Дата публикации: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_22
УДК 617.57-77

Publication date: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_22
UDC 617.57-77

# ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТРОФИЧЕСКИМИ И КЕЛОИДНЫМИ РУБЦАМИ ПОСЛЕ ТРАВМАТИЧЕСКОЙ АМПУТАЦИИ КИСТИ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ФУНКЦИИ

**Е.С. Кутин[1], С.А. Трофимова[1], Е.А. Дианова[1], А.А. Моисеенко[1], К.М. Назарова[2]**
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

**Аннотация.** ***Введение.*** Статья посвящена изучению методов реабилитации пациентов после травматической ампутации кисти, уделяется особое внимание формированию гипертрофических и келоидных рубцов. ***Методы.*** Анализ современных медицинских публикаций, посвященных методам профилактики и лечения гипертрофических и келоидных рубцов, проведен в российских и международных базах данных. ***Результаты.*** Рассмотрены традиционные методы лечения рубцов и новейшие перспективы, среди которых генно-клеточная терапия, нанотехнологии и применение экзосом мезенхимальных стволовых клеток. Обозначено ключевое значение нейропротезирования для восстановления моторики и чувствительности. ***Заключение.*** Комплексный междисциплинарный подход способен существенно повысить качество жизни пациентов после ампутации конечностей.
**Ключевые слова:** рубцы, ампутация кисти, келоиды, реабилитация, лазерная терапия.

# INNOVATIVE METHODS OF REHABILITATION OF PATIENTS WITH HYPERTROPHIC AND KELOID SCARS AFTER TRAUMATIC AMPUTATION OF THE HAND: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH TO RESTORING FUNCTION

**E.S. Kutin[1], S.A. Trofimova[1], E.A. Dianova[1], A.A. Moiseenko[1], K.M. Nazarova[2]**
[1]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia
[2]National Medical Research Centre for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

**Abstract.** ***Introduction.*** The article is devoted to the study of methods of rehabilitation of patients after traumatic hand amputation, paying special attention to the formation of hypertrophic and keloid scars. ***Methods.*** The analysis of modern medical publications on methods of prevention and treatment of hypertrophic and keloid scars has been conducted in Russian and international databases. ***Results.*** Traditional methods of scar treatment and the latest prospects, including gene cell therapy, nanotechnology, and the use of mesenchymal stem cell exosomes, are considered. The key importance of neuroprosthetics for the restoration of motor skills and sensitivity is indicated. ***Conclusion.*** A comprehensive interdisciplinary approach can significantly improve the quality of life of patients after limb amputation.
**Keywords:** scars, hand amputation, keloids, rehabilitation, laser therapy.

**Введение.** Ампутация конечности представляет собой тяжелое травматическое событие, изменяющее жизнь человека и требующее внимательного подхода к реабилитации. Наиболее значительное влияние оказывает потеря верхней конечности, в особенности доминирующей руки. Современные исследования показывают, что во многих случаях ампутация приводит не только к потере функциональных возможностей, но и к серьезным психологическим проблемам [1]. Ключевое значение послеоперационного восстановления имеет заживление раны. Нарушения в данном процессе приводят к гипертрофическим и келоидным рубцам – осложнениям, свидетельствующим о нарушениях в иммунном процессе. Патологические рубцы сопровождаются

болезненными и зудящими ощущениями, значительным ухудшением во внешнем виде, что приводит к ухудшению качества жизни пациентов [2].

Цель: систематизировать современные методы реабилитации пациентов с гипертрофическими и келоидными рубцами после ампутации и оценить перспективы междисциплинарного подхода в их лечении.

**Методы и организация исследования.** Поиск научных публикаций, посвященных вопросам методов реабилитации гипертрофических и келоидных рубцов после травматической ампутации кисти, производился в базах данных КиберЛенинки, Библиотеки eLibrary, Российской государственной библиотеки, PubMed.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Ампутация конечности представляет собой хирургическое вмешательство, требующее комплексного подхода к процессу заживления и реабилитации. Культя подвергается значительным механическим нагрузкам, что может способствовать формированию патологических рубцов, таких как гипертрофические и келоидные [1].

