

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА,
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И СВЯЗЬ

ELECTRONICS, PHOTONICS,
INSTRUMENT MAKING
AND COMMUNICATIONS

УДК 681.2

DOI: 10.17212/2782-2001-2025-1-141-154

Анализ времени заживления разрезов биологической ткани *in vivo*, выполненных хирургическими ножницами и электромагнитным излучателем *

**С.В. БЕЛАВСКАЯ^a, Д.Н. КУЛЕШОВ^b, Л.И. ЛИСИЦЫНА^c, А.В. ГЛАДКА^d,
В.П. РАЗИНКИН^e, А.Ю. ЧЕХОВСКИХ^f, А.А. БЛОХИН^g**

*РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный
технический университет*

^a Svetlana.belana@yandex.ru ^b dnkuleshov@gmail.com ^c lisitcinali@gmail.com

^d Annagladkaram3@gmail.com ^e razinkin_vp@mail.ru ^f lexachex18@example.com

^g snakebss@mail.ru

В современной хирургии поиск и разработка методов, обеспечивающих эффективное и безопасное рассечение биологических тканей, являются приоритетными направлениями исследований. Минимизация повреждения окружающих тканей, снижение риска развития осложнений и ускорение процесса заживления являются ключевыми факторами, определяющими эффективность хирургического вмешательства. Традиционно для рассечения тканей используются хирургические ножницы или скальпель, однако это сопряжено с риском кровотечения и травмирования тканей, что может замедлить процесс заживления и способствовать развитию воспалительных реакций. Альтернативным методом, демонстрирующим перспективные результаты, является использование высокочастотного электромагнитного излучения для рассечения и коагуляции тканей.

Настоящая статья представляет результаты экспериментального исследования *in vivo*, посвященного сравнительному анализу динамики заживления разрезов биологической ткани, в частности кожного покрова, у лабораторных животных, выполненных с использованием двух различных методов: традиционных хирургических ножниц и высокочастотного электромагнитного излучателя, работающего на частоте 27,12 МГц. Целью настоящего исследования является объективная оценка влияния различных методов рассечения тканей на процесс заживления и выявление особенностей регенерации при использовании электромагнитного излучения.

В ходе экспериментального исследования была проведена оценка одного из параметров, характеризующих процесс заживления, такого как время закрытия раны, а именно: измерялась продолжительность заживления, необходимая для полного закрытия кожного дефекта.

Полученные данные позволяют провести сравнительную оценку динамики заживления разрезов, выполненных с помощью высокочастотного электромагнитного излучателя в качестве

* Статья получена 02 декабря 2024 г.

альтернативного устройства рассечения биологических тканей при хирургических вмешательствах по сравнению с разрезами, полученными традиционным инструментом – хирургическими ножницами. По результатам исследования представлена важная информация о влиянии различных методов рассечения на динамику заживления. Важным аспектом является исследование фазы воспаления как начального и ключевого этапа в заживлении раны. Исследование направлено на определение влияния коагуляции на интенсивность и продолжительность воспалительной реакции.

Анализ полученных результатов показал, что применение высокочастотного электромагнитного излучателя для рассечения тканей оказывает значимое влияние на процесс заживления. В частности, продемонстрировано, что метод электромагнитной коагуляции приводит к сокращению интенсивности и продолжительности воспалительной фазы по сравнению с использованием хирургических ножниц. Этот эффект, вероятно, связан с тем, что высокочастотное излучение одновременно обеспечивает рассечение и коагуляцию тканей, предотвращая кровотечение и снижая травматичность разреза.

Результаты исследования указывают на потенциальные преимущества высокочастотного электромагнитного излучения как альтернативного метода рассечения тканей в хирургической практике. Выявленные особенности заживления ран, выполненных различными методами, могут быть использованы для оптимизации хирургических протоколов и снижения риска возникновения послеоперационных осложнений. Данные, полученные в ходе работы, имеют практическое значение для разработки новых методов и технологий, направленных на улучшение качества хирургических вмешательств и ускорение восстановления пациентов. В дальнейшем планируется углубить исследования в области влияния различных параметров электромагнитного излучения на процесс заживления, а также провести дополнительные исследования ключевых параметров, характеризующих процесс заживления, таких как интенсивность воспалительной реакции, морфологические особенности сформированной рубцовой ткани, включая ее плотность, структуру и эластичность, процесс формирования нового эпителиального покрова над раневой поверхностью.

