поражений (до 90%).

В-третьих, применение современной концепции лечебно-эвакуационных мероприятий (сокращение этапов медицинской эвакуации и сроков оказания специализированной помощи) и более совершенных средств оказания первой медицинской помощи приводит к снижению летальности на передовых этапах и соответствующему увеличению числа пациентов в крайне тяжёлом состоянии, попадающих в центральные военно-медицинские организации [1–3, 5].

Все вышеизложенное, в свою очередь, заставляет оптимизировать тактику и усовершенствовать методики оказания специализированной травматологической помощи раненым [3, 5, 6].

**Цель исследования** — оценить эффективность методики последовательного остеосинтеза при лечении пациентов с огнестрельными переломами длинных костей конечностей в условиях современного вооружённого конфликта.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### *Дизайн исследования*

Проведено многоцентровое проспективное когортное контролируемое исследование.

### *Условия проведения*

Работа основана на анализе результатов лечения 320 пациентов с ранениями верхних и нижних конечностей, которым оказывали специализированную медицинскую помощь в центре травматологии и ортопедии Главного военного клинического госпиталя (ГВКГ) им. Н.Н. Бурденко Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) в период с 2022 по 2024 г.

Все пациенты являлись военнослужащими мужского пола, возраст которых составил от 18 до 59 лет (средний возраст —  $32,2 \pm 9,02$  года). Тяжесть и характер повреждений у всех раненых были сопоставимы, все пациенты поступили с передовых этапов медицинской эвакуации на этап специализированной помощи в центр травматологии и ортопедии ГВКГ им. Н.Н. Бурденко МО РФ. Всем пациентам выполняли ранний последовательный остеосинтез в сроки до 6 недель с момента получения ранения, на следующий день после операции выполняли контрольную рентгенографию в двух проекциях.

В нашем исследовании пациенты были разделены на три группы (рис. 1):

- I группа — пациенты, которым выполняли последовательный остеосинтез стандартными металлоконструкциями: в ближайшие часы после ранения для иммобилизации повреждённой конечности накладывали аппарат внешней фиксации (АВФ), а после нормализации общего состояния и заживления ран осуществляли конверсию наружного фиксатора на внутренний (накостные пластины, интрамедуллярные штифты);
- II группа — пациенты, которым с целью профилактики инфекционных осложнений при повышенных лабораторных показателях маркеров воспаления и/или незажившей раны выполняли последовательный остеосинтез имплантатами с композитным антибактериальным покрытием, завершали операцию закрытием раны наложением вторичных швов или пластикой местными тканями [7];
- III группа — пациенты с осложнённым течением раневого процесса, которым вследствие наличия высокого риска прогрессирования инфекции при применении внутренней фиксации стержневой АВФ был заменён на спице-стержневой аппарат внутренней фиксации по Г.А. Илизарову.

#### *Критерии соответствия*

*Критерии включения:* наличие у пациентов, которым выполняли последовательный остеосинтез, изолированных или множественных переломов диафизов плечевой, бедренной и/или большеберцовой кости огнестрельного генеза; наличие информированного добровольного согласия на участие в исследовании.

*Критерии невключения:* сочетанный характер ранения; наличие у пациентов иммунокомпрометирующих заболеваний и хронических очагов инфекции.

*Критерии исключения:* отказ пациента от участия в исследовании; невозможность наблюдения за пациентом в течение не менее 6 месяцев после проведения остеосинтеза.

#### *Описание медицинского вмешательства*

Всем пациентам, включённым в настоящее исследование, был проведён последовательный остеосинтез огнестрельных переломов длинных костей конечностей с заменой аппаратов внешней фиксации на погружные имплантаты или на спице-стержневые АНФ по Г.А. Илизарову с применением стандартных хирургических методик.

#### Этическая экспертиза

Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в данном исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала в период своего лечения в ГВКГ им. Н.Н. Бурденко. Исследование было одобрено этическим комитетом 24.05.2023 г. (выписка из протокола независимого этического комитета № 266 от 24 мая 2023 года).

#### Статистический анализ

Проверку нормальности количественных показателей осуществляли при помощи критерия Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса. В соответствии с результатами проверки распределение исследуемых показателей отличается от нормального, поэтому количественные значения представлены в виде медианы (Me) и межквартильного диапазона (IQR). А для межгруппового сравнения использовали непараметрический критерий Краскела–Уоллиса. В случае обнаружения различий ( $p < 0,0167$ ) производился апостериорный анализ методом попарных сравнений с использованием критерия Манна–Уитни, учитывая поправку Бонферрони, статистически значимыми считались различия при показателях  $p < 0,0167$ . Связь между признаками изучали с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Функциональные результаты проведённого оперативного лечения оценивали в сроки от 6 до 12 месяцев после операции. Для оценки функции верхних конечностей применяли опросник DASH. Для оценки функции нижних конечностей нами была использована шкала Neer-Grantham-Shelton.

Ранения плеча с переломами плечевой кости составили 90 (28,125%) случаев от общего числа пострадавших, ранения нижних конечностей — 230 (71, 875%). У 288 раненых (90%) повреждения имели осколочный или взрывной характер. При ранениях верхних конечностей чаще поражались проксимальные отделы плечевой кости (51,25%), в то время как при ранениях нижних конечностей — дистальные отделы (42%) (табл. 1, 2) [2–6, 8, 9].