Процесс репарации раны протекает в три фазы: воспаление (в ряде исследований предшествует фаза гемостаза, включающая вазоконстрикцию и формирование фибринового сгустка); пролиферация (регенерация); ремоделирование. В зависимости от характера заживления рубцы классифицируют на нормальные, гипертрофические и келоидные [2]. Нарушение регуляции репаративных процессов может приводить к формированию гипертрофических и келоидных рубцов. Ряд исследований указывает на ключевую роль нарушения регуляции цитокинов в фазе воспаления [3], тогда как другие авторы связывают возникновение патологических рубцов с избыточным ангиогенезом в пролиферативную фазу и длительным ремоделированием, сопровождающимся избыточной активностью факторов роста (например, TGF-β) [1, 4, 5].

В патогенезе изучаемых рубцов ключевую роль играет избыточный синтез компонентов внеклеточного матрикса, в частности коллагена, обусловленного повышенной активностью TGF-β [6]. Риск развития патологических рубцов зависит от локальных (в особенности натяжение раны) и системных факторов (генетическая предрасположенность, сопутствующие заболевания) [3, 6].

Несмотря на общность патогенетических механизмов, гипертрофические и келоидные рубцы имеют ряд отличительных особенностей. Келоидные рубцы выходят за границы первоначального повреждения, склонны к прогрессирующему росту (некоторые авторы рассматривают как форму доброкачественной опухоли [2, 4]), не подвергаются спонтанной регрессии, имеют генетическую предрасположенность и характеризуются увеличением синтеза коллагена в 20 раз от нормы. Гипертрофические рубцы остаются в пределах первоначальной раны, имеют возможность самопроизвольной регрессии, не связаны с наследственными факторами и сопровождаются повышением выработки коллагена в 3 раза. В отличие от келоидных, формирование гипертрофических шрамов не зависит от анатомической локализации [4, 6].

Оба типа рубцов значительно снижают качество жизни пациентов: вызывают зудящие (наиболее часто встречающееся осложнение), болезненные и стягивающие ощущения, могут быть причиной ограниченных движений (при локализации в области суставов) и характеризуются выраженным косметическим дефектом, приводящим к психологическому дискомфорту [3, 7, 8]. Следует отметить, что патологические рубцы чаще формируются у лиц в возрасте 11-30 лет, что обусловлено высокой активностью иммунной системы и ускоренной регенерацией эпидермиса [3].

Также одной из главных проблем после ампутации является психологический аспект, проявляющийся тревожностью, депрессией, социальной изоляцией и снижением приверженности реабилитационным мероприятиям [1]. У 85% пациентов после ампутации развивается хронический болевой синдром, причем риск его возникновения коррелирует с длительным приемом анальгетиков. Для решения данной проблемы разрабатываются методы,

направленные на «закрытие» афферентно-эфферентных путей. Одним из таких подходов является целенаправленная мышечная реиннервация [9].

*Современные методы лечения и реабилитации.* Гипертрофические рубцы обычно появляются спустя несколько недель после получения травмы. Их активный рост продолжается в течение 3-6 месяцев, после чего при отсутствии выраженных провоцирующих факторов процесс стабилизируется с последующим постепенным самостоятельным регрессом. Для ускорения этого периода и уменьшения выраженности рубцовой ткани применяются консервативные методы терапии, направленные на снижение объема рубца, устранение болевого синдрома и зуда.

Хирургическая коррекция гипертрофических рубцов требуется сравнительно редко – только в случаях, когда они приводят к контрактурам и нарушению функции суставов. В подобных ситуациях проводится реконструктивное оперативное вмешательство [9].

*Компрессионная терапия (КТ).* Компрессионная терапия является стандартным методом лечения и профилактики гипертрофических рубцов. Мета-анализ, проведенный в 2017 году, где было отобрано 12 исследований, показал, что КТ с давлением от 15 до 25 мм рт. ст. уменьшает толщину и твердость гипертрофических рубцов, а также покраснение. КТ может способствовать заживлению ран за счет местного сужения сосудов, которое ограничивает вызванное воспаление [10].

*Инъекция кортикостероидов.* Международные группы исследователей и врачей доказывают, что внутрикожное введение кортикостероидов может привести к уменьшению гипертрофических рубцов и келоидов на 50-100%. Инъекция снижает выработку воспалительных цитокинов. Однако к недостаткам относятся боль, вызванная инъекцией, а также различные побочные эффекты [11].

Исследования показывают, что наиболее перспективными являются:

– Компрессионная терапия (бандажи) [7, 9];

– Инъекционные методы (кортикостероиды, 5-ФУ, ботулотоксин) [10];

– Лазерная терапия (фракционный $CO_2$-лазер, PDL) [9-11];

– Криотерапия и радиоволновые технологии [6].

