

## РЕКОНСТРУКТИВНАЯ ХИРУРГИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ФАЛАНГ ПАЛЬЦЕВ КИСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО ИМПЛАНТАТА

Корнилов Д.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иркутск, e-mail: navska@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ГБУЗ «Иркутская ордена “Знак Почета” областная клиническая больница», Иркутск*

Особенности лечения пациентов с дефектами костей и суставов, особенно при повреждениях пальцев кисти, требуют индивидуального подхода и применения современных методов реконструктивной хирургии. Это связано с анатомической сложностью области, особенностями кровоснабжения и важностью сохранения функциональности и эстетики кисти. Для лечения важно учитывать сохранение функций конечности и минимизацию социальных последствий. Современные подходы включают использование остеозамещающих материалов и специализированные хирургические методики для восстановления мягких тканей. Традиционные методы, такие как ампутация и использование аллотрансплантатов, имеют недостатки: риск инфекций, аллергических реакций, снижение механической прочности и невозможность комбинирования с эндопротезами суставов. Цель исследования заключалась в разработке метода восстановления при тотальном разрушении костных и мягкотканых структур пальцев кисти. Уникальность данной работы заключается в предложении инновационного подхода к лечению посттравматических дефектов с использованием углеродных наноструктурных имплантатов. Эти материалы обладают высокой биосовместимостью, механической прочностью и способностью стимулировать регенерацию костной ткани. В работе описаны материалы и методы, включающие использование углеродных наноструктурных имплантатов, которые благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам и биосовместимости обеспечивают высокую эффективность регенерации костной ткани. Приведен клинический случай 19-летней пациентки с огнестрельным ранением, где применялся этапный подход к реконструкции, включающий distraction фрагментов и последующую установку индивидуально разработанных имплантатов. Результаты показали значительное улучшение функциональности и эстетики кисти, а также отсутствие осложнений в послеоперационный период. В обсуждении подчеркивается преимущество углеродных композитов перед традиционными методами, такими как костная аутопластика и титановые имплантаты, включая формирование стабильного костно-углеродного блока в 90% случаев. Заключение указывает на высокий потенциал углеродных наноструктурных имплантатов в восстановлении утраченных структур кисти, что открывает новые горизонты в реконструктивной хирургии.

Ключевые слова: межфаланговый сустав, реконструктивная хирургия, функциональность и эстетика кисти, костная пластика, углеродные наноструктурные имплантаты.

## RECONSTRUCTIVE SURGERY OF POST-TRAUMATIC FINGER PHALANX DEFECTS USING A NANOSTRUCTURED POROUS CARBON IMPLANT

Kornilov D.N.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education - a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation IGMARO, Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk, e-mail: navska@mail.ru;*

<sup>2</sup>*GBUZ Irkutsk “Order of the Badge of Honor” Regional Clinical Hospital, Irkutsk*

The treatment of patients with bone and joint defects, especially in cases of finger injuries, requires an individualized approach and the use of modern reconstructive surgery techniques. This is due to the anatomical complexity of the area, the characteristics of blood supply, and the importance of preserving the functionality and aesthetics of the hand. It is important to consider the preservation of limb function and minimization of social consequences in treatment. Modern approaches include the use of bone replacement materials and specialized surgical techniques for soft tissue repair. Traditional methods, such as amputation and the use of allografts, have disadvantages: the risk of infections, allergic reactions, reduced mechanical strength, and the inability to combine with joint endoprostheses. The aim of the study was to develop a method for restoring total destruction of bone and soft tissue structures of the fingers. The uniqueness of this work lies in proposing an innovative approach to

the treatment of post-traumatic defects using carbon nanostructured implants. These materials have high biocompatibility, mechanical strength, and the ability to stimulate bone tissue regeneration. The paper describes materials and methods involving the use of carbon nanostructured implants, which, thanks to their unique physical and mechanical properties and biocompatibility, ensure high efficiency of bone tissue regeneration. A clinical case of a 19-year-old female patient with a gunshot wound is presented, where a staged approach to reconstruction was used, including distraction of fragments and subsequent installation of individually designed implants. The results showed a significant improvement in the functionality and aesthetics of the hand, as well as the absence of complications in the postoperative period. The discussion highlights the advantage of carbon composites over traditional methods, such as bone autoplasty and titanium implants, including the formation of a stable bone-carbon block in 90% of cases. The conclusion points to the high potential of carbon nanostructured implants in restoring lost hand structures, opening new horizons in reconstructive surgery.