**Таблица 1.** Распределение пациентов по поражённым сегментам,  $n$  (%)

**Table 1.** Distribution of patients by affected segments,  $n$  (%)

Сегмент конечностей	Исследуемая выборка ( $n=320$ )		
	I группа, $n=167$ (52,18%)	II группа, $n=68$ (21,25%)	III группа, $n=85$ (26,56%)
Плечо	54 (32,33)	28 (41,17)	8 (9,41%)
Бедро	64 (38,32)	33 (48,52)	12 (14,11%)
Голень	49 (29,34)	7 (10,3)	65 (76,47%)

Сегмент конечностей	I группа (n=167)		II группа (n=68)	
	Накостный остеосинтез	Интрамедуллярный остеосинтез	Накостный остеосинтез	Интрамедуллярный остеосинтез
Плечо	18 (10,77)	36 (21,55)	6 (8,82)	22 (32,35)
Бедро	19 (11,37)	45 (26,94)	9 (13,23)	24 (35,29)
Голень	12 (7,18)	37 (22,15)	2 (2,94)	5 (7,35)
Всего	49 (29,34)	118 (70,65)	17 (25)	51 (75)

**Таблица 2.** Распределение пациентов в I и II группе по методу остеосинтеза, n (%)

*Примечание.* Всем пациентам III группы выполняли остеосинтез в аппарате внешней фиксации по методу Г.А. Илизарова.

**Table 2.** Distribution of patients in groups I and II by osteosynthesis method, n (%)

*Note.* All patients in group III underwent osteosynthesis in an external fixation apparatus using the G.A. Ilizarov method.

В качестве основного метода лечения, при возможности его выполнения, нами был использован метод последовательного остеосинтеза.

Последовательный остеосинтез — это двухэтапная методика лечения раненых и пострадавших с переломами длинных костей конечностей. Первым этапом является фиксация отломков костей аппаратом внешней фиксации с целью их стабилизации и минимизации травмы мягких тканей, а вторым этапом после улучшения состояния раненого, заживления ран и при отсутствии признаков инфекции выполняют замену внешнего фиксатора на внутренний [5].

Критериями перехода к внутренней фиксации в нашем исследовании являлись неосложнённое течение раневого процесса, отсутствие признаков воспаления в парастержневых / параспицевых тканях, отсутствие в анализах крови значимого повышения значений маркеров инфекционно-воспалительного процесса (показатели С-реактивного белка, уровень лейкоцитов). Обязательной являлась антибактериальная терапия в послеоперационном периоде.

В тех случаях, когда раннее проведение последовательного остеосинтеза не представлялось возможным вследствие наличия у пациентов незаживших ран мягких тканей в области перелома, значимого повышения маркеров инфекционно-воспалительного процесса в лабораторных анализах и патологического отделяемого из ран нами применялась методика компрессионно-дистракционного остеосинтеза спице-стержневым аппаратом



наружной фиксации по Г.А. Илизарову или использовались погружные фиксаторы с антибактериальным композитным покрытием.

Впервые в РФ интрамедуллярные штифты с антибактериальным покрытием на основе полиметилметакрилата с добавлением гентамицина и ванкомицина были применены при лечении открытых переломов костей в 2007 году [10]. Данная методика имеет как известные положительные, так и отрицательные стороны [11–15].

Однако в связи с высокими рисками развития инфекционных осложнений у пациентов с огнестрельными переломами в послеоперационном периоде с целью оптимизации процесса их лечения сотрудниками ГВКГ им. Н.Н. Бурденко и Томского политехнического университета на основании НИР № 39/2023/Д-04 от 07 апреля 2023 года разработаны методика и состав оптимального типа покрытия для внутренних имплантатов на основе метода микродугового оксидирования с добавлением композита (хитозан), а также антибактериальных и антисептических препаратов.

По итогам предварительно выполненной в условиях лаборатории экспериментальной части исследования нами были получены положительные результаты в отношении наиболее часто встречающейся патогенной микрофлоры (рис. 2) [7].

В I группе всего было пролечено 167 (52,18%) пациентов с использованием методики последовательного остеосинтеза. Среди них было прооперировано 54 раненых с переломами диафиза плечевой кости. Отличные функциональные результаты лечения по опроснику DASH в среднесрочный период наблюдения (6 месяцев после операции) были получены у 24 (44,45%) пациентов, хорошие — у 14 (25,93%), удовлетворительные — у 12 (22,22%), неудовлетворительные — у 4 (7,40%).

Переломы диафизов бедренной и большеберцовой кости в данной группе наблюдали в 113 случаях. При оценке функциональных результатов лечения по опроснику Neer-Grantham-Shelton у 48 (42,47%) пациентов были получены отличные результаты, у 27 (23,9%) — хорошие, у 31 (27,43%) — удовлетворительные, а у 7 (6,2%) функция нижних конечностей после прохождения оперативного и реабилитационного лечения была оценена как неудовлетворительная.

Средний срок стационарного лечения раненых с момента поступления до проведения раннего последовательного остеосинтеза в данной группе составил  $18,3 \pm 3,46$  суток.

Из 167 пациентов I группы, которым был выполнен последовательный остеосинтез, послеоперационные осложнения были выявлены у 19 (11,37%). Осложнения инфекционного характера в виде развития свищевой формы остеомиелита были выявлены у 8 (4,79%) пострадавших, осложнения неинфекционного характера (замедленная консолидация, несращение перелома) — у 11 (6,58%) пациентов, что потребовало проведения реостеосинтеза.

#### *Клинический пример 1*

Раненый 36 лет, поступил с диагнозом «осколочное сквозное ранение левой ягодичной области с разрушением большого вертела и чрезвертельным переломом левой бедренной кости со смещением костных отломков» (рис. 3–6).

Во II группе были пролечены 68 пациентов с использованием внутренних имплантатов с антибактериальным покрытием. Из них ранения верхних конечностей с переломом

плечевой кости составили 28 (41,17%) случаев, ранения нижних конечностей с переломом бедренной кости наблюдали в 33 (48,52%) случаях, большеберцовой кости — в 7 (10,29%).

В данной клинической группе функциональные результаты лечения верхних конечностей были оценены по вышеупомянутому опроснику как отличные у 12 (42,85%) пациентов, как хорошие — у 8 (28,57%), удовлетворительные — у 4 (14,29%), а у 4 (14,29%) пациентов результат лечения был оценён как неудовлетворительный. При оценке функции нижних конечностей после проведённого лечения отличные результаты получены у 21 (52,5%) пациента, хорошие — у 12 (30%), удовлетворительные — у 4 (10%), неудовлетворительные — у 3 (7,5%).

Сроки стационарного лечения у пациентов II группы составили  $13,9 \pm 2,22$  суток, что было значимо ( $p < 0,0167$ ) на 24,04% ниже, чем у пациентов с использованием стандартной методики последовательного остеосинтеза. Мы связываем это с выполнением операции последовательного остеосинтеза имплантатами с антибактериальным покрытием с единовременным наложением вторичных швов на предварительно подготовленные и очищенные раны, а не дожидаясь их полного заживления, как было принято ранее.

При этом инфекционные осложнения в данной группе пациентов были выявлены всего у 2 пострадавших (2,94%). Замедленная консолидация и несращения отмечались у 4 пациентов (5,88%).

#### *Клинический пример 2*

Раненый 29 лет, поступил с этапов медицинской эвакуации на вторые сутки после получения ранения с диагнозом «огнестрельное осколочное слепое ранение правого плеча с оскольчатый переломом средней трети диафиза плечевой кости». На 12-е сутки после ранения пациенту была выполнена закрытая репозиция: остеосинтез плечевой кости интрамедуллярным штифтом с блокированием и антибактериальным напылением с одномоментным наложением вторичных швов на рану (рис. 7–9).

В III исследуемой группе были пролечены 85 (26,56%) пациентов, из них у 8 (9,41%) отмечались переломы плечевой кости, у 12 (14,11%) — бедренной кости, а у 65 (76,47%) — переломы костей голени. При лечении данной категории раненых в связи с наличием обширных дефектов мягких тканей, развитием местных инфекционно-воспалительных осложнений раневого процесса используется методика последовательного остеосинтеза. Исходя из данных факторов, нами в качестве оптимального метода лечения был выбран внеочаговый компрессионно-дистракционный остеосинтез по Г.А. Илизарову.

Функциональные результаты лечения пациентов данной группы представлены в табл. 3, 4.

**Таблица 3.** Функциональные результаты лечения переломов верхних конечностей у пациентов исследуемых групп по опроснику DASH,  $n$  (%)

**Table 3.** Functional results of treatment of upper limb fractures in patients of the study groups according to the DASH questionnaire,  $n$  (%)

Функциональный результат	I группа	II группа	III группа*
Отличный	24 (44,45)	12 (42,85)	1 (12,5)
Хороший	14 (25,93)	8 (28,57)	2 (25)
Удовлетворительный	12 (22,22)	4 (14,29)	3 (37,5)
Неудовлетворительный	4 (7,40)	4 (14,29)	2 (25)
Итого	54 (100)	28 (100)	8 (100)

*Примечание.* \* после демонтажа аппарата Илизарова.

*Note.* \* after dismantling the Ilizarov apparatus.

**Таблица 4.** Функциональные результаты лечения переломов нижней конечности по шкале Neer-Grantham-Shelton, *n* (%)

**Table 4.** Functional results of lower limb fracture treatment according to the Neer-Grantham-Shelton scale, *n* (%)

Функциональный результат	I группа	II группа	III группа*
Хороший	36 (31,86)	15 (37,5)	32 (41,56)
Удовлетворительный	64 (56,64)	18 (45)	26 (33,76)
Неудовлетворительный	13 (11,5)	7 (17,5)	19 (24,68)
Итого	113 (100)	40 (100)	77 (100)

*Примечание.* \* после демонтажа аппарата Илизарова.

*Note.* \* after dismantling the Ilizarov apparatus.

Среди пациентов данной группы число отличных и хороших функциональных результатов лечения верхних и нижних конечностей было меньшим, чем в остальных, что, по нашему мнению, связано как с тяжестью имеющихся повреждений, так и с общими недостатками длительной внешней фиксации в аппарате, такими как развитие контрактур в смежных суставах, мышечные атрофии, дискомфорт со стороны пациента, динамический контроль и уход за элементами аппарата внешней фиксации.

Кроме того, средний срок лечения пациентов данной группы составил  $17,9 \pm 6,05$  суток, что связано с необходимостью выполнения этапных хирургических обработок ран мягких тканей и динамическим наблюдением за пациентом как до установки аппарата Илизарова, так и после него.

При оценке результатов лечения у 17 пациентов (20%) развились местные инфекционные осложнения в парастержневых и параспицевых тканях, которые были успешно купированы путём перевязок, антибиотикотерапии, а в некоторых случаях — перемонтажом аппарата. У 11 (12,94%) пациентов при контрольном обследовании спустя один год после операции было выявлено образование ложного сустава в зоне перелома, что потребовало проведения ревизионных операций.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Методика последовательного остеосинтеза широко применяется на современном этапе развития травматологии и ортопедии и позволяет избежать таких недостатков лечения при помощи АВФ, как развитие стойких контрактур, атрофии мышц, сосудистых нарушений, воспаления в области мест выхода спиц или стержней [2, 5, 16].

Исследования ряда авторов показали эффективность методики последовательного остеосинтеза, использование которой позволяло значительно сократить средние сроки стационарного лечения, снизить частоту инфекционных осложнений, увеличить долю хороших и отличных функциональных результатов лечения раненых с огнестрельными переломами длинных костей конечностей и быстрее вернуть раненых к военной службе, что подтверждается результатами нашего исследования [5, 6, 16, 17].

Кроме того, на сегодняшний день по-прежнему ведётся поиск оптимальных систем доставки в зону перелома антибактериальных и антисептических препаратов. В мировой литературе имеются данные о неэффективности использования костного цемента с добавлением гентамицина, который уже длительное время применяется для лечения и профилактики развития инфекционных осложнений, что требует разработки более совершенных систем [14, 15].

Разработанное в ходе данного клинического исследования антибактериальное покрытие внутренних фиксаторов на основе кальций-фосфатного покрытия с нанесением на поверхность хитозана в комбинации с антибактериальными или антисептическими препаратами показало значимую эффективность действия по отношению к наиболее часто встречающимся штаммам микроорганизмов, что согласуется с исследованиями ряда других авторов [18–20]. Данное покрытие для интрамедуллярных штифтов и наkostных пластин позволяет проводить последовательный остеосинтез открытых переломов в более ранние сроки и снизить число инфекционных осложнений в послеоперационном периоде.

## Заключение

Последовательный остеосинтез хорошо зарекомендовал себя как двухэтапный метод лечения раненых с переломами длинных костей конечностей, позволяющий избежать ряда негативных последствий, возникающих при длительном использовании аппаратов внешней фиксации, что подтверждается данными отечественной и зарубежной литературы, а также результатами нашего исследования.

Однако применение методики последовательного остеосинтеза в условиях нынешнего военного конфликта ограничено, что связано как с массовостью поступления раненых в центральные военно-медицинские организации Минобороны России, так и с тяжестью повреждений, полученных в результате применения современных ранящих снарядов.

При этом следует отметить, что если раньше методика последовательного остеосинтеза считалась уникальной и применялась лишь в индивидуальных случаях ввиду низкой частоты встречаемости огнестрельных ранений в мирное время, то на сегодняшний день, в условиях современного вооружённого конфликта, последовательный остеосинтез рассматривается как основной метод при лечении изолированных и множественных неосложнённых огнестрельных переломов костей конечностей при строгом соблюдении определенных рекомендаций (неосложнённое течение раневого процесса, отсутствие признаков воспаления в парастержневых / параспицевых тканях, отсутствие в анализах крови значимого повышения значений маркеров инфекционно-воспалительного процесса). Кроме того, на современном этапе с целью снижения рисков послеоперационных осложнений возможно применение имплантатов с нанесением разработанного антибактериального покрытия, которое может позволить оптимизировать сроки перехода с внешней фиксации на внутреннюю и снизить количество послеоперационных инфекционных осложнений, что подтверждается результатами данного исследования.

Дополнительная информация

**Вклад авторов.** Все авторы одобрили финальную версию перед публикацией, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, данные).

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию их медицинских данных и фотографий в период их нахождения на стационарном лечении.

#### ADDITIONAL INFO

**Author contribution.** All authors have approved the final version before publication and have also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring that issues relating to the accuracy and integrity of any part of it are properly addressed and resolved.

**Funding sources.** No funding.

**Disclosure of interests.** The authors declare the absence of relationships, activities and interests (personal, professional or financial) related to third parties (commercial, non-profit, private), whose interests may be affected by the content of the article, as well as other relationships, activities and interests over the past three years, which must be reported.

**Statement of originality.** The authors did not use previously published information (text, data) to create this paper.

**Generative AI.** Generative AI technologies were not used for this article creation.

**Provenance and peer-review.** This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board and the scientific editor of the publication participated in the review.

**Informed consent for publication.** The authors obtained written consent from patients for the publication of their medical data and photographs during their inpatient treatment.