**Перспективные направления.** *Генная и клеточная терапия.* Традиционные методы лечения рубцов не всегда обеспечивают стабильный результат и могут сопровождаться рецидивами, что говорит о необходимости разработки новых терапевтических стратегий. Современные подходы включают воздействие на иммунные пути, применение ингибиторов и использование мезенхимальных стволовых клеток (МСК). Перечисленные исследования показывают положительные, эффективные и долгосрочные результаты [12].

Одним из ключевых направлений является воздействие на сигнальные пути, регулирующие пролиферацию внеклеточного матрикса. В частности, ингибирование TGF-β1 – перспективный метод коррекции гипертрофических и келоидных рубцов, поскольку данный цитокин играет центральную роль в развитии фиброза [5, 10]. Однако прямое блокирование TGF-β (например, при инъекционном применении) не всегда обеспечивает достаточный клинический эффект [13].

При гипертрофических и келоидных рубцах повышается уровень белка TEM1. Данный белок усиливает передачу сигналов TGF-β1, тем самым увеличивая пролиферацию и выработку внеклеточного матрикса. Экспериментальные данные на моделях мышей показали, что удаление TEM1 приводит к снижению синтеза коллагена и уменьшению рубцевания [13]. Таким образом, подавление экспрессии TEM1 представляет собой инновационный подход к коррекции патологического фиброза.

Перспективным направлением является также использование РНК-терапии, направленной на регулирование генов, связанных с избыточным разрастанием соединительной ткани [14]. Кроме того, значительный интерес вызывают экзосомы МСК, которые за счет паракринного действия подавляют активность фибробластов, стимулируют

репарацию тканей и модулируют иммунный ответ [9, 15]. Многочисленные исследования подтверждают их эффективность в улучшении заживления ран и профилактике рубцов за счет регуляции ремоделирования внеклеточного матрикса и стимуляции апоптоза фибробластов [16]. К преимуществам МСК-экзосом относятся: отсутствие риска иммунного отторжения, противовоспалительное и иммуномодулирующее действие, высокая биологическая активность в отношении фибробластов [17, 18], а также доступность получения из жировой ткани [19, 20].

*Нанотехнологии и 3D-биопечать.* Нанотехнологии – развивающаяся область для лечения рубцов. В нее входят такие технологии, как микроиглы (для трансдермальной доставки веществ); биоэлектрическая стимуляция; повязки, созданные при помощи 3D-печати; жировые нанопластины (Nanofat) [10, 21]. Данные технологии могут использоваться для достижения эстетических (улучшение внешнего вида) и восстановительных (ускорение процесса заживления) эффектов.

Комбинация 3D-печати и наноматериалов позволяет создавать биосовместимые каркасы для ускоренной регенерации. Например, двухслойные конструкции, описанные в работе Chen Z. и др. [12], обеспечивают адгезию и пролиферацию клеток, а также антимикробную защиту, снижая риск инфицирования и патологического рубцевания [18].

Особый интерес представляют созданные при помощи 3D-печати гидрогелевые каркасы (на основе дермального внеклеточного матрикса), которые уменьшают воспаление и предотвращают избыточное отложение коллагена. Экспериментальные исследования подтверждают их эффективность в заживлении ран без рубцевания [16].

Одной из инновационных разработок являются нанопластины из гранулированной жировой ткани (Nanofat), содержащие значительное количество стволовых клеток. Локальное введение способствует регенерации тканей и уменьшению фиброза [20].

*Нейропротезирование.* Помимо предотвращения появления келоидных и гипертрофических шрамов пациенты, перенесшие ампутацию, сталкиваются со снижением самостоятельности в повседневной жизни за счет потери функциональности ампутированной конечности. Реабилитация после ампутации – довольно сложный процесс, поскольку нарушены нейронные связи.

В настоящее время активно развиваются технологии, позволяющие восстановить утраченные функции с помощью бионических протезов. Один из перспективных подходов – использование миоэлектрических систем, основанных на регистрации электрических сигналов от сохранившихся нервов и мышц. Данный способ позволяет восстановить функции конечности, вернув пациенту способность выполнять повседневные дела [21].

Однако не менее важным аспектом является восстановление сенсорной функции, поскольку нарушение чувствительности значительно ограничивает человека и приводит к инвалидности. Техника сенсорной реиннервации конечности (целенаправленная мышечная реиннервация), при которой нервы ампутированных пальцев перенаправляются в кожу предплечья, позволяет восстановить чувствительность, создавая основу для более естественного взаимодействия с протезом. Также при данном способе отмечается снижение частоты возникновения или полное исчезновение боли [17].

**Заключение.** По итогам проведенного анализа литературных данных следует отметить, что проблема реабилитации пациентов после ампутации, особенно с осложненным заживлением культи и формированием патологических рубцов, требует комплексного и междисциплинарного подхода. Гипертрофические и келоидные рубцы не только снижают функциональность и эстетическое восприятие, но и оказывают существенное влияние на психологическое состояние пациента, усугубляя последствия ампутации [4-9].

Современная медицина предлагает широкий спектр методов коррекции таких рубцов – от компрессионной и лекарственной терапии до лазерных и хирургических вмешательств. Однако

наиболее перспективными являются инновационные подходы, направленные на молекулярную и клеточную регуляцию заживления, включая использование ингибиторов сигнальных путей (TGF-β1, TEM1), мезенхимальных стволовых клеток и их экзосом, РНК-терапии, а также технологий наномедицины и 3D-биопечати [7, 16].

Дополнительно особое значение приобретает нейропротезирование, сочетающее восстановление двигательной и сенсорной функций, что открывает возможности для полноценного возвращения пациентов к активной жизни. Таким образом, дальнейшее развитие интегративных стратегий лечения и реабилитации, объединяющих достижения регенеративной медицины, биоинженерии и нейротехнологий, является ключом к повышению качества жизни и социальной адаптации пациентов после ампутации [12-21].

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. The Prevalence of Depression and PTSD in Adults With Surgically Managed Traumatic Upper-Extremity Amputations / S. Cohen-Tanugi, R. Reid, B.J. Loeffler, R.G. Gaston // Hand (N Y). – 2024. – No. 19(1). – P. 169-174.
2. Wound Healing: Cellular Review With Specific Attention to Postamputation Care / D.S. Kirwin, H.E. Diaz, T.C. Frantz [et al.] // Cutis. – 2024. – No. 113(3). – P. 125-131.
3. Keloids are transcriptionally distinct from normal and hypertrophic scars / A.S. Walter, M. Stocks, E. Akova [et al.] // Eur J Dermatol. – 2023. – No. 33(6). – P. 604-611.
4. Carswell, L. Hypertrophic Scarring Keloids / L. Carswell, J. Borger // In: StatPearls. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
5. An Updated Review of Hypertrophic Scarring / M.P. Mony, K.A. Harmon, R. Hess [et al.] // Cells. – 2023. – No. 12(5). – P. 678.
6. Kim, H.J. Comprehensive Insights into Keloid Pathogenesis and Advanced Therapeutic Strategies / H.J. Kim, Y.H. Kim // Int J Mol Sci. – 2024. – No. 25(16). – P. 8776.
7. Murakami, T. Pharmacotherapy for Keloids and Hypertrophic Scars / T. Murakami, S. Shigeki // Int J Mol Sci. – 2024. – No. 25(9). – P. 4674.
8. CILP1 interacting with YBX1 promotes hypertrophic scar formation by suppressing PPARs transcription / J. Wang, J. Du, Y. Song [et al.] // Cell Death Dis. – 2025. – No. 16(1). – P. 371.
9. Scars / M.G. Jeschke, F.M. Wood, E. Middelkoop [et al.] // Nat Rev Dis Primers. – 2023. – No. 9(1). – P. 64.
10. Targeted Muscle Reinnervation Compared to Standard Peripheral Nerve Management Following Amputation: A Systematic Review and Meta-Analysis / A.J. Zimbulis, V.V.G. An [et al.] // Hand (N Y). – 2024. – P. 15589447241284811.
11. Ogawa, R. The Most Current Algorithms for the Treatment and Prevention of Hypertrophic Scars and Keloids: A 2020 Update of the Algorithms Published 10 Years Ago / R. Ogawa // Plast Reconstr Surg. – 2022. – No. 149(1). – P. 79e-94e.
12. The effectiveness of pressure therapy (15-25 mmHg) for hypertrophic burn scars: A systematic review and meta-analysis / J.W. Ai, J.T. Liu [et al.] // Sci Rep. – 2017. – No. 7. – P. 40185.
13. International Advisory Panel on Scar Management. International clinical recommendations on scar management / T.A. Mustoe, R.D. Cooter, M.H. Gold [et al.] // Plast Reconstr Surg. – 2002 – No. 110(2). – P. 560-571.
14. Xu, Z. Exosomal miR194 from adipose derived stem cells impedes hypertrophic scar formation through targeting TGF β1 / Z. Xu, Y. Tian, L. Hao // Mol Med Rep. – 2024. – No. 30(6). – P. 216. DOI: 10.3892/mmr.2024.13340.
15. TEM1/endosialin/CD248 promotes pathologic scarring and TGF-β activity through its receptor stability in dermal fibroblasts / Y.K. Hong, Y.C. Lin [et al.] // J Biomed Sci. – 2024. – No. 31(1). – P. 12.
16. Exosomes from mesenchymal stem cells: Potential applications in wound healing / S. Li, Y. Li [et al.] // Life Sci. – 2024. – No. 357 – P. 123066.
17. Chen, Z. New challenges in scar therapy: the novel scar therapy strategies based on nanotechnology / Z. Chen, J. Gao, L. Li // Nanomedicine (Lond). – 2024. – No. 19(28). – P. 2413-2432.
18. Exosome Derived from Mesenchymal Stem Cells Alleviates Hypertrophic Scar by Inhibiting the Fibroblasts via TNFSF-13/HSPG2 Signaling Pathway / H. Zhang, C. Zang, W. Zhao [et al.] // Int J Nanomedicine. – 2023. – No. 18. – P. 7047-7063.
19. Ma, X.J, Thinking and prospect of scar reconstruction / X.J. Ma, C. Dong // Zhonghua Shao Shang Yu Chuang Mian Xiu Fu Za Zhi. – 2023 – No. 39(9). – P. 801-805.

20. 3D printing of Rg3-loaded hydrogel scaffolds: anti-inflammatory and scar-formation related collagen inhibitory effects for scar-free wound healing / X. Wang, P. Wei, C. Hu [et al.] // J Mater Chem B. – 2024. – No. 12(19). – P. 4673-4685.
21. Restoration of grasping in an upper limb amputee using the myokinetic prosthesis with implanted magnets / M. Gherardini, V. Ianniciello, F. Masiero [et al.] // Sci Robot. – 2024 – No. 9(94). – P. eadp3260.
22. Restoration of Genuine Sensation and Proprioception of Individual Fingers Following Transradial Amputation with Targeted Sensory Reinnervation as a Mechanoneural Interface / A. Gardetto, G.R. Müller-Putz, K.R. Eberlin [et al.] // J Clin Med. – 2025. – No. 14(2). – P. 417.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Евгений Сергеевич Кутин** – студент индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, e-mail: i@ekutin.ru, ORCID: 0009-0001-4238-1038.
**Софья Андреевна Трофимова** – студентка индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, e-mail: sofia-trofimov-a@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-4013-0162.
**Екатерина Андреевна Дианова** – студентка Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО «ПМГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, e-mail: ekaterinadianovaa@mail.ru, ORCID: 0009-0006-4651-8659.
**Александр Александрович Моисеенко** – студент индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, e-mail: bratishko3@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0023-426X.
**Кристина Михайловна Назарова** – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела соматической реабилитации, репродуктивного здоровья и активного долголетия «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Москва, e-mail: nazarovakm@nmicrk.ru, ORCID: 0009-0000-2590-6755.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Evgenij S. Kutin** – Student of individual educational trajectory, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, e-mail: i@ekutin.ru, ORCID: 0009-0001-4238-1038.
**Sofia A. Trofimova** – Student of individual educational trajectory, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, e-mail: sofia-trofimov-a@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-4013-0162.
**Ekaterina A. Dianova** – Student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, e-mail: ekaterinadianovaa@mail.ru, ORCID: 0009-0006-4651-8659.
**Aleksandr A. Moiseenko** – Student of individual educational trajectory, N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, e-mail: bratishko3@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0023-426X.
**Kristina M. Nazarova** – Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Department of Somatic Rehabilitation, Reproductive Health and Active Longevity, National medical research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, e-mail: nazarovakm@nmicrk.ru, ORCID: 0009-0000-2590-6755.

**Для цитирования**: Инновационные методы реабилитации пациентов с гипертрофическими и келоидными рубцами после травматической ампутации кисти: междисциплинарный подход к восстановлению функции / Е.С. Кутин, С.А. Трофимова, Е.А. Дианова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_22

**For citation**: Kutin E.S., Trofimova S.A., Dianova E.A., Moiseenko A.A., Nazarova K.M. Innovative methods of rehabilitation of patients with hypertrophic and keloid scars after traumatic amputation of the hand: an interdisciplinary approach to restoring function. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_22