Keywords: interphalangeal joint, reconstructive surgery, hand functionality and aesthetics, bone grafting, carbon nanostructured implants.

## **Введение**

Особенности лечения пациентов с дефектами костей и суставов, особенно в случае повреждений пальцев кисти, требуют индивидуального подхода и применения современных методов реконструктивной хирургии. Это связано с анатомической сложностью данной области, особенностями кровоснабжения, а также важностью сохранения функциональности и эстетики кисти, которые играют ключевую роль в повседневной жизни пациента [1].

Для эффективного лечения пациентов с травмами пальцев кисти в современных многопрофильных стационарах важно учитывать необходимость сохранения функций конечности и минимизации социальных последствий. Ампутация, ранее широко применяемая, не всегда является оптимальным решением, особенно для трудоспособных людей в возрасте от 20 до 45 лет.

При выборе лечебной тактики необходимо учитывать такие факторы, как время, прошедшее с момента травмы, характер повреждений, размер дефекта, наличие сопутствующих заболеваний, а также качество и объем предоставляемой медицинской помощи. Современные подходы включают использование остеозамещающих материалов и специализированные хирургические методики для восстановления мягких тканей. Эти меры способствуют улучшению функционального результата, ускорению социальной реабилитации и возвращению пациента к активной трудовой деятельности [2].

Аллотрансплантаты часто применяются для замещения значительных дефектов костной ткани, однако их использование сопряжено с рядом ограничений и рисков. Будучи чужеродными для организма, они сохраняют неизменную структуру в течение всего времени нахождения в теле. В лучшем случае такие трансплантаты выполняют роль механического протеза, но нередко они подвержены рассасыванию, что приводит к недостаточной стабильности в зоне имплантации.

Кроме того, применение аллотрансплантатов исключает возможность комбинирования с эндопротезами суставов из-за трудностей их фиксации. Среди осложнений можно отметить аллергические реакции, инфекционные процессы и снижение механической прочности

материала. Полимерные компоненты, используемые в таких трансплантатах, в процессе биологического старения могут выделять вещества с токсическим или канцерогенным эффектом, что представляет дополнительный риск для здоровья пациента [3].

Технология изготовления углеродных наноструктурных имплантатов, разработанная Гарбузом А.Е. и Гордеевым С.К., представляет собой значительный шаг вперед в области медицинских материалов. Эти имплантаты состоят из прочного пористого композита, включающего углеродные волокна и наноструктурную углеродную матрицу, что обеспечивает их свойства, максимально приближенные к характеристикам человеческой кости. Такое решение позволяет не только эффективно замещать дефекты костной ткани, но и способствует формированию нативной костной ткани в зоне контакта имплантата с костью, что дает значительное преимущество перед традиционными материалами [4-6].

Углеродные композиты находят широкое применение в медицине, особенно в ортопедии и травматологии. Их уникальные физико-механические свойства, высокая биосовместимость и способность восстанавливать функциональность конечностей делают их универсальным материалом для реконструктивной хирургии. Особый интерес вызывает их использование при замещении дефектов костной ткани в области пальцев кисти, что позволяет значительно улучшить качество жизни пациентов и восстановить утраченные функции [7-9].

Таким образом, углеродные наноструктурные имплантаты открывают новые перспективы в лечении сложных травм и дефектов костной ткани, обеспечивая надежность, долговечность и высокую эффективность в медицинской практике [10; 11].

Использование углеродных композитов в хирургии демонстрирует значительный прогресс в лечении сложных костных дефектов, включая случаи злокачественных опухолей. Эти материалы обеспечивают не только восстановление анатомической структуры, но и функциональности конечностей, что особенно важно для молодых и активных пациентов, стремящихся к полноценной реабилитации [12].

Углеродные имплантаты способствуют снижению риска рецидивов остеомиелита, что, в свою очередь, уменьшает необходимость ампутаций. Их применение открывает новые возможности для регенерации костной ткани после травм и операций, делая процесс восстановления более эффективным. Важным аспектом остается интеграция хирургических методов с использованием углеродных материалов, что позволяет достичь оптимальных результатов и улучшить качество жизни пациентов [13].

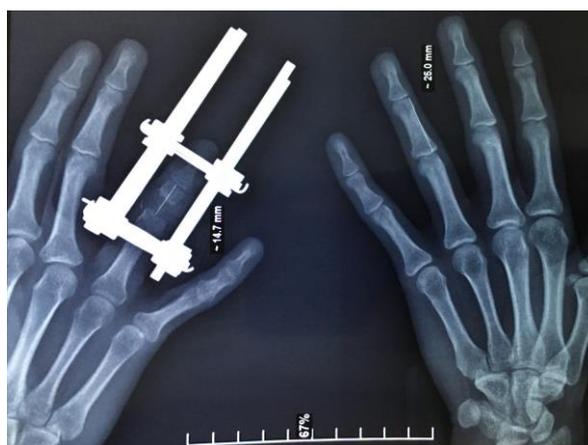
**Цель исследования** заключается в разработке и применении нового метода реконструкции посттравматических дефектов костных и мягкотканых структур пальцев кисти с использованием углеродных наноструктурных имплантатов.

**Материалы и методы исследования**

В клиническом исследовании принимала участие пациентка, которой было 19 лет, с посттравматическим дефектом костных и мягкотканых структур пальцев кисти. В рамках клинического исследования применялись углеродные наноструктурные имплантаты для реконструкции. Процедура включала удаление поврежденных тканей и моделирование в аппарате внешней фиксации с четырьмя осевыми направляющими. На втором этапе была проведена реконструкция всех структур пальца с последующим наблюдением через четыре недели, 24 недели и год. Методы оценки включали клинический осмотр, визуально-аналоговую шкалу боли и рентгенографию. Имплантаты были изготовлены индивидуально с использованием данных трехмерного моделирования здоровой кисти. Операционный доступ осуществлялся по тыльной поверхности, имплантат фиксировался спицей и костным цементом. Послеоперационный период включал профилактику воспалительных процессов и контрольные осмотры.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Описание клинического случая. Пациентка в возрасте 19 лет была госпитализирована в Иркутскую областную клиническую больницу в отделение микрохирургии спустя два часа после получения огнестрельного ранения. При поступлении было зафиксировано: на ладонной поверхности кисти обнаружено входное отверстие диаметром до одного сантиметра с рваными краями в области межпальцевого пространства, а также выходное отверстие диаметром до двух сантиметров. Рентгенологическое обследование показало полное разрушение средней фаланги и проксимального межфалангового сустава четвертого пальца левой кисти, а также укорочение данного пальца (рис. 1).



*Рис. 1. Рентгенограмма левой кисти до проведения первого этапа реконструктивного лечения*

*Источник: фото из архива автора.*

Как правило, в литературе описывается использование наноструктурного углерода преимущественно для замещения дефектов костной ткани. Однако при тяжелых

посттравматических деформациях конечностей возникает необходимость не только устранения дефекта, но и восстановления длины поврежденного сегмента и его подвижности [14; 15].

Метод, предложенный автором, базируется на поэтапном подходе к лечению пациентки с использованием имплантатов, изготовленных на основе наноструктурного углерода. Эти имплантаты обладают остеоиндуктивными характеристиками и включают наноструктурную матрицу с микрополостями, что обеспечивает их функциональность в качестве опорного материала.

На первом этапе лечения была выполнена первичная хирургическая обработка раны. Затем произведено удаление костных фрагментов и рубцово-изменённых мягких тканей. Для последующего моделирования применялся аппарат внешней фиксации, оснащённый четырьмя осевыми направляющими. Указанное устройство обеспечивает высокую точность дистракции, предотвращает смещение мягкотканых структур и способствует равномерному распределению нагрузки на костную ткань. Для стабилизации костных фрагментов и устранения укорочения пальца был установлен данный аппарат.

Пациентке была проведена рентгенография правой кисти, которая позволила детально проанализировать размеры средней фаланги четвёртого пальца правой кисти. Это исследование было выполнено для максимально точного подбора параметров имплантата, включая его диаметр и длину, что является важным этапом подготовки к предстоящему медицинскому вмешательству. Полученные данные обеспечили высокую точность и эффективность лечения, минимизировали возможные риски и гарантировали оптимальные результаты для пациентки (рис. 2).



*Рис. 2. Рентгенограмма здоровой правой кисти*

*Источник: фото из архива автора.*

Неотъемлемой частью процесса является проведение математического моделирования реконструируемой конечности с целью создания 3D-модели структур, необходимых для восстановления. На основании данных, полученных при измерении правой здоровой кисти пациентки, был разработан и изготовлен индивидуальный наноструктурный имплантат нужных размеров для замещения костного дефекта. Также были подготовлены имплантаты для реконструкции проксимального межфалангового сустава.

Операционный доступ осуществлялся через тыльную поверхность средней фаланги. Имплантат вводился в рану, замещая дефект, и фиксировался к дистальному отломку кости с использованием спицы. В проксимальный конец имплантата закреплялась дистальная часть протеза межфалангового сустава с применением костного цемента, при этом проксимальная часть протеза фиксировалась в проксимальный отломок кости без особенностей (рис. 3).



*Рис. 3. Рентгенологическая картина после оперативного вмешательства (имплантированная и фиксированная конструкция)*

*Источник: фото из архива автора.*

Основные мероприятия в послеоперационном периоде направлены на предотвращение воспалительных процессов в области раны, а также на создание оптимальных условий для её заживления и восстановления функциональности. Пациентка была выписана на амбулаторное лечение под строгим наблюдением врача-травматолога или хирурга. Для контроля динамики восстановления было рекомендовано проведение регулярных осмотров через четыре недели, 24 недели и один год после хирургического вмешательства. Продолжительность иммобилизации определялась сроками формирования костно-углеродного блока, что являлось важным этапом в процессе реабилитации.

При первом контрольном осмотре у пациентки наблюдалось заживление раны первичным натяжением, хотя был отмечен умеренный отёк в области средней и

дистальной фаланги четвёртого пальца левой кисти. Несмотря на это, пациентка самостоятельно выполняла маятниковые движения в проксимальном межфаланговом суставе при отсутствии болевого синдрома, что свидетельствовало о положительной динамике восстановления.

В ходе последующих контрольных осмотров пациентка сообщала о значительных улучшениях как в эстетическом, так и в функциональном аспектах. Проведённые высокофункциональные пробы, а также оценка активных и пассивных движений четвёртым пальцем кисти показали восстановление способности к выполнению активных движений. Тестирование мелкой моторики подтвердило восстановление функциональных возможностей кисти: пациентка успешно выполняла повседневные задачи, такие как письмо, открывание замков и дверей.

Через двадцать четыре недели после операции было отмечено полное заживление послеоперационной раны без признаков воспаления. Процесс заживления соответствовал установленным срокам и объёму проведённого вмешательства. Вторичных деформаций выявлено не было. При выполнении движений реконструированным пальцем болевые ощущения отсутствовали, что подтверждало успешное восстановление функции (рис. 4).



*Рис. 4. Демонстрация внешнего вида кисти через 1 год после установки углеродного импланта*

*Источник: фото из архива автора.*

Реконструкция и восстановление фаланг пальцев кисти являются важным направлением хирургии, ориентированным на сохранение функциональности кисти в целом. Представленный случай демонстрирует редкий пример успешного эндопротезирования при наличии дефицита костных структур и укорочении длины пальца. Такие ситуации обычно предполагают выбор в пользу артродеза или ампутации повреждённого пальца, однако в данном случае был применён инновационный подход [4].

Артродез, как правило, считается надёжным методом с минимальными послеоперационными осложнениями благодаря отработанной технологии выполнения. Однако недостатки данного метода, такие как ограничение подвижности пальца, побудили выбрать новый способ хирургического лечения. Этот подход оказался эффективным для пациентов с посттравматическим дефектом мягких тканей и костей пальцев кисти, что подтверждается успешным восстановлением функциональности и эстетического вида повреждённого пальца.

### **Заключение**

Разработанный метод реконструкции при полном разрушении костных и мягкотканых структур пальцев кисти является инновационным подходом, направленным на восстановление анатомической целостности и функциональности конечности. Применение углеродных наноструктурных имплантатов в процессе лечения позволяет не только избежать негативного воздействия на регенерацию тканей, но и существенно ускорить данный процесс.

Образование костно-углеродного блока способствует увеличению прочности костной мозоли, формирующейся в зоне дефекта костной ткани, что обеспечивает надёжность и долговечность конструкции. Использование углеродных наночастиц в составе имплантатов позволяет точно регулировать их механические и физические свойства, что даёт возможность адаптировать материалы под индивидуальные потребности каждого пациента. Возможность настройки степени пористости, формы и размеров имплантатов расширяет спектр применения данной технологии и обеспечивает персонализированный подход в хирургической практике.

Пластичность материала имплантатов предоставляет возможность моделирования их формы как на этапе подготовки к операции, так и непосредственно во время хирургического вмешательства. Это позволяет достичь высокой точности протезирования и обеспечить оптимальный эстетический результат. Особое внимание уделено конструкции имплантатов: их трубчатая структура позволяет интегрировать ножку эндопротеза межфалангового сустава с возможностью выбора размера ножки в ходе операции, что особенно важно для коррекции размеров эндопротезов в зависимости от клинической ситуации.

Полученный опыт применения углеродных наноструктурных имплантатов демонстрирует их высокую эффективность при лечении посттравматических дефектов костных тканей, включая случаи повреждения суставных поверхностей. Данный метод может быть рекомендован для широкого использования в клинической практике, так как он способствует восстановлению функций кисти и улучшению качества жизни пациентов.

*Автор заявляет об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.*

*Добровольное информированное согласие было получено от пациентки или её законных представителей для участия в исследовании и публикации его результатов в анонимном формате.*

### Список литературы

1. Назарян Г.А., Сухинин Т.Ю. Реплантация кисти и пальцев // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2017. Т. 20. № 1. С. 17-27. URL:<https://journals.tsu.ru/uploads/import/1575/files/03.pdf> (дата обращения 16.07.2025г).
2. Væk Hansen T. Joint replacement for trapeziometacarpal osteoarthritis: implants and outcomes // Journal of Hand Surgery (European Volume). 2021. Vol. 46. Is. 2. P. 115–119. DOI:10.1177/1753193420917582 . Epub 2020 Apr 26. PMID: 32338193.
3. Семенов Ф.В., Резников Р.В., Скибицкая Н.Ф. Применение костно-пластических материалов для мастоидопластики // Вестник оториноларингологии. 2019. № 84 (1). P. 78-81. DOI:10.17116/otorino20198401178.
4. Гордина Е.М., Божкова С.А., Лабутин Д.В., Уткин Ю.А., Аптуков А.И. Углерод-углеродный композиционный материал как потенциальная основа для ортопедических имплантатов. Фундаментальная и клиническая медицина. 2024. № 9(3). С. 19-28. DOI:10.23946/2500-0764-2024-9-3-19-28.
5. Шевцов В.И., Шатохин В.Д., Пушкин С.Ю. Опорная пластика дефектов костей с использованием наноструктурных имплантатов // Клинические рекомендации. – Самара, 2014. 27 с. URL: <http://ntmplus.ru/media/publication/8.pdf> (дата обращения: 16.07.2025).
6. Польшин А.Г., Валетова С.В. Опыт протезирования и реэндопротезирования суставов кисти и пальцев. Проблемы и варианты возможного решения. В кн.: VI Всероссийский съезд общества кистевых хирургов: материалы съезда. Нижний Новгород, 2016. С. 91–92.
7. Рудской А.И., Белов И.М., Гордеев С.К., Барзинский О.В., Кондратьев С.Ю. Углеродные наноструктурные имплантаты для замещения костных дефектов и технология их изготовления // Металловедение и термическая обработка металлов (МиТОМ): научно-технический и производственный журнал. Москва. 2018. № 1 (751). С. 20-25.
8. Сафин И.Р., Родионова А.Ю., Рукавишников Д.В., Хасанов Р.Ш. Реконструкция послеоперационного дефекта углеродным наноструктурным имплантатом с интрамедуллярным остеосинтезом после резекции длинных трубчатых костей по поводу первичных и метастатических опухолей // Сибирский онкологический журнал. 2022. № 21 (3). С. 81-89. DOI: 10.21294/1814-4861-2022-21-3-81-89.

9. Набиев Ф.Х., Золкин П.И., Головин Р.В. Состав углепластика для устранения дефектов кости // Патент 2241495 РФ. Патентообладатель ФГУ ЦНИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Федерального агентства по высокотехнологичной медицинской помощи. №2 003134290/15. Заявл. 27.11.2003; опубл. 10.12.2004.
10. Xu J., Wen G., Chai Y. Thumb reconstruction with combination of the wrap-around flap prefabricated by medialis pedis perforator flap with nail bed and phalanx banked from the amputated thumb: A case report. *Microsurgery*. 2018. DOI: 10.1002/micr.30382.
11. Росторгуев В.Э., Галина А.В., Гончарова А.С., Дурицкий М.Н., Максимов А.Ю., Голубев Г.Ш. Изучение регенерации костной ткани после механического повреждения с использованием углеродного наноструктурного имплантата в условиях эксперимента на иммунодефицитных мышцах // *Современные проблемы науки и образования*. 2023. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33135> (дата обращения: 18.07.2025). DOI: 10.17513/spno.33135.
12. Баламетов С.Г., Батраков С.Ю., Гаврюшенко Н.С. Результаты применения углеродного наноструктурного имплантата при опухолевых, опухолеподобных и воспалительных заболеваниях скелета в практике детской костной патологии // *Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова*. 2018. №3-4. С. 79-88. DOI: 10.17116/vto201803-04179.
13. Chen C., Xie L., Ren T., Huang Y., Xu J., Guo W. Immunotherapy for osteosarcoma: fundamental mechanism, rationale, and recent breakthroughs // *Cancer Letters*. 2021. Vol. 500. P. 1-10. DOI:10.1016/j.canlet.2020.12.024.
14. Снетков А.И., Батраков С.Ю., Франтов А.Р., Баламетов С.Г. Замещение пострезекционных костных дефектов углеродными наноструктурными имплантатами при опухолевых и опухолеподобных заболеваниях скелета // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2017. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zameschenie-postrezektsionnyh-kostnyh-defektov-uglerodnymi-nanostrukturnymi-implantatami-pri-opuholevyih-i-opuholepodobnyh> (дата обращения: 18.07.2025).
15. Попрыгина Т.Д., Пономарева Н.И., Гордеев С.К., Самодай В.Г. Импрегнирование углеродных наноструктурных имплантатов (уни) костным гидроксипатитом // *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2022. Т. 25. № 1. С. 51-57. URL: <https://elibrary.ru/audetf?ysclid=mdk7291h4v629603532> (дата обращения: 18.07.2025).