#### Список литературы | References

1. Trishkin DV, Kryukov EV, Davydov DV, et al. Development of the concept of providing medical care to the wounded with injuries of the musculoskeletal system in modern conditions. *Military Medical Journal*. 2024;345(5):4–11. doi: 10.52424/00269050\_2024\_345\_5\_4 EDN: TALTJH
2. Esipov AV, Sukhorukov AL, Musailov VA, et al. The magnitude and structure of isolated limb wounds in modern local conflicts (Literature review). *Military Medical Journal*. 2023;344(3):33–39. doi: 10.52424/00269050\_2023\_344\_3\_33 EDN: IOTYEX
3. Kryukov EV, Davydov DV, Khominets VV, et al. Stage-by-stage treatment of the wounded with injuries of the musculoskeletal system in modern armed conflict. *Military Medical Journal*. 2023;34(3):4–17. doi: 10.52424/00269050\_2023\_344\_3\_4 EDN: HWUCXD
4. Chandler H, MacLeod K, Penn-Barwell JG; Severe Lower Extremity Combat Trauma (SeLECT) Study Group. Extremity injuries sustained by the UK military in the Iraq and Afghanistan conflicts: 2003–2014. *Injury*. 2017;48(7):1439–1443. doi: 10.1016/j.injury.2017.05.022
5. Khominets VV, Shapovalov VM, Mikhailov SV, Brizhan LK. Treatment of wounded in limbs in wars and armed conflicts. Monograph. St. Petersburg: Historical Illustration; 2021. 304 p. EDN: IUQQOX
6. Shchukin AV. Improvement of sequential osteosynthesis in the treatment of wounded with gunshot fractures of long limb bones [dissertation]. 2018. 197 p. (In Russ.). EDN: CVGYII
7. Kozelskaya AI, Früh A, Rutkowski S, et al. Antibacterial double-layer calcium phosphate/chitosan composite coating on metal implants for tissue engineering. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025;705(2). doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.135652

8. Fox JP, Markov NP, Markov AM, et al. Plastic surgery at war: a scoping review of current conflicts. *Military medicine*. 2021;186(3–4):e327–e335. doi: 10.1093/milmed/usaa361
9. Gritsyuk AA. Reconstruction and plastic surgery of combat injuries of limbs [dissertation]. Moscow, 2006. 43 p. (In Russ.). EDN: QEAXNN
10. Ivanov PA, Sokolov VA, Bialik EI, et al. The use of intramedullary interlocked pins with an active antibacterial coating in the treatment of severe open fractures and their complications. *Bulletin of Traumatology and orthopedics named after N.N. Priorov*. 2009;(1):13–18. EDN: KCKVMJ
11. Solanki T, Maurya MK, Singh PK. Results of Antibiotic-Impregnated Cement/Polymer-Coated Intramedullary Nails in the Management of Infected Nonunion and Open Fractures of Long Bones. *Cureus*. 2023;15(8). doi: 10.7759/cureus.43421
12. Thonse R, Conway J. Antibiotic cement-coated interlocking nail for the treatment of infected nonunions and segmental bone defects. *J Orthop Trauma*. 2007;21(4):258–68. doi: 10.1097/bot.0b013e31803ea9e6
13. Vargas-Hernández JS, Sánchez CA, Renza S, Leal JA. Effectiveness of antibiotic-coated intramedullary nails for open tibia fracture infection prevention. A systematic review and meta-analysis. *Injury*. 2023;54 Suppl 6:110857. doi: 10.1016/j.injury.2023.110857
14. Volotovskiy PA, Sitnik AA, Tapalsky DV, et al. The immediate results of the clinical application of a blocked intramedullary fixator with a three-component antibacterial coating for infected fractures and non-joints of long tubular bones. *News of surgery*. 2020;28(6):680–687. EDN: CBTFDR
15. Gutha Y, Pathak JL, Zhang W, Zhang Y, et al. Antibacterial and wound healing properties of chitosan/poly (vinyl alcohol)/zinc oxide beads (CS/PVA/ZnO). *Int J Biol Macromol*. 2017;103:234–241. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.020
16. Artemyev AA, Kerimov AA, Peredonov SN, et al. Sequential external osteosynthesis of gunshot fractures of limb bones at the stages of medical evacuation. *Medical Bulletin of the N.N. Burdenko State Medical University*. 2023;(1):22–31. doi: 10.53652/2782-1730-2023-4-1-22-31 EDN: YALOZN
17. Yudin KA. Sequential osteosynthesis in the treatment of wounded with gunshot fractures of the long bones of the lower extremities. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2019;38(S1–2):283–285. EDN: ZZJAXJ
18. Alavi M, Nokhodchi A. An overview on antimicrobial and wound healing properties of ZnO nanobiofilms, hydrogels, and bionanocomposites based on cellulose, chitosan, and alginate polymers. *Carbohydr Polym*. 2020;;227:115349. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115349
19. Ghaseminejad-Raeini A, Azarboo A, Pirahesh K, et al. Antibiotic-Coated Intramedullary Nailing Managing Long Bone Infected Non-Unions: A Meta-Analysis of Comparative Studies. *Antibiotics (Basel)*. 2024;13(1):69. doi: 10.3390/antibiotics13010069
20. Rashki S, Asgarpour K, Tarrahimofrad H, et al. Chitosan-based nanoparticles against bacterial infections. *Carbohydr Polym*. 2021;251:117108. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117108

Об авторах / Authors' Info

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
<b>Керимов Артур Асланович</b> , канд. мед. наук; <b>ORCID:</b> 0000-0001-5783-6958;	<b>Artur A. Kerimov</b> , MD, Cand. Sci. (Medicine); <b>ORCID:</b> 0000-0001-5783-6958;

<b>eLibrary SPIN:</b> 3131-1308; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kerartur@yandex.ru">kerartur@yandex.ru</a>	<b>eLibrary SPIN:</b> 3131-1308; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kerartur@yandex.ru">kerartur@yandex.ru</a>
* <b>Хоминец Игорь Владимирович</b> , канд. мед. наук; адрес: Россия, 105094, Москва, Госпитальная пл., д. 3; <b>ORCID:</b> 0000-0003-0964-653X; <b>eLibrary SPIN:</b> 5928-5370; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:khominets24_91@mail.ru">khominets24_91@mail.ru</a>	* <b>Igor V. Khominets</b> , MD, Cand. Sci. (Medicine); Address: 3 Gospitalnaya pl., Moscow, Russia, 105094; <b>ORCID:</b> 0000-0003-0964-653X; <b>eLibrary SPIN:</b> 5928-5370; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:khominets24_91@mail.ru">khominets24_91@mail.ru</a>
<b>Переходов Сергей Николаевич</b> , д-р мед. наук, профессор; <b>ORCID:</b> 0000-0001-7166-0290; <b>eLibrary SPIN:</b> 8770-6877; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:PEREKHODOV-SN@msmsu.ru">PEREKHODOV-SN@msmsu.ru</a>	<b>Sergey N. Perekhodov</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; <b>ORCID:</b> 0000-0001-7166-0290; <b>eLibrary SPIN:</b> 8770-6877; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:PEREKHODOV-SN@msmsu.ru">PEREKHODOV-SN@msmsu.ru</a>
<b>Козлов Николай Сергеевич</b> , канд. мед. наук, доцент; <b>ORCID:</b> 0000-0002-0873-1380; <b>eLibrary SPIN:</b> 5118-9215; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:meddikk@yandex.ru">meddikk@yandex.ru</a>	<b>Nikolay S. Kozlov</b> , MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; <b>ORCID:</b> 0000-0002-0873-1380; <b>eLibrary SPIN:</b> 5118-9215; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:meddikk@yandex.ru">meddikk@yandex.ru</a>
<b>Бекшоков Казбек Керимович</b> , ординатор; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2667-341; <b>eLibrary SPIN:</b> 8906-6553; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kazbek.bekshokov.99@mail.ru">kazbek.bekshokov.99@mail.ru</a>	<b>Kazbek K. Bekshokov</b> , MD, resident; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2667-341; <b>eLibrary SPIN:</b> 8906-6553; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kazbek.bekshokov.99@mail.ru">kazbek.bekshokov.99@mail.ru</a>
<b>Нелин Максим Николаевич</b> ; <b>ORCID:</b> 0009-0000-0198-7693; <b>eLibrary SPIN:</b> 5143-3630; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:nelinmaksimdoc@gmail.com">nelinmaksimdoc@gmail.com</a>	<b>Maksim N. Nelin</b> , MD; <b>ORCID:</b> 0009-0000-0198-7693; <b>eLibrary SPIN:</b> 5143-3630; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:nelinmaksimdoc@gmail.com">nelinmaksimdoc@gmail.com</a>
<b>Кукушко Евгений Анатольевич</b> ; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2941-9601; <b>eLibrary SPIN:</b> 6736-1323; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:doctruma87@gmail.com">doctruma87@gmail.com</a>	<b>Evgeniy A. Kukushko</b> , MD; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2941-9601; <b>eLibrary SPIN:</b> 6736-1323; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:doctruma87@gmail.com">doctruma87@gmail.com</a>
<b>Беседин Владимир Дмитриевич</b> ; <b>ORCID:</b> 0000-0001-9087-1421; <b>eLibrary SPIN:</b> 9908-6830; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:BesedinVD@yandex.ru">BesedinVD@yandex.ru</a>	<b>Vladimir D. Besedin</b> , MD; <b>ORCID:</b> 0000-0001-9087-1421; <b>eLibrary SPIN:</b> 9908-6830; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:BesedinVD@yandex.ru">BesedinVD@yandex.ru</a>
<b>Твердохлебов Сергей Иванович</b> , канд. физ.-мат. наук, доцент; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2242-6358; <b>eLibrary SPIN:</b> 9005-9207; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:tverd@tpu.ru">tverd@tpu.ru</a>	<b>Sergey I. Tverdokhlebov</b> , Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2242-6358; <b>eLibrary SPIN:</b> 9005-9207; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:tverd@tpu.ru">tverd@tpu.ru</a>



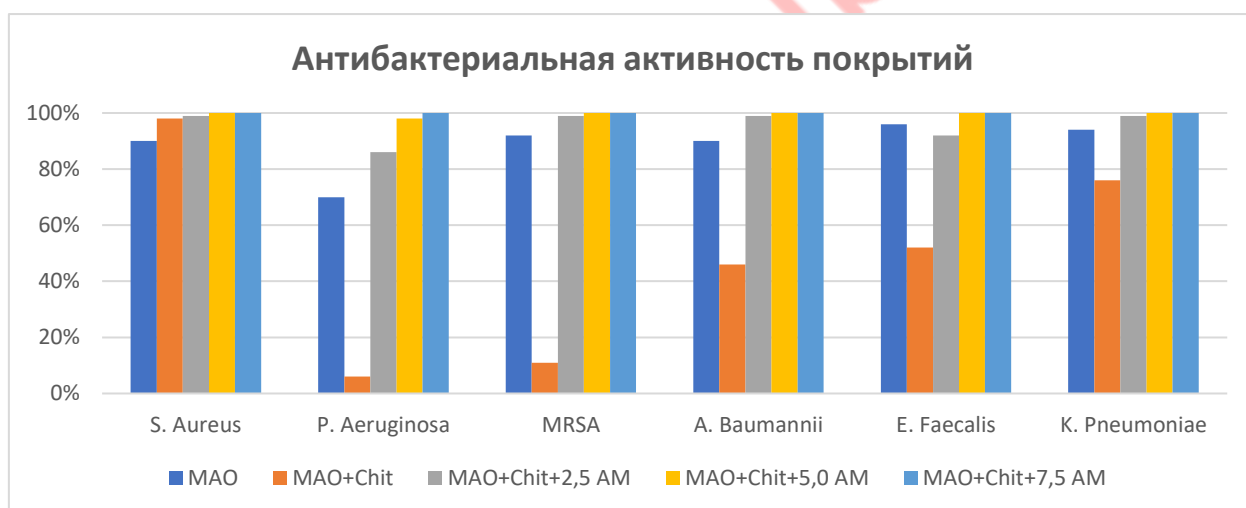
<b>Козельская Анна Ивановна</b> , канд. мед. наук, доцент; <b>ORCID:</b> 0000-0003-0168-0952; <b>eLibrary SPIN:</b> 7317-8713; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kozelskayaai@tpu.ru">kozelskayaai@tpu.ru</a>	<b>Anna I. Kozelskaya</b> , MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; <b>ORCID:</b> 0000-0003-0168-0952; <b>eLibrary SPIN:</b> 7317-8713; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:kozelskayaai@tpu.ru">kozelskayaai@tpu.ru</a>
---	--

Accepted for publication



**Рис. 1.** Распределение пациентов по методу лечения. АВФ — аппарат внешней фиксации.

**Fig. 1.** Distribution of patients by treatment method. АВФ — external fixation device.



**Рис. 2.** Антибактериальное действие разработанных покрытий по отношению к внутригоспитальным штаммам бактерий. MAO — микродуговое окисление, Chit — хитозан, AM — амикацин.

**Fig. 2.** Antibacterial action of the developed coatings against hospital-acquired bacterial strains. MAO — microarc oxidation, Chit — chitosan, AM — amikacin.



*a b*

**Рис. 3.** Пациент 1: *a* — внешний вид пациента с наложенным аппаратом внешней фиксации компоновки «таз — бедро» — огнестрельное осколочное сквозное ранение проксимального отдела левой бедренной кости с разрушением большого вертела и чрезвертельным переломом со смещением отломков, *b* — рентгенограмма после первого этапа — стабилизация повреждённой конечности в аппарате внешней фиксации.

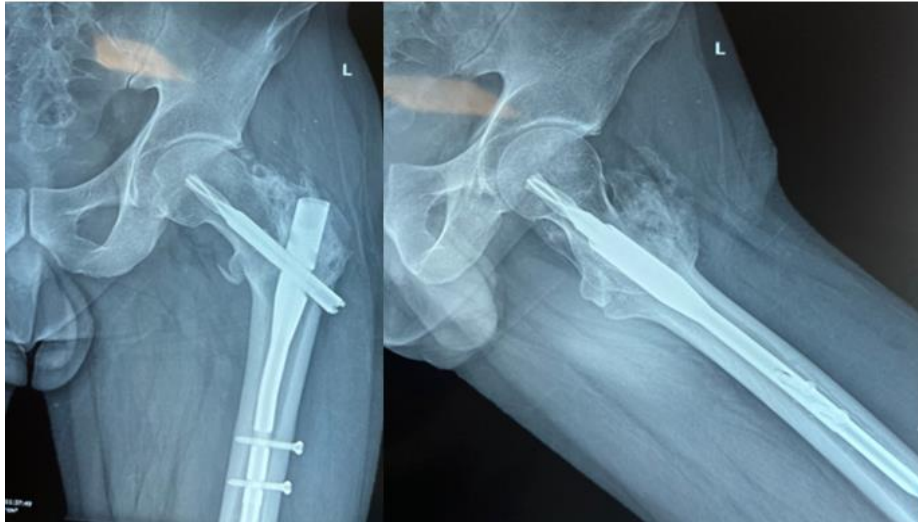
**Fig. 3.** Patient 1: *a* — appearance of the patient with an external fixation device of the “pelvis-femur” configuration applied — a gunshot shrapnel penetrating wound of the proximal part of the left femur with destruction of the greater trochanter and a pertrochanteric fracture with displacement of fragments, *b* — radiograph after the first stage — stabilization of the injured limb in the external fixation device.



*a b*

**Рис. 4.** Пациент 1: *a* — рентгенограмма после демонтажа аппарата внешней фиксации и внутреннего остеосинтеза проксимальным бедренным штифтом с блокированием, *b* — внешний вид в первые сутки после операции.

**Fig. 4.** Patient 1: *a* — radiograph after dismantling the external fixation device and internal osteosynthesis with a proximal femoral pin with locking, *b* — appearance on the first day after surgery.



**Рис. 5.** Пациент 1: контрольные рентгенограммы спустя 6 месяцев после проведения последовательного остеосинтеза.

**Fig. 5.** Patient 1: control radiographs 6 months after sequential osteosynthesis.



*a b*

**Рис. 6.** Пациент 1: *a* — спустя 6 месяцев после операции, *b* — функциональный результат лечения.

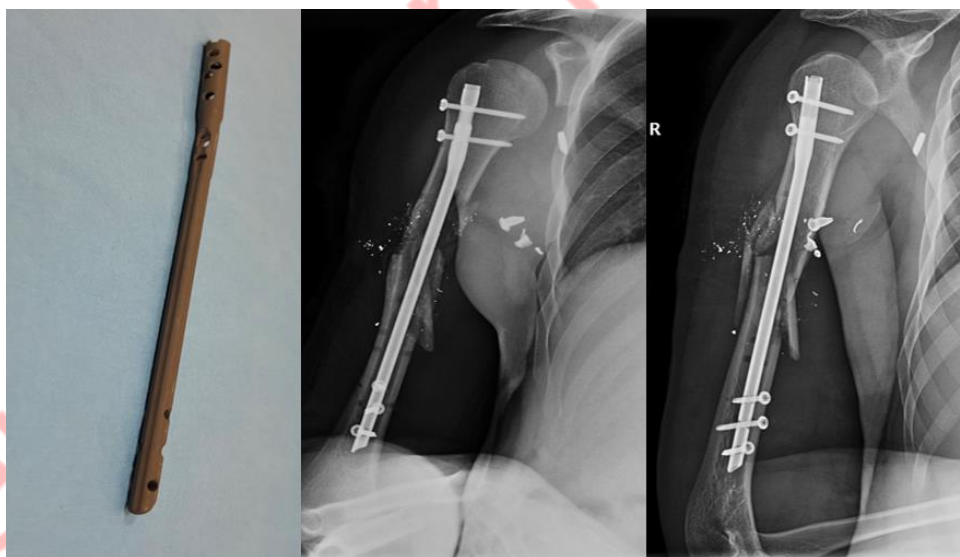
**Fig. 6.** Patient 1: *a* — 6 months after surgery, *b* — functional result of treatment.



*a b*

**Рис. 7.** Пациент 2: *a* — внешний вид пациента с наложенным аппаратом внешней фиксации, *b* — рентгенограммы плечевой кости при поступлении.

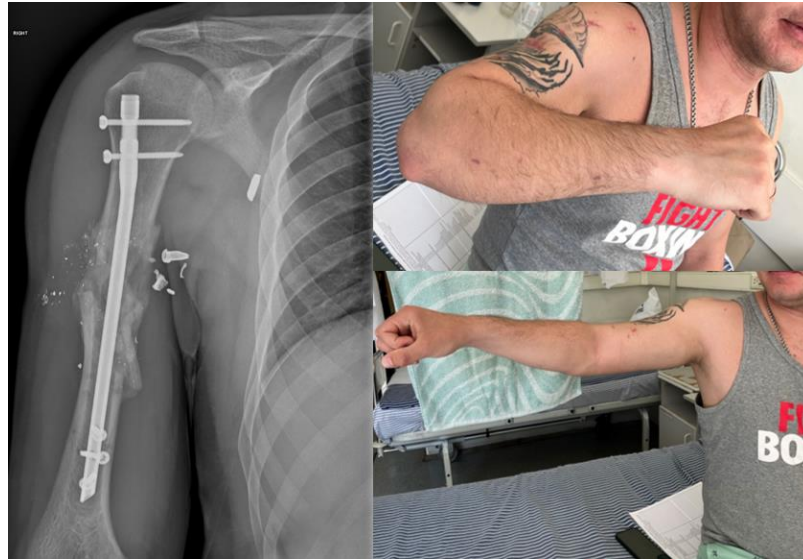
**Fig. 7.** Patient 2: *a* — appearance of the patient with an external fixation device applied, *b* — radiographs of the humerus upon admission.



*a b*

**Рис. 8.** Пациент 2: *a* — интрамедуллярный штифт с нанесённым путём микродугового оксидирования антибактериальным покрытием, *b* — контрольные рентгенограммы после остеосинтеза.

**Fig. 8.** Patient 2: *a* — intramedullary pin with antibacterial coating applied by microarc oxidation, *b* — control radiographs after osteosynthesis.



*a b*

**Рис. 9** Пациент 2: *a* — контрольная рентгенограмма спустя 6 месяцев после операции, *b* — функция верхней конечности после прохождения реабилитационного лечения.

**Fig. 9.** Patient 2: *a* — control radiograph 6 months after surgery, *b* — upper limb function after rehabilitation treatment.