Ключевые слова: анализ, мышь, *in vivo*, кожный покров, разрез, время заживления, электромагнитный излучатель, хирургические ножницы, высокочастотный генератор

ВВЕДЕНИЕ

В современной хирургической практике актуальным является исследование и разработка новых методов, которые обеспечивают рассечение биологических тканей с минимальным повреждением окружающих структур и сокращение времени проведения операции, а также снижение послеоперационных осложнений. В настоящее время одним из перспективных направлений является использование высокочастотного электромагнитного излучения для рассечения и коагуляции тканей.

В предыдущих работах авторов настоящей статьи был предложен и экспериментально исследован метод рассечения биологической ткани *in vivo*, в частности кожного покрова мышей, с использованием высокочастотного генератора с электромагнитным излучателем, работающего на частоте 27,12 МГц [1, 2]. Этот метод показал ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными хирургическими методиками. В частности, было отмечено отсутствие кровотечения во время рассечения, что является следствием одновременной коагуляции сосудов под воздействием высокочастотного излучения. Коагуляция способствует формированию защитного барьера, препятствующего проникновению инфекции в рану, а также снижает риск развития послеоперационных кровотечений и осложнений. Помимо этого, наблюдалось

снижение воспалительной реакции, а также минимальное воздействие на окружающие ткани, не являющиеся мишенью. Это позволяет избирательно проводить более точные хирургические манипуляции, уменьшая возможность повреждения рядом расположенных биологических тканей различного типа.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и безопасности предложенного метода рассечения. Однако, несмотря на обнадеживающие первичные результаты, ряд вопросов требует дальнейшего изучения. Важнейшим из них является процесс заживления ран, полученных с применением данного метода. Заживление ран представляет собой сложный биологический процесс, включающий в себя множество взаимосвязанных этапов, таких как воспаление, пролиферация клеток, ремоделирование внеклеточного матрикса и эпителизация. Процесс заживления может быть подвержен влиянию различных факторов, включая размер и глубину раны, наличие инфекции, состояние организма и методы хирургического вмешательства.

В связи с этим дальнейшее исследование процессов заживления ран, полученных с применением высокочастотного электромагнитного рассечения, является крайне важной и актуальной задачей. Понимание особенностей заживления позволит более точно оценить клиническую значимость и преимущества предложенного метода. В частности, в первую очередь необходимо установить динамику заживления: как быстро происходит закрытие раны.

Безусловно, в дальнейшем необходимо провести всесторонние исследования морфологических особенностей рубцовой ткани, оценить уровень воспалительной реакции, оценить риск осложнений.

Оценка процесса заживления раны позволит оптимизировать протоколы использования высокочастотного электромагнитного рассечения, а также определить его потенциальные преимущества и ограничения. Полученные данные будут иметь важное значение для внедрения этого метода в клиническую практику и расширения спектра его применения в хирургии. Изучение заживления ран, полученных с применением данного метода, имеет не только научно-исследовательский, но и выраженный практический интерес, поскольку позволит повысить эффективность и безопасность хирургических вмешательств.

Таким образом, исследование заживления ран после высокочастотного электромагнитного рассечения *in vivo* является важным этапом для понимания потенциала предложенного метода и его последующего применения в медицинской практике.

1. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проводилось экспериментальное исследование процессов заживления разрезов биологической ткани (кожного покрова) *in vivo*, выполненных хирургическими ножницами и высокочастотным электромагнитным излучателем на частоте 27,12 МГц.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка для проведения исследований включает следующие приборы и устройства:

- высокочастотный генератор 27,12 МГц;
- хирургические ножницы;
- медицинский хирургический инструмент (излучатель – стержень из медицинской стали);
- измеритель длины разреза.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 представлена блок-схема процесса рассечения кожного покрова мышей двумя способами: высокочастотным электромагнитным излучателем и хирургическими ножницами.

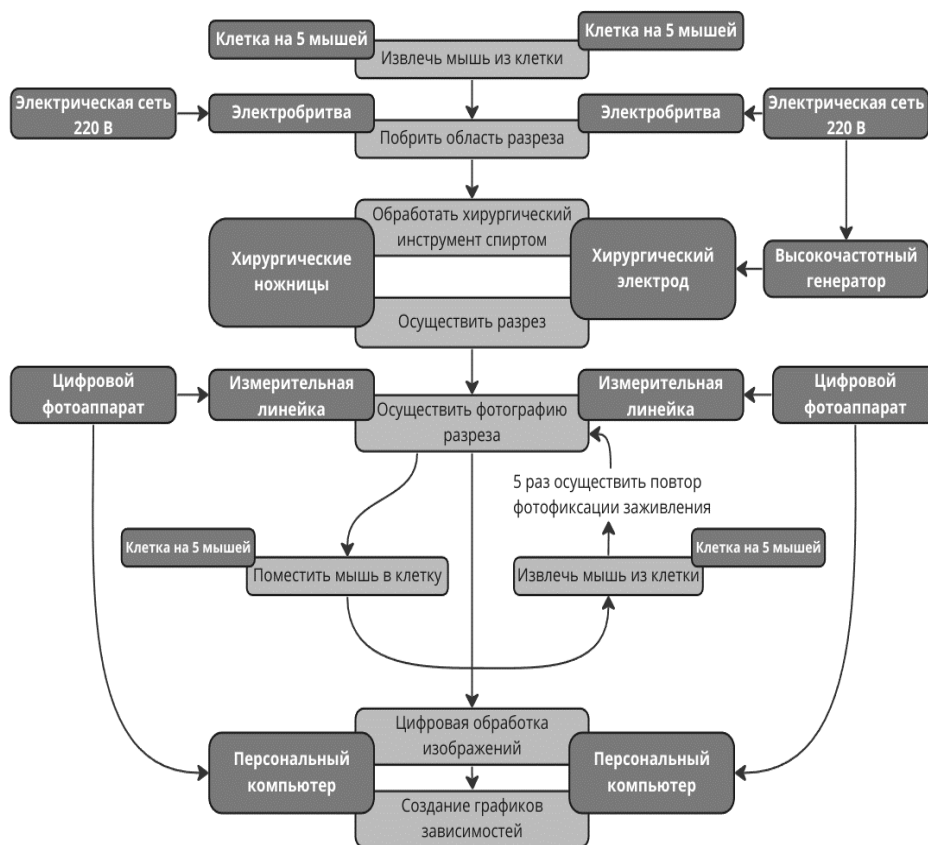


Рис. 1. Блок-схема процесса рассечения кожного покрова мышей двумя способами: высокочастотным электромагнитным излучателем и хирургическими ножницами

Fig. 1. A flow diagram of the process of dissecting the skin of mice using two methods: a high-frequency electromagnetic emitter and surgical scissors

В рамках экспериментальной модели *in vivo* в клетках находилось по пять особей мышей. Условия содержания в клетках соответствовали стандартным

виварным условиям с нестерильной средой, наличием продуктов жизнедеятельности животных и возможностью их социального взаимодействия.

В ходе экспериментальных манипуляций было отмечено, что при рассечении тканей хирургическими ножницами животные демонстрировали признаки агрессивного поведения, вероятно, обусловленные воздействием болевых стимулов и хеморецепторным раздражением, вызванным запахом крови. При рассечении тканей высокочастотным электромагнитным излучателем наблюдалась меньшая выраженность агрессивного поведения, что, возможно, связано с отсутствием запаха крови, с формированием коагулированных краев раны, обладающих большей механической прочностью, и, следовательно, с меньшей склонностью к деструктивному растяжению и вторичному кровотоку.

Процесс заживления разрезов кожного покрова был задокументирован посредством фотофиксации, проводившейся пять раз в течение семнадцати дней.

В ходе проведения экспериментальных манипуляций была обеспечена антисептическая обработка хирургического инструментария и области разреза кожного покрова 70-процентным раствором этанола.

Экспериментальные исследования были проведены на пяти особях мышей с целью обеспечить статистическую достоверность полученных данных. Использование достаточного количества наблюдений является одним из ключевых аспектов, повышающих надежность результатов. В данном случае применение выборки из пяти мышей обеспечивает достаточный объем данных для проведения статистического анализа, что позволяет снизить влияние случайных факторов и повысить степень уверенности в выводах, полученных в рамках данного исследования. На основании этого можно утверждать о статистической значимости представленных результатов [3].

На рис. 2 приведены примеры фотографий разрезов кожного покрова хирургическими ножницами (рис. 2, а) и высокочастотным электродом (рис. 2, б), на которых явно видно наличие коагуляции на краях разреза.

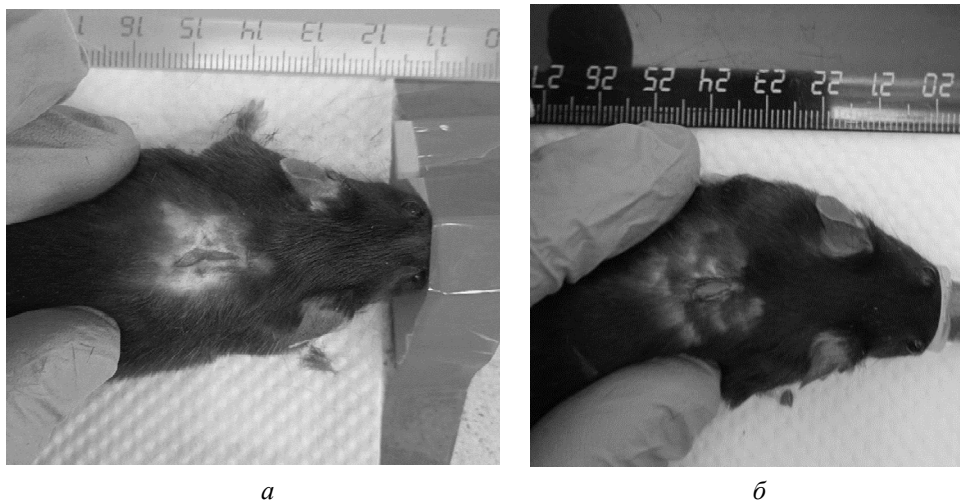


Рис. 2. Фотографии разрезов кожного покрова хирургическими ножницами (а) и высокочастотным электродом (б)

Fig. 2. Photographs of skin incisions with surgical scissors (a) and high-frequency electrode (b)

В работе [4] авторами настоящей работы представлены результаты исследования динамики заживления разрезов, выполненных электромагнитным излучателем (рис. 3).

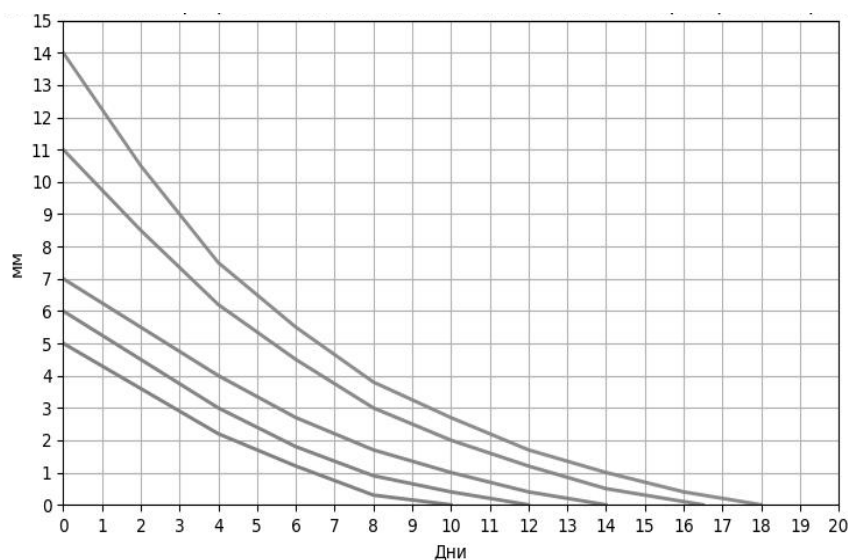


Рис. 3. Динамика заживления разрезов, выполненных электромагнитным излучателем

Fig. 3. Dynamics of healing of incisions made with an electromagnetic emitter

Одним из ключевых этапов воспалительной фазы заживления раны является процесс гемокоагуляции (свертывание крови). При рассечении тканей высокочастотным электромагнитным излучателем вследствие одновременной коагуляции сосудов отмечается отсутствие кровотечения, что, вероятно, способствует существенному сокращению продолжительности воспалительной фазы в процессе репарации.

Результаты экспериментальных исследований демонстрируют, что процесс заживления разрезов, выполненных в соответствии с условиями эксперимента, протекает равномерно и зависит от длины разреза. При этом было отмечено, что в течение первых пяти суток ширина разреза увеличивается, приближаясь к окружности (рис. 4), после чего начинается фаза сокращения, а полное закрытие раны наблюдается в течение 17 дней для разреза длиной 14 мм.

Совершенно иная картина наблюдается при заживлении разрезов, выполненных хирургическими ножницами (рис. 5).

Анализ данных, представленных на рис. 5, демонстрирует наличие корреляции между продолжительностью воспалительной фазы и длиной разреза, а именно увеличение продолжительности воспаления при увеличении длины раны. В частности, при рассечении тканей хирургическими ножницами наблюдается отсутствие эпителизации в течение шести суток для разреза длиной 6 мм. В то же время при использовании электромагнитного излучателя для рассечения степень эпителизации шестимиллиметрового разреза составляет 70 % к исходу шестых суток.



Рис. 4 Фотография разреза, выполненного электромагнитным излучателем, сделанная на пятый день

Fig. 4. A photograph of an incision made with an electromagnetic emitter, taken on the fifth day

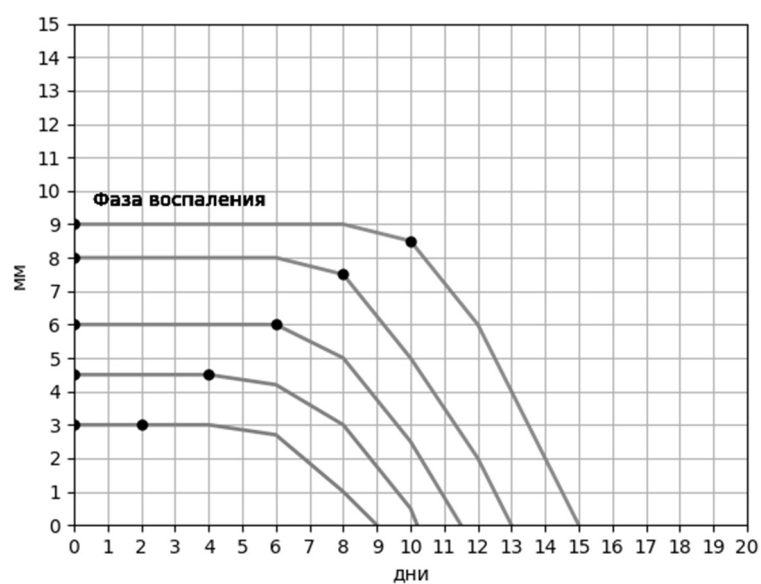


Рис. 5. Зависимость длины разреза от времени заживления

Fig. 5. Dependence of the cut length on the time of overgrowth

В ходе исследования времени заживления разрезов биологической ткани *in vivo*, выполненных хирургическими ножницами и электромагнитным излучателем, было подтверждено, что коагуляция является ключевым фактором, влияющим на процессы, предшествующие заживлению, в обоих случаях. Однако механизм возникновения коагуляции и ее влияние на процесс заживления различаются.

При механическом разрезе хирургическими ножницами коагуляция возникает как естественный гемостатический процесс, инициируемый повреждением сосудов и тканей. Этот естественный процесс коагуляции формирует первичный сгусток, обеспечивающий остановку кровотечения и создающий основу для дальнейшей миграции клеток и формирования новой ткани.

При использовании электромагнитного излучателя коагуляция является вынужденным эффектом, вызванным воздействием высокочастотной энергии на ткани. Этот процесс приводит к денатурации белков и формированию коагуляционной пленки. Примечательно, что в результате проведенного сравнения было выявлено значительное сокращение воспалительной фазы в случае применения электромагнитного излучения. Вероятно, это связано с тем, что электрокоагуляция, несмотря на потенциальное повреждение окружающих тканей, эффективно герметизирует сосуды и уменьшает высвобождение воспалительных медиаторов.

Несмотря на различия в механизмах коагуляции и продолжительности воспалительной фазы, в текущем экспериментальном сравнении время заживления разрезов, выполненных хирургическими ножницами и электромагнитным излучателем, оказалось примерно одинаковым. Этот факт может указывать на то, что сокращение воспалительной фазы при электрокоагуляции компенсирует потенциальное повреждение тканей, вызванное воздействием высокочастотной энергии.

Таким образом, различия в механизмах коагуляции и, как следствие, во влиянии на продолжительность воспалительной фазы оказывают влияние на отдельные этапы процесса заживления. Однако в условиях проведенного эксперимента эти различия не привели к статистически значимой разнице в общем времени заживления. Дальнейшие исследования, возможно, с использованием более чувствительных методов оценки качества заживления (например, оценка прочности рубца, гистологический анализ) необходимы для более полного понимания влияния каждого метода на результат заживления.

ВЫВОДЫ

Результаты сравнительного анализа, полученные в ходе экспериментального исследования *in vivo*, позволяют сформулировать следующие выводы:

- 1) время полного закрытия кожного дефекта, полученного с применением электромагнитного излучателя, сопоставимо со временем, наблюдаемым при использовании хирургических ножниц;
- 2) эффект коагуляции, достигаемый при применении электромагнитного излучателя, способствует снижению интенсивности и продолжительности воспалительной фазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное экспериментальное исследование *in vivo* позволило получить ценные данные о сравнительной динамике заживления разрезов кожного покрова, выполненных хирургическими ножницами и высