

doi: 10.25005/2074-0581-2025-27-4-1025-1035

ОСТЕОСИНТЕЗ ПЯСТНЫХ КОСТЕЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ КИСТИ

В.В. ЛОКШИНА^{1,2}, В.Э. ДУБРОВ², В.С. МЕЛЬНИКОВ^{1,3}, А.С. ЗЕЛЯНИН^{1,2}, И.С. ЖАЛЯЛОВ^{1,2}

¹ Центр хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Российская Федерация

² Кафедра травматологии, ортопедии и медицины катастроф, факультет фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

³ Кафедра онкологии, радиотерапии и реконструктивной хирургии, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Российская Федерация

Цель исследования: проспективная оценка ранних исходов лечения пациентов после размозжений кисти в области пястья и/или с трансметакarpальными отчленениями на сроке 6 недель.

Материал и методы: за период с 01.01.2022 по 31.05.2025 в Центре хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии Городской клинической больницы им. С.С. Юдина было пролечено 32 пациента с тяжёлыми повреждениями кисти в области пястья. 13 больных были исключены из исследования, в связи с наличием обширных дефектов кожных покровов и мягких тканей. Оценка длительности операции, выраженности послеоперационного болевого синдрома, миграции фиксаторов, наличия вторичных смещений проведены были у 19 пострадавших: у 8 (с переломами диафиза) выполнен остеосинтез штифтами, у 1 – комбинированный остеосинтез винтами и спицами, у 1 – внешняя фиксация сломанных костей с последующей конверсией на наkostную пластину и у 9 с переломами пястных костей в области метафиза был выполнен остеосинтез спицами. Функция кисти и амплитуда движений не оценивалась, в связи с короткими сроками наблюдения.

Результаты: средняя продолжительность остеосинтеза штифтами была сопоставима с продолжительностью остеосинтеза спицами. Среднее значение ВАШ после остеосинтеза спицами составило 1,9, у пациентов после остеосинтеза штифтами – 1,7. У 2 больных отмечена миграция спиц, у 2 – некрозы реплантационных пальцев. Иммобилизация кисти и кистевого сустава после остеосинтеза спицами продолжалась 6 недель, а после остеосинтеза штифтами при отсутствии повреждения сухожилий, при повреждении сухожилий сгибателей пальцев, при повреждении разгибателей – 1, 3 и 6 недель, соответственно. К реабилитации после остеосинтеза штифтами больные приступали через 7-10 дней после операции, после остеосинтеза спицами – на 19-21 сутки.

Заключение: таким образом, остеосинтез штифтами при переломах пястных костей может быть методом выбора при тяжёлых повреждениях кисти, уменьшая риски вторичного смещения отломков и способствуя началу ранней реабилитации.

Ключевые слова: тяжёлые травмы кисти, остеосинтез пястных костей, интрамедуллярный остеосинтез, остеосинтез штифтом.

Для цитирования: Локшина ВВ, Дубров ВЭ, Мельников ВС, Зелянин АС, Жалылов ИС. Остеосинтез пястных костей при лечении высокоэнергетических повреждений кисти. *Вестник Авиценны*. 2025;27(4):1025-35. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-4-1025-1035>

OSTEOSYNTHESIS FOR HIGH-ENERGY METACARPAL INJURIES

V.V. LOKSHINA^{1,2}, V.E. DUBROV², V.S. MELNIKOV^{1,3}, A.S. ZELYANIN^{1,2}, I.S. ZHALYALOV^{1,2}

¹ Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

² Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

³ Department of Oncology, Radiotherapy, and Reconstructive Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

Objective: To conduct a prospective study of early outcomes of treatment of patients with severe mauled injuries to the metacarpal area of the hand and/or transmetacarpal amputations at 6 weeks.

Methods: From January 1, 2022, to May 31, 2025, 32 patients with severe mauled injuries to the metacarpal area of the hand were treated at the Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery at the S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russia. Thirteen patients were excluded from the study due to extensive skin and soft-tissue defects. The following factors were assessed for 19 patients: duration of the surgery, severity of postoperative pain, fixator loosening, and secondary displacement. Among these patients, 8 with diaphyseal fractures underwent intramedullary pinning, 1 received K-wire (also known as Kirschner wires) combined with screw osteosynthesis, 1 underwent conversion from temporary external fixation to definitive external plate fixation, and 9 with fractures in the metaphyseal area underwent K-wire osteosynthesis. Hand function and range of motion were not assessed due to the short observation period.

Results: The average duration of pin osteosynthesis was similar to that of K-wire osteosynthesis. The average visual analogue pain score (VAS) after pin osteosynthesis was 1.7, compared with 1.9 after K-wire osteosynthesis. Wire migration was observed in 2 patients, and necrosis of the replanted fingers occurred in 2 patients as well. The immobilization period for the hand and wrist joint following K-wire osteosynthesis lasted six weeks. In contrast, the immobilization periods after pin osteosynthesis varied: 1 week without tendon damage, 3 weeks with damage to the flexor tendons, and 6 weeks with damage to the extensor tendons. Patients began rehabilitation 7 to 10 days after pin osteosynthesis, while rehabilitation after K-wire osteosynthesis started 19 to 21 days post-surgery.

Conclusion: Pin osteosynthesis is a preferred method for treating fractures of metacarpal bones in severe hand injuries. This approach reduces the risk of secondary displacement of fragments and promotes early rehabilitation.

Keywords: Severe hand injuries, osteosynthesis of metacarpal bones, intramedullary osteosynthesis, osteosynthesis with a pin.

For citation: Lokshina VV, Dubrov VE, Melnikov VS, Zelyanin AS, Zhalyalov IS. Osteosintez pyastnykh kostey pri lechenii vysokoenergeticheskikh povrezhdeniy kisti [Osteosynthesis for high-energy metacarpal injuries]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2025;27(4):1025-35. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-4-1025-1035>

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэнергетические повреждения кисти характеризуются дефектами и размозжением мягких тканей, сочетающимися со значительным разрушением скелета, что приводит к значительной потере функции и ухудшению внешнего вида [1]. Отчленение или разрушение кисти влияет не только на сохранение трудоспособности пациента, но и на его психологическое благополучие. Приживление реплантированных сегментов при проксимальных отчленениях достигается в 77-93% случаев [2], что обуславливает необходимость проведения раннего реконструктивного вмешательства.

В то же время, тяжёлые повреждения кисти связаны с длительной предоперационной ишемией мягких тканей, увеличением объёма оперативного лечения за счёт необходимости восстановления большого количества сухожилий, сосудов и нервов, что продлевает как продолжительность ишемии (которая для кисти в тепле составляет до 6 часов и в холоде до 10-12 часов [3]), так и риск реперфузионных осложнений.

При тяжёлой травме (чаще всего в результате дорожно-транспортных происшествий или на производстве, нередко – со значительным загрязнением ран смазочными веществами) преимущественно возникают открытые множественные оскольчатые переломы пястных костей и фаланг пальцев кисти. По некоторым данным при таких калечащих повреждениях консолидация переломов происходит в более длительные сроки, чем при изолированных переломах кисти, не сопровождающихся размозжением мягких тканей, чаще встречается формирование ложных суставов, что приводит к необходимости повторных оперативных вмешательств. При этом повторные операции в условиях изменённых топографо-анатомических соотношений, ввиду предшествующей тяжёлой травмы и выраженного рубцового процесса, связаны с высоким риском повреждения сосудисто-нервных структур [4].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перспективная оценка ранних исходов лечения пациентов после размозжений кисти в области пястья и/или с трансметакarpальными отчленениями на сроке 6 недель.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Тяжёлые повреждения кисти – достаточно редко встречающаяся травма – так, за период 01.01.2022-31.05.2025 в специализированном центре Городской клинической больницы им. С.С. Юдина получили лечение 32 пациента с размозжениями кисти на метакarpальном уровне и с трансметакarpальными отчленениями. У 13 пациентов были

INTRODUCTION

High-energy hand injuries are characterized by soft tissue defects and crushing, along with extensive skeletal destruction, leading to significant functional loss and altered appearance [1]. Hand amputation or mutilating hand injuries affect not only the patient's ability to work but also their mental well-being. The success rate for replantations in proximal amputations occurs in 77-93% of cases, underscoring the need for early reconstructive intervention [2].

Severe hand injuries are often associated with extended periods of preoperative soft tissue ischemia, which can lead to an increase in the extent of surgery needed to repair multiple tendons, blood vessels, and nerves. This scenario increases both the ischemia time, which is typically around 6 hours of warm ischemia or 12 hours of cold ischemia [3], and the risk of reperfusion-related complications.

In cases of severe trauma, typically resulting from road traffic accidents or industrial accidents, open multiple comminuted fractures of the metacarpal bones and finger phalanges are commonly observed, often accompanied by significant contamination from lubricants. Research indicates that the bone union for these severe, mauled injuries takes longer compared to isolated hand fractures that do not involve crushing of the soft tissue. Additionally, nonunions are more likely to happen, which may require multiple surgeries. Furthermore, performing repeated procedures in areas with altered anatomy and topography due to severe trauma and extensive scarring significantly increases the risk of damaging vital vascular and nerve structures [4].

PURPOSE OF THE STUDY

To conduct a prospective study of early outcomes of treatment of patients with severe crush injuries to the metacarpal area of the hand and/or transmetacarpal amputations at 6 weeks.

METHODS

Severe hand injuries are relatively rare; thus, between January 1, 2022, and May 31, 2025, 32 patients with metacarpal crush injuries and transmetacarpal amputations were treated at the Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery at S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russia. Among these, 13 patients presented with extensive skin and soft tissue defects and were therefore excluded from the study. Of the remaining 19 patients, intramedullary pin osteosynthesis was performed in 8, K-wire osteosynthesis in 9, combined screw-wire osteosynthesis in 1, and external fixation with subsequent conversion to plate osteosynthesis in 1.

Before osteosynthesis, each angularly displaced metacarpal bone fragment was sequentially reduced using the Jahss maneuver [5]. Rotational malalignment was corrected using a derotation

обнаружены обширные дефекты кожи и мягких тканей, поэтому они были исключены из исследования. Из оставшихся 19 пациентов интрамедуллярный остеосинтез штифтами был выполнен у 8 пациентов, у 9 – остеосинтез спицами, у 1 – остеосинтез винтами и спицами, остеосинтез аппаратом наружной фиксации был также у 1 пациента с последующей конверсией на остеосинтез наkostной пластиной.

Перед выполнением остеосинтеза производилась репозиция отломков поочерёдно для каждой повреждённой пястной кости: угловое смещение устранялось с применением Jahss-манёвра [5], ротационное – с применением противоротации. С учётом того, что остеосинтез метафизарных переломов интрамедуллярными штифтами не обеспечивает стабильную фиксацию, было принято решение о выполнении остеосинтеза спицами при локализации переломов в метафизарной области и применении интрамедуллярного остеосинтеза штифтами в диафизарной зоне.

При наличии какой-либо неповреждённой пястной кости (кроме первой), остеосинтез спицами выполнялся путём трансфиксации фрагментов сломанной кости к неповреждённой, при переломе всех четырёх пястных костей (II-V) – путём диафиксации; для интрамедуллярного остеосинтеза были использованы предизогнутые штифты с трёхточечной фиксацией (рис. 1). Все штифты проводились в антеградном направлении, точка доступа была расположена по тыльной поверхности проксимального метаэпифиза пястной кости. В большинстве случаев выполнение дополнительного доступа не требовалось, штифты устанавливались через уже полученные раны.

Результаты в раннем послеоперационном периоде были оценены на сроке 6 недель, 3 недели из которых пациенты находились на стационарном лечении, а другие 3 недели – на амбулаторном лечении с применением телемедицинских технологий. Выраженность болевого синдрома оценивалась с использованием визуальной аналоговой шкалы боли (ВАШ), миграция фиксаторов и наличие вторичных смещений оценивались по этапным рентгенограммам. Функция кисти с использованием опросника исходов и неспособности руки и кисти (DASH) не оценивалась, в связи с короткими сроками наблюдения в раннем послеоперационном периоде. Так как амплитуда движений в пястно-фаланговых и межфаланговых суставах зависит не только от метода выполненного остеосинтеза, но и от сопутствующего повреждения мягких тканей, сравнительная оценка такой амплитуды не проводилась.

Все пациенты дали своё добровольное письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ полученных данных выполнен с использованием программы SPSS Statistics 28 (IBM Corp., Armonk, New York, US) с применением методов непараметрической статистики. Для каждой из непрерывных величин приведены медиана, верхний и нижний квартили. Анализ выполнен с использованием U-критерия Манна-Уитни, точного теста Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из 19 пациентов с высокоэнергетическими травмами кисти подавляющее большинство (18 человек, 95%) были мужчинами, медиана возраста – 42 года. В группе пациентов, которым был выполнен остеосинтез спицами, 8 из 9 пациентов

osteotomy of the metacarpal bone. Intramedullary pins used alone for metaphyseal fractures often do not provide sufficient stability against all forces. Therefore, a decision was made to perform K-wire osteosynthesis for the metaphyseal fractures and to use intramedullary pins in the diaphyseal fractures.

When any intact metacarpal bone (except for the first metacarpal) was present, K-wire osteosynthesis was performed by transfixing the fractured bone fragments to the intact bone. In cases where all four metacarpal bones (II-V) were fractured, transverse K-wire fixation was used. For intramedullary osteosynthesis, pre-bent pins were used to provide a three-point fixation within the medullary canal (see Fig. 1). All pins were placed through an antegrade approach, with the point of entry located on the dorsal surface of the proximal metaepiphysis of the metacarpal bone. In most cases, no additional incisions were necessary, as pins were inserted through the fracture site.

Early postoperative outcomes were assessed at 6 weeks. Patients received inpatient treatment for 3 weeks, followed by 3 weeks of outpatient telehealth treatment. Pain severity was evaluated using the visual analog scale (VAS), and fixator loosening and secondary displacement were assessed on radiography. Hand function was not evaluated using the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand (DASH) questionnaire due to the short follow-up period in the early postoperative phase. Additionally, because the range of motion in the metacarpophalangeal and interphalangeal joints depends on both the osteosynthesis technique and any accompanying soft tissue injuries, a comparative assessment of this range of motion was not performed.

All patients provided their voluntary written informed consent to participate in the study.

Statistical analysis of the collected data was conducted using IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28 (Released 2021; IBM Corp., Armonk, New York, US), applying nonparametric statistical methods. For each continuous variable, the median, upper quartile, and lower quartile were reported. The analysis utilized the Mann-Whitney U test and Fisher's exact test.

RESULTS

In a study involving 19 patients with high-energy hand injuries, an overwhelming majority (18 individuals, 95%) were men,



Рис. 1 Схема интрамедуллярного расположения штифта в пястной кости

Fig. 1 A model illustrating the positioning of an intramedullary pin within the metacarpal bone

были мужчинами, медиана возраста – 44 [41; 50] года. В группе пациентов, которым был выполнен остеосинтез штифтами, все пациенты были мужчинами, медиана возраста – 37,5 [25,5; 53] лет. Статистически значимой разницы по полу ($p>0,05$) и возрасту ($p>0,05$) не обнаружено. Травмы были получены либо в результате попадания кисти под тяжёлый предмет (пресс, автомобиль и пр.), либо в результате повреждения кисти рабочим инструментом (угловая шлифовальная машина, бензопила, топор). Медиана продолжительности остеосинтеза штифтами составила 61 [59,7; 63] минуту, спицами – 60 [57; 62] минут.

Значение ВАШ у пациентов, которым был выполнен остеосинтез спицами, на сроке 6 недель составило 2 [1; 2], у пациентов, которым был выполнен остеосинтез штифтами, – 1,5 [1; 2,2]. Разница значений ВАШ была статистически незначима ($p>0,05$).

У 2 пациентов произошла миграция спиц, что являлось статистически незначимым ($p>0,05$). Ни у одного пациента не было отмечено вторичных смещений. У 2 пациентов в послеоперационном периоде сформировались некрозы реплантированных пальцев, что потребовало повторных оперативных вмешательств: некрэктомии и формирования культи пальцев. Продолжительность иммобилизации гипсовой лонгетной повязкой при остеосинтезе спицами составила 6 недель, при остеосинтезе штифтами при условии отсутствия повреждения сухожилий – 7 дней, при повреждении сухожилий сгибателей – 3 недели, при повреждении сухожилий разгибателей – 6 недель. Раннюю агрессивную реабилитацию пациентам после остеосинтеза спицами удалось начать не раньше 3-й недели после операции в связи с тем, что такой метод фиксации не обеспечивает необходимую стабильность, а также приводит к повреждению межкостных мышц. Пациенты, которым был выполнен остеосинтез штифтами, начинали реабилитацию на 7-ой день после операции.

Результаты применения разработанной тактики лечения пястных костей при высокоэнергетических повреждениях кисти возможно проиллюстрировать следующим клиническим наблюдением.

В феврале 2023 года в специализированный центр Городской клинической больницы им. С.С. Юдина обратился мужчина в возрасте 31 года, у которого во время работы правую (доминантную) кисть зажало между металлическими листами. Инцидент произошёл в другом городе, поэтому с момента получения травмы до обращения в стационар прошло 9 часов.

При осмотре в приёмном отделении у пациента обнаружено трансметакарпальное отчленение кисти на уровне верхней и средней трети диафизов пястных костей, I пальца на уровне средней трети дистальной фаланги (рис. 2, 3). Фрагмент первого пальца и блок II-V пальцев были доставлены отдельно с соблюдением правила «трёх пакетов» [6].

Оперативное вмешательство было выполнено под проводниковой анестезией в аксиллярной области. Одновременно с началом мероприятий по анестезиологическому обеспечению вмешательства первая хирургическая бригада приступила к первичной хирургической обработке отчленённых сегментов и выделению анатомических структур с удалением мелких костных отломков, загрязнённых и разможжённых участков мягких тканей, маркированию сухожилий, сосудов и нервов, после чего отчленённый сегмент I пальца был помещён в специализированную холодильную

with a median age of 42 years. Among patients who underwent K-wire osteosynthesis, 8 of 9 were men, with a median age of 44 years [41; 50]. All patients in the other group who underwent pin osteosynthesis were men, with a median age of 37.5 years [25.5; 53]. Statistically significant differences in gender ($p>0.05$) and age ($p>0.05$) were not observed. The injuries were caused mainly by the hand being trapped under a heavy object (such as machinery or a car) or by damage from a cutting tool (such as an angle grinder, chainsaw, or axe). The median duration of pin osteosynthesis was 61 minutes [59.7; 63], while the median time of wire osteosynthesis was 60 minutes [57; 62].

The VAS scores at 6 weeks were 2 [1; 2] in patients with wire osteosynthesis, and 1.5 [1; 2.2] in patients with pin osteosynthesis. The difference in VAS scores was statistically insignificant ($p>0.05$).

Wire migration occurred in 2 patients, but this was also statistically insignificant ($p>0.05$). No secondary displacements were reported. Two patients developed necrosis of the affected finger after replantation of an amputated finger postoperatively, requiring further surgeries to manage the necrosis and form residual finger stumps. The duration of cast immobilization during wire osteosynthesis was 6 weeks; during pin osteosynthesis, provided there was no damage to the tendons, 7 days; in case of damage to the flexor tendons, 3 weeks; in case of damage to the extensor tendons, 6 weeks. Aggressive early rehabilitation was delayed until the third week post-surgery due to the limited stability of wire fixation and risk of interosseous muscle damage. Patients who underwent pin osteosynthesis began rehabilitation on the 7th day after their surgery.

The effectiveness of the developed treatment strategies for metacarpal fractures from high-energy incidents can be illustrated by the following clinical example:

A 31-year-old right-hand-dominant male was referred to the Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery at S.S. Yudin City Clinical Hospital in Moscow, Russia, after injuring his right hand. The injury occurred when his right hand got caught between metal sheets while he was working. Due to the accident happening in another Russian region, there was a nine-hour delay between the injury and his hospitalization.

Upon examination in the emergency department, the patient was found to have sustained transmetacarpal amputation of the hand at the proximal and middle thirds of the diaphyses of the metacarpal bones, as well as damage to the thumb at the middle third of the distal phalanx (Figs 2, 3). A fragment of the thumb and II-V fingers en bloc was delivered separately using a "bag-in-a-bag" approach [6].

The surgical intervention was performed under axillary block anesthesia. As the anesthesia began to take effect, the back-table team initiated the preparation of the amputated parts by debridement, dissection, and identification of anatomical structures. This technique involved removing small bone fragments, contaminated and crushed soft tissue, and tagging the tendons, blood vessels, and nerves. The amputated segment of the thumb was placed in a specialized refrigeration device. Simultaneously, the other surgical team performed a similar initial debridement of the hand stump, including a 5 mm marginal resection of the metacarpal bones. Following this, intramedullary pinning of the II-V metacarpal bones was performed. The extensor tendons of the II-V fingers were then sutured, along with three dorsal veins. Interrupted sutures were applied to the dorsal skin of the hand. The following steps involved repairing the flexor digitorum profundus (FDP) tendons of the II-V



Рис. 2 Травматическое отчленение дистальной фаланги I пальца и блока II-V пальцев

Fig. 2 Traumatic amputation of the distal phalanx of the thumb and the II-V fingers en bloc



Рис. 3 Предоперационные рентгенограммы. Простые поперечные переломы дистальной фаланги I пальца и II-V пястных костей

Fig. 3 Preoperative X-rays of a simple transverse amputation of the distal phalanx of the thumb and the II-V metacarpal bones



Рис. 4 Внешний вид кисти к концу операции

Fig. 4 Immediate postoperative image showing the digital replantation

установку. Вторая бригада произвела аналогичную первичную хирургическую обработку ран кисти, дополненную краевой резекцией пястных костей в пределах 5 мм, после чего был выполнен интрамедуллярный остеосинтез II-V пястных костей штифтами. Далее произведён шов сухожилий разгибателей II-V пальцев, шов 3 тыльных вен, после чего наложены узловые швы на кожу тыльной поверхности кисти. Следующим этапом выполнен шов сухожилий глубоких сгибателей II-V пальцев, сухожилия поверхностных сгибателей иссечены (для облегчения последующей реабилитации), затем выполнен шов III-IV и IV-V общепальцевых артерий; для восстановления II-III общепальцевой артерии была использована вставка из вены на сгибательной поверхности предплечья. Восстановление кровотока сопровождалось появлением отчётливого сосудистого ответа на II-V пальцах без признаков их венозной недостаточности, что позволило выполнить восстановление общепальцевых нервов путём наложения эпиневральных швов. После восстановления кровоснабжения и иннервации блока пальцев произошла смена операционной бригады и выполнен остеосинтез дистальной фаланги I пальца спицами с микрохирургическим восстановлением I собственной пальцевой артерии, 2 тыльных вен и обоих пальцевых нервов (табл. 1). Кожа была ушита узловыми швами (рис. 4). Дополнительно кисть была фиксирована гипсовой лонгетной повязкой по ладонной поверхности от кончиков пальцев до средней трети предплечья.

В послеоперационном периоде через 4 дня начал формироваться некроз реплантированной части ногтевой фаланги I пальца. Пациент категорически отказался от

fingers. The superficial flexor tendons were excised to improve functional outcomes. Then, the suture of the III-IV and IV-V common digital arteries was performed. To repair the II-III common digital artery, an autologous vein graft harvested from the flexor surface of the forearm was used. Achieved revascularization, with a positive vascular response and no venous insufficiency, created optimal conditions for the subsequent repair of the common digital nerves using epineural sutures. After revascularization and reinnervation in amputated fingers, the following surgical team performed wire osteosynthesis of the distal phalanx of the thumb, along with microsurgical repair of the proper digital artery, two dorsal veins, and both digital nerves of the thumb (see Table 1). Finally, the skin was sutured with interrupted sutures (see Fig.4). The hand was then immobilized with a volar forearm splint that extended along the palmar surface from the fingertips to the middle third of the forearm.



Таблица 1 Этапы оперативного лечения пациента

22:30-23:00 10:30 PM-11:00 PM	Поступление пациента в операционную. Выполнение анестезиологического пособия. Первичная хирургическая обработка отчленённых сегментов, маркировка повреждённых элементов. The patient's admission to the operating theatre. Induction of anesthesia. Initial surgical care of amputated parts, tagging of damaged structures.
23:00-23:30 11:00 PM-11:30 PM	Первичная хирургическая обработка раны кисти, выделение и маркировка повреждённых структур. Initial surgical care of the hand stump, dissection, and tagging of damaged structures.
23:30-01:00 11:30 PM-1:00 AM	Остеосинтез II-V пястных костей штифтами. Pin osteosynthesis of II-V metacarpal bones.
01:00-02:00 1:00 AM-2:00 AM	Шов сухожилий разгибателей II-V пальцев. Suturing the extensor tendons of the II-V fingers.
02:00-03:30 2:00 AM-3:30 AM	Шов 3 тыльных вен. Suturing three dorsal veins.
03:30-04:30 3:30 AM-4:30 AM	Шов сухожилий глубоких сгибателей II-V пальцев. Suturing FDP tendons of the II-V fingers.
04:30-06:30 4:30 AM-6:30 AM	Шов общепальцевых артерий III-IV и IV-V; для восстановления общепальцевой артерии II-III использована аутовенозная вставка. Suturing common digital arteries III-IV and IV-V; an autologous vein graft was used to restore common digital artery II-III.
06:30-08:00 6:30 AM-8:00 AM	Шов общепальцевых нервов. Suturing the common digital nerves.
08:00-11:00 8:00 AM-11:00 AM	Остеосинтез дистальной фаланги I пальца спицами. Шов пальцевой артерии, двух вен и двух пальцевых нервов I пальца. K-wire osteosynthesis of the distal phalanx of the thumb. Suturing the digital artery, two veins, and two digital nerves of the thumb
7 месяцев спустя Month 7	Удаление штифтов из II-V пястных костей. Тенолиз сухожилий разгибателей. Pin removal from the II-V metacarpal bones. Extensor tenolysis.

Table 1 Timeline of surgical treatment of the patient

ревизионной операции, в связи с чем через 12 дней с момента первой операции выполнены некрэктомия и формирование культи I пальца на уровне дистальной фаланги. Иммобилизация гипсовой лонгетной повязкой прекращена после повторной операции, пациент приступил к ранним движениям пальцами под руководством врача-реабилитолога. Так как по месту проживания пострадавшего отсутствовал подобный специалист, нахождение пациента в стационаре было пролонгировано, пациент был выписан домой через 20 дней с момента госпитализации.

Через 7 месяцев на контрольных рентгенограммах (рис. 5) определена консолидация переломов, но у больного сохранялось ограничение амплитуды разгибания, в связи с чем был выполнен тенолиз сухожилий разгибателей II-V пальцев. Так как проксимальные концы штифтов находились в зоне выполняемого тенолиза, было принято решение об удалении металлофиксаторов. Пациент приступил к реабилитации на следующий день после операции.

Спустя 3 года у пациента сохраняется ограничение сгибания и разгибания пальцев – возможно, это связано с тем, что пациент не продолжил реабилитацию по месту жительства и отказался от дальнейших реконструктивных операций, направленных на улучшение скольжений сухожилий кисти. Помимо этого, развитие контрактуры пальцев также может быть связано с повреждением тыльных и ладонных межкостных мышц и червеобразных мышц при первичной травме. Амплитуды движений в суставах пальцев оперированной конечности представлены в табл. 2. Дискриминационная чувствительность справа I палец – 12 мм, II-V пальцы – 20 мм. Согласно опроснику DASH достигнут хороший результат (сумма баллов составила 50).

Four days after the surgery, necrosis developed in the replanted portion of the distal phalanx of the thumb. A necrosectomy and stump reconstruction of the thumb at the distal phalanx level, 12 days later, was performed after the patient denied revision surgery.



Рис. 5 Контрольная рентгенограмма, выполненная спустя 7 месяцев. Консолидированные переломы II-V пястных костей, культи I пальца на уровне проксимальной трети дистальной фаланги

Fig. 5 Plain radiograph taken after 7 months of follow-up. Bone union at the replantation site of the II-V metacarpal bones, stump of the thumb at the level of the proximal third of the distal phalanx

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем приступить к восстановлению мягкотканых структур (сухожилия, сосуды и нервы) при тяжёлых травмах, как правило, выполняется остеосинтез пястных костей [4]. В качестве имплантатов используются спицы, аппараты наружной фиксации, пластины и винты.

Анализ современной литературы [7-12] показал, что чаще всего для остеосинтеза пястных костей хирурги используют спицы, что, в первую очередь, связано с простотой и быстротой методики. При её проведении не происходит дополнительного повреждения окружающих тканей [4]. Тем не менее, этот метод остеосинтеза не обеспечивает необходимую стабильность, что может приводить к вторичным смещениям и несращениям; помимо этого, метод подразумевает необходимость использования дополнительной иммобилизации в послеоперационном периоде, что затрудняет ведение ран и проведение реабилитации [13]. Okumuş A et al применили остеосинтез спицами у 11 пациентов, 2 из которых потребовался реостеосинтез, однако авторы не указали подробности выполненных повторных операций [8]. Żyluk A et al в двух своих статьях подробно не останавливаются на используемых фиксаторах, но приводят клинические наблюдения пациентов с рентгенограммами после выполнения остеосинтеза спицами [11, 12].

Podszus B et al описывают клиническое наблюдение пациента с трансметакарпальным уровнем отчленения,

After the reoperation, the cast was discontinued, and the patient began early finger movement under a physiatrist's guidance. Since no rehabilitation specialist was available in the patient's place of residence, the hospital stay was extended, and the patient was discharged home 20 days after admission.

After 7 months of follow-up, bone union at the replantation site was confirmed on plain radiographs (see Fig. 5), but the patient still had a limited range of motion. To address this, tenolysis of the extensor tendons of the II-V fingers was performed. Because the proximal ends of the pins were within the designated tenolysis area, the decision was made to remove the metal fixators. The patient began rehabilitation the day after this surgery.

Three years later, the patient still has limited mobility in both finger flexion and extension. This limitation may be attributed to the fact that he discontinued rehabilitation at home and declined additional reconstructive surgeries intended to improve tendon gliding in the hand. Additionally, the development of finger contractures could be linked to damage sustained by the dorsal and palmar interossei muscles, as well as the lumbrical muscles, during the initial injury. The range of motion in the finger joints of the operated hand is detailed in Table 2. The discriminatory sensitivity readings were 12 mm for the thumb and 20 mm for the II-V fingers. According to the Russian version of the DASH questionnaire, the patient achieved a good outcome, with a total score of 50.

Таблица 2 Амплитуда активных движений в пальцах кистей (разгибание/сгибание) по нейтральному ноль-проходящему методу

Table 2 The assessment of active range of motion (AROM) for finger extension and flexion recorded by the neutral zero position method

Пальцы Fingers	Суставы Joints	Правая кисть Right hand	Левая кисть Left hand
I палец Thumb	Пястно-фаланговый Metacarpophalangeal	5/5/25°	0/0/70°
	Межфаланговый Interphalangeal	отсутствует absent	0/0/80°
II палец Index	Пястно-фаланговый Metacarpophalangeal	5/0/45°	5/0/85°
	Проксимальный межфаланговый Proximal interphalangeal	5/5/95°	0/0/95°
	Дистальный межфаланговый Distal interphalangeal	10/10/25°	0/0/70°
III палец Middle	Пястно-фаланговый Metacarpophalangeal	5/0/70°	5/0/85°
	Проксимальный межфаланговый Proximal interphalangeal	10/10/80°	0/0/95°
	Дистальный межфаланговый Distal interphalangeal	10/10/20°	0/0/80°
IV палец Ring	Пястно-фаланговый Metacarpophalangeal	0/0/70°	5/0/85°
	Проксимальный межфаланговый Proximal interphalangeal	45/45/60°	0/0/95°
	Дистальный межфаланговый Distal interphalangeal	10/10/15°	0/0/70°
V палец Little	Пястно-фаланговый Metacarpophalangeal	0/0/25°	5/0/85°
	Проксимальный межфаланговый Proximal interphalangeal	15/15/45°	0/0/95°
	Дистальный межфаланговый Distal interphalangeal	15/15/40°	0/0/80°

которому первично был выполнен остеосинтез спицами, через 7 недель спицы были удалены, однако не наблюдалось рентгенологических признаков консолидации переломов, клинически также присутствовали признаки нестабильности, в связи с чем пациенту был выполнен повторный, уже интрамедуллярный остеосинтез II-V пястных костей винтами (на рентгенограммах, выполненных спустя 3 месяца, отмечалась консолидация всех переломов) [13]. Lahiri A [14], а также Tosti R, Eberlin KR [15] в своих статьях предлагают использовать остеосинтез спицами или аппаратами внешней фиксации, при этом последним отдают предпочтение в случае обильного загрязнения ран.

Методика интрамедуллярного остеосинтеза винтами или штифтами является миниинвазивной, зачастую может быть выполнена из уже имеющейся раны кисти. В противовес остеосинтезу спицами, интрамедуллярный остеосинтез винтами или штифтами, обладая теми же достоинствами, обеспечивает динамическую компрессию отломков и стабильность фиксации, что позволяет начинать реабилитацию в раннем послеоперационном периоде [16, 17].

Другим методом фиксации переломов при тяжёлых повреждениях кисти является применение аппарата наружной фиксации, показанное при массивных загрязнениях ран. Использование таких аппаратов минимизирует дополнительное повреждение мягких тканей и позволяет приступить к ранней реабилитации. Этот метод обеспечивает относительную стабильность фиксации (при проведении стержней в оба отломка каждой из повреждённых пястных костей) и, в некоторых случаях, требует повторного оперативного вмешательства для конверсии на окончательный погружной метод фиксации после стабилизации состояния пациента и окружающих мягких тканей [14, 15, 18].

Anderson SR et al привели клиническое наблюдение пациента с разрушенной кистью, перенёсшего многоэтапное лечение. В ходе ортопедического этапа был выполнен остеосинтез пястных костей аппаратом наружной фиксации, дополнительно выполнен интрамедуллярный остеосинтез III и IV пястных костей спицами. Аппарат был удалён 6 недель спустя. 7 месяцев спустя на контрольных рентгенограммах отсутствовало сращение 3 пястной кости, в связи с чем была выполнена повторная операция – костная пластика и остеосинтез пластиной [19].

Остеосинтез винтами и пластинами обеспечивает абсолютную стабильность фиксации, но не подходит для использования при тяжёлых травмах кисти в связи с тем, что эта методика не только подразумевает под собой дополнительную травматизацию уже повреждённых мягких тканей и деваскуляризацию отломков в процессе диссекции – её использование более чем дискуссионно при открытых повреждениях [4]. Также имплантация металлофиксаторов продолжительна, что увеличивает тяжесть ишемии [4], таким образом этот метод остеосинтеза может быть применен в качестве второго этапа конверсии внешней фиксации или при повторной операции в случае несращения переломов [14, 15, 18].

Woo SH отмечает, что функциональные результаты при трансметакarpальном отчленении кисти хуже, чем при более дистальном уровне отчленения, что связано с прямым повреждением межкостных и червеобразных мышц и развитием последующей когитой деформации – приживаемость сегмента на таком уровне составляла от 67%

DISCUSSION

In severe injuries, osteosynthesis of the metacarpal bones is usually performed before attempting to restore soft tissue structures (tendons, vessels, and nerves) [4].

Orthopedic implants include K-wires, external fixation devices, plates, and screws. A recent literature review shows that surgeons most frequently use K-wires for metacarpal fractures due to simplicity and speed [7-12]. Additionally, it does not cause additional damage to surrounding tissues [4]. However, this method of osteosynthesis does not provide adequate stability, which may result in secondary displacements and nonunions; it also necessitates extended postoperative immobilization, complicating wound management and rehabilitation [13]. Okumuş A et al (2020) performed K-wire osteosynthesis on 11 patients, two of whom required re-osteosynthesis, although the details of the repeat procedures were not specified [8]. Žyliuk A et al (2018, 2021) do not specify the fixators used but provided case reports based on radiographs following K-wire osteosynthesis [11, 12].

Podszus B et al (2024) describe a case involving a patient with a transmetacarpal amputation who initially underwent K-wire osteosynthesis. After seven weeks, the wires were removed; however, radiographs indicated no signs of bone union. Clinical examination confirmed persistent bone instability, leading the patient to undergo a repeat surgery involving intramedullary screw fixation of the II-V metacarpal bones. Three months later, radiographs confirmed successful fracture healing [13]. Lahiri A (2019), Tosti R and Eberlin KR (2018) recommend using K-wires or external fixation devices, with the latter preferred in cases of extensive wound contamination [14, 15].

Intramedullary osteosynthesis using headless compression screws or pins is a minimally invasive technique that can often be performed through the fracture site. Unlike traditional Kirschner wire fixation, it provides dynamic compression of fracture fragments and stable fixation, allowing for early postoperative rehabilitation [16, 17].

External fixation is a valuable option for managing severe hand injuries, particularly those involving heavily contaminated, open wounds. External fixation devices for damaged metacarpals minimize further soft-tissue injury and facilitate early rehabilitation. This technique provides relatively stable fixation by inserting pins into both fragments of damaged metacarpal bones. In some cases, subsequent surgery may be required to convert to a definitive buried fixation method after the patient has stabilized and soft tissues have healed [14, 15, 18].

Anderson SR et al (2022) reported a case of a severe, mangled left-hand crush injury treated with a multi-staged approach. During the initial orthopedic stage, an external fixator was used to stabilize the metacarpals. Intramedullary wires were also used for the III and IV metacarpal bones. The device was removed after about six weeks. Seven months later, radiographs showed nonunion of the third metacarpal. The nonunion prompted a second surgery involving bone grafting and plate osteosynthesis [19].

Plate and screw osteosynthesis provides rigid fixation of bone fractures. Still, it has significant drawbacks for severe hand injuries. The procedure inherently requires additional trauma to the soft tissues, compromises blood supply to bone fragments during surgical dissection, and is particularly risky in open fractures where infection is a significant concern [4]. When installed using traditional techniques, the application of metal fixators can be time-consuming, potentially worsening ischemia [4]. This method can serve as a

до 100%. Среди 12 статей, которые проанализировал автор, в 9 не был указан метод остеосинтеза, в 3 других описан остеосинтез спицами [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применённый интрамедуллярный остеосинтез штифтами, как и остеосинтез спицами, соответствует критериям быстроты и простоты выполнения. Однако, остеосинтез штифтами обеспечивает полноценную относительную стабильность и, при необходимости, – динамическую компрессию между отломками пястных костей, благодаря чему достигается стабильность фиксации, позволяющая приступить к ранней реабилитации, уменьшается риск вторичного смещения и нарушения консолидации переломов.

ВЫВОДЫ

Интрамедуллярный остеосинтез штифтами может быть методом выбора при диафизарных переломах пястных костей, сопровождающихся тяжёлым повреждением мягких тканей, при метафизарных переломах целесообразно выполнение остеосинтеза спицами.

В связи с тем, что остеосинтез спицами обеспечивает относительную стабильность, необходимо использовать дополнительную иммобилизацию лонгетной повязкой в послеоперационном периоде сроком не менее 6 недель. Остеосинтез штифтами обеспечивает большую стабильность в сравнении с остеосинтезом спицами, поэтому сроки дополнительной иммобилизации зависят только от состояния окружающих тканей: без повреждения сухожилий – 7 дней, при повреждении сухожилий сгибателей – 3 недели, при повреждении сухожилий разгибателей – 6 недель.

Процесс реабилитации у пациентов, которым был выполнен интрамедуллярный остеосинтез, происходит проще, чем у пациентов, которым был выполнен остеосинтез спицами. Стабильная фиксация при остеосинтезе штифтами позволяет приступить к реабилитации на 7-10 сутки, начиная с пассивных движений, активные движения начинают на 16-18 сутки. В случае выполнения остеосинтеза спицами реабилитацию начинают на 19-21 сутки с пассивных движений, к активным движениям приступают на 26-28 сутки.

second-stage procedure when converting to external fixation, either after the removal of the external device or during a reoperation to address a fracture nonunion [14, 15, 18].

According to a 2019 analysis by Woo SH, functional results following transmetacarpal hand amputations are typically poorer than with more distal amputations due to direct damage to the interosseous and lumbrical muscles, often resulting in claw deformity. The survival rate for segments at this level ranged from 67% to 100%. Of the 12 articles analyzed, nine did not specify the osteosynthesis method used, while three reported the use of wires [20].

CONCLUSION

Thus, both the intramedullary pin osteosynthesis used and the K-wire osteosynthesis meet the criteria of speed and ease of application. However, pin osteosynthesis provides complete relative stability and, if necessary, dynamic compression between the metacarpal bone fragments. This tactic ensures stable fixation, allowing for early rehabilitation, and reduces the risk of secondary displacement and fracture consolidation failure.

KEY CONSIDERATIONS

Intramedullary pin osteosynthesis is often the preferred method for treating diaphyseal fractures of the metacarpal bones, especially when there is significant soft-tissue damage. For metaphyseal fractures, K-wire osteosynthesis is recommended.

Since K-wire osteosynthesis does not provide absolute stability, it is essential to use an additional splint for at least 6 weeks during the postoperative period. Although pin osteosynthesis offers greater stability than K-wire osteosynthesis, the duration of split immobilization depends on the condition of the surrounding tissues: seven days for uninjured tendons, three weeks for flexor tendon injuries, and six weeks for extensor tendon injuries.

The intramedullary nailing rehabilitation is generally more straightforward than wire osteosynthesis. Stable pin osteosynthesis rehabilitation begins with passive motion around 7-10 days and active motion on days 16-18. K-wire osteosynthesis rehabilitation begins with passive motion on days 19-21 and active motion on days 26-28.

ЛИТЕРАТУРА

1. Agarwal R, Agarwal D, Agarwal M. Approach to mutilating hand injuries. *J Clin Orthop Trauma*. 2019;10(5):849-52. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.08.004>
2. Mattiassich G, Rittenschober F, Dorninger L, Rois J, Mittermayr R, Ortmaier R, et al. Long-term outcome following upper extremity replantation after major traumatic amputation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):77. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1442-3>
3. Hanel DP, Chin SH. Wrist level and proximal-upper extremity replantation. *Hand Clin*. 2007;23(1):13-21. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2007.01.001>
4. Bhardwaj P, Sankaran A, Sabapathy SR. Skeletal fixation in a mutilated hand. *Hand Clin*. 2016;32(4):505-17. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2016.06.001>
5. Jahss SA. Fractures of the metacarpals: A new method of reduction and immobilization. *J Bone Joint Surg*. 1938;20(1):178-86.
6. Белоусов АЕ. *Микрохирургия в травматологии*. Ленинград: Медицина. Ленингр. отд-ние; 1988. 223 с.
7. Macri M, Pugliese P, Accardo G, Clemente A, Ceconato V, Odella S, et al. Current principles in the management of a mangled hand. *J Hand Surg Glob Online*. 2024;7(2):326-30. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2024.07.009>

REFERENCES

1. Agarwal R, Agarwal D, Agarwal M. Approach to mutilating hand injuries. *J Clin Orthop Trauma*. 2019;10(5):849-52. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.08.004>
2. Mattiassich G, Rittenschober F, Dorninger L, Rois J, Mittermayr R, Ortmaier R, et al. Long-term outcome following upper extremity replantation after major traumatic amputation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):77. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1442-3>
3. Hanel DP, Chin SH. Wrist level and proximal-upper extremity replantation. *Hand Clin*. 2007;23(1):13-21. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2007.01.001>
4. Bhardwaj P, Sankaran A, Sabapathy SR. Skeletal fixation in a mutilated hand. *Hand Clin*. 2016;32(4):505-17. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2016.06.001>
5. Jahss SA. Fractures of the metacarpals: A new method of reduction and immobilization. *J Bone Joint Surg*. 1938;20(1):178-86.
6. Belousov AE. *Mikrokhirurgiya v travmatologii [Microsurgery in traumatology]*. Leningrad: Meditsina. Leningr. otd-nie; 1988. 223 p.
7. Macri M, Pugliese P, Accardo G, Clemente A, Ceconato V, Odella S, et al. Current principles in the management of a mangled hand. *J Hand Surg Glob Online*. 2024;7(2):326-30. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2024.07.009>

8. Okumuş A, Cerci Ozkan A. Upper extremity replantation results in our series and review of replantation indications. *Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2020; 26(1):123-9. <https://doi.org/10.14744/tjtes.2019.85787>
9. Poore SO, Israel JS, Rao VK. Thirty-year follow-up of total hand replantation: A case report. *Ann Plast Surg*. 2016;76(5):521-3. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000000299>
10. Sabapathy SR, Venkatramani H, Ramkumar S, Mohan M, Zhang D. Cross-hand replantation. *Indian J Plast Surg*. 2020;53(1):124-30. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709951>
11. Żyluk A, Chrapusta A, Jabłecki J, Romanowski L, Mazurek T. Three-year (2014-2016) activity report of the Replantation Service for hand amputations in Poland. *Polski przegląd chirurgiczny*. 2018;90(4):1-5. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.8176>
12. Żyluk A, Chrapusta A, Jabłecki J, Romanowski L, Mazurek T, Domanasiewicz A. Three-year (2017-2019) activity report of the Replantation Service for hand amputations in Poland. *Polski przegląd chirurgiczny*. 2021;93(2):26-32. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8089>
13. Podszus B, Bigner J, Manas N, DeJesus R. Intra-medullary nail fixation as a treatment method for impending fracture non-union of a near-total trans-metacarpal amputation initially treated with K-wire fixation – A case report. *Orthoplastic Surgery*. 2024;16(C):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.orthop.2024.01.003>
14. Lahiri A. Managing mutilating hand injuries. *Clin Plast Surg*. 2019;46(3):351-7. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2019.02.009>
15. Tosti R, Eberlin KR. "Damage Control" hand surgery: Evaluation and emergency management of the mangled hand. *Hand Clin*. 2018;34(1):17-26. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2017.09.002>
16. Giron A, Cox CT, Choi E, Baum G, McKee D, MacKay BJ. Outcomes of threaded intramedullary headless nail fixation for metacarpal fractures. *Cureus*. 2023;15(11):e48618. <https://doi.org/10.7759/cureus.48618>
17. Wallace DR, Shiver AL, Pulliam SK, Byrd BM, McGee-Lawrence ME, Snoddy MC. Intramedullary threaded nail fixation versus plate and screw construct in metacarpal neck fractures: A biomechanical study. *J Am Acad Orthop Surg*. 2023;31(11):e516-e522. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-22-00595>
18. Panattoni JB, Ahmed MM, Busel GA. An ABC technical algorithm to treat the mangled upper extremity: Systematic surgical approach. *J Hand Surg*. 2017;42(11):934.e1-934.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2017.08.017>
19. Anderson SR, Vincent JA, Wimalawansa SM. Multi-staged management of a mangled, exploded hand crush injury with long-term outcome: The critical link between surgery and therapy. *BMJ Case Reports*. 2022;15(5):e248429. <https://doi.org/10.1136/bcr-2021-248429>
20. Woo SH. Practical tips to improve efficiency and success in upper limb replantation. *Plast Reconstr Surg*. 2019;144(5):878e-911e. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000006134>
8. Okumuş A, Cerci Ozkan A. Upper extremity replantation results in our series and review of replantation indications. *Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2020; 26(1):123-9. <https://doi.org/10.14744/tjtes.2019.85787>
9. Poore SO, Israel JS, Rao VK. Thirty-year follow-up of total hand replantation: A case report. *Ann Plast Surg*. 2016;76(5):521-3. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000000299>
10. Sabapathy SR, Venkatramani H, Ramkumar S, Mohan M, Zhang D. Cross-hand replantation. *Indian J Plast Surg*. 2020;53(1):124-30. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709951>
11. Żyluk A, Chrapusta A, Jabłecki J, Romanowski L, Mazurek T. Three-year (2014-2016) activity report of the Replantation Service for hand amputations in Poland. *Polski przegląd chirurgiczny*. 2018;90(4):1-5. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.8176>
12. Żyluk A, Chrapusta A, Jabłecki J, Romanowski L, Mazurek T, Domanasiewicz A. Three-year (2017-2019) activity report of the Replantation Service for hand amputations in Poland. *Polski przegląd chirurgiczny*. 2021;93(2):26-32. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8089>
13. Podszus B, Bigner J, Manas N, DeJesus R. Intra-medullary nail fixation as a treatment method for impending fracture non-union of a near-total trans-metacarpal amputation initially treated with K-wire fixation – A case report. *Orthoplastic Surgery*. 2024;16(C):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.orthop.2024.01.003>
14. Lahiri A. Managing mutilating hand injuries. *Clin Plast Surg*. 2019;46(3):351-7. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2019.02.009>
15. Tosti R, Eberlin KR. "Damage Control" hand surgery: Evaluation and emergency management of the mangled hand. *Hand Clin*. 2018;34(1):17-26. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2017.09.002>
16. Giron A, Cox CT, Choi E, Baum G, McKee D, MacKay BJ. Outcomes of threaded intramedullary headless nail fixation for metacarpal fractures. *Cureus*. 2023;15(11):e48618. <https://doi.org/10.7759/cureus.48618>
17. Wallace DR, Shiver AL, Pulliam SK, Byrd BM, McGee-Lawrence ME, Snoddy MC. Intramedullary threaded nail fixation versus plate and screw construct in metacarpal neck fractures: A biomechanical study. *J Am Acad Orthop Surg*. 2023;31(11):e516-e522. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-22-00595>
18. Panattoni JB, Ahmed MM, Busel GA. An ABC technical algorithm to treat the mangled upper extremity: Systematic surgical approach. *J Hand Surg*. 2017;42(11):934.e1-934.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2017.08.017>
19. Anderson SR, Vincent JA, Wimalawansa SM. Multi-staged management of a mangled, exploded hand crush injury with long-term outcome: The critical link between surgery and therapy. *BMJ Case Reports*. 2022;15(5):e248429. <https://doi.org/10.1136/bcr-2021-248429>
20. Woo SH. Practical tips to improve efficiency and success in upper limb replantation. *Plast Reconstr Surg*. 2019;144(5):878e-911e. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000006134>

❗ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Локшина Виктория Валерьевна, врач травматолог-ортопед Центра хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина; аспирант кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ORCID ID: 0009-0008-1663-1567

E-mail: lokshina.v.v@gmail.com

Дубров Вадим Эрикович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Scopus ID: 57207609736

ORCID ID: 0000-0001-5407-0432

SPIN-код: 8598-7995

E-mail: vduort@gmail.com

Мельников Виктор Сергеевич, кандидат медицинских наук, руководитель Центра хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина; ассистент кафедры онколо-

❗ AUTHORS' INFORMATION

Lokshina Viktoriya Valerievna, Traumatologist-Orthopedist, Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Postgraduate Student, Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University

ORCID ID: 0009-0008-1663-1567

E-mail: lokshina.v.v@gmail.com

Dubrov Vadim Erikovich, Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University

Scopus ID: 57207609736

ORCID ID: 0000-0001-5407-0432

SPIN: 8598-7995

E-mail: vduort@gmail.com

Melnikov Viktor Sergeevich, Candidate of Medical Sciences, Head of the Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Assistant Professor of the Department of Oncology, Radiother-

гии, радиотерапии и реконструктивной хирургии, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова
ORCID ID: 0000-0003-4873-775X
SPIN-код: 5677-6362
E-mail: melnikovmd@mail.ru

Зелянин Александр Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; врач травматолог-ортопед Центра хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина
ORCID ID: 0000-0003-0969-9594
SPIN-код: 4097-9357
E-mail: microsurgery@inbox.ru

Жалялов Ильяс Саярович, врач травматолог-ортопед Центра хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина; аспирант кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
ORCID ID: 0000-0002-3253-0765
E-mail: bratil8@gmail.com

Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Статья написана в рамках заключённых соглашений между автономной некоммерческой организацией «Московский центр инновационных технологий в здравоохранении» и Городской клинической больницей им. С.С. Юдина от 28.04.22 № 2412-32/22 о предоставлении гранта «Метод малоинвазивного интрамедуллярного остеосинтеза пястных костей кисти» и от 03.04.25 № 1109-23/25 о предоставлении гранта «Создание системы лечения и реабилитации пациентов с последствиями высокоэнергетических травм верхней конечности». Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

Конфликт интересов: отсутствует

✉ АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Локишина Виктория Валерьевна

врач травматолог-ортопед Центра хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина; аспирант кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

115446, Российская Федерация, г. Москва, Коломенский проезд, 4
Тел.: +7 (915) 1165826
E-mail: lokshina.v.v@gmail.com

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: ДВЭ, МВС, ЗАС
Сбор материала: ЛВВ, ЖИС
Статистическая обработка данных: ЛВВ
Анализ полученных данных: МВС
Подготовка текста: ЛВВ, ЖИС
Редактирование: ДВЭ, МВС, ЗАС
Общая ответственность: ДВЭ, МВС, ЗАС

Поступила 20.07.25
Принята в печать 27.11.25

apy, and Reconstructive Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
ORCID ID: 0000-0003-4873-775X
SPIN: 5677-6362
E-mail: melnikovmd@mail.ru

Zelyanin Aleksandr Sergeevich, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University; Traumatologist-Orthopedist, Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital

ORCID ID: 0000-0003-0969-9594
SPIN: 4097-9357
E-mail: microsurgery@inbox.ru

Zhalyalov Ilyas Sayarovich, Traumatologist-Orthopedist, Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Postgraduate Student, Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University
ORCID ID: 0000-0002-3253-0765
E-mail: bratil8@gmail.com

Information about support in the form of grants, equipment, medications

This article was written in the context of agreements between the autonomous non-profit organization, the Center for Innovative Technologies in Healthcare, and S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russia. The agreements are dated April 28, 2022 (No. 2412-32/22) and concern the grant for the project titled "Method of Minimally Invasive Intramedullary Osteosynthesis of the Metacarpal Bones of the Hand". Another agreement, dated April 3, 2025 (No. 1109-23/25), relates to a grant for the project "Creation of a System for the Treatment and Rehabilitation of Patients with the Consequences of High-Energy Injuries to the Upper Limb". The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest

✉ ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

Lokshina Viktoriya Valerievna

Traumatologist-Orthopedist, Center for Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Postgraduate Student, Department of Traumatology, Orthopedics, and Disaster Medicine, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University

115446, Russian Federation, Moscow, Kolomensky passage, 4
Tel.: +7 (915) 1165826
E-mail: lokshina.v.v@gmail.com

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: DVE, MVS, ZAS
Data collection: LVV, ZhIS
Statistical analysis: LVV
Analysis and interpretation: MVS
Writing the article: LVV, ZhIS
Critical revision of the article: DVE, MVS, ZAS
Overall responsibility: DVE, MVS, ZAS

Submitted 20.07.25
Accepted 27.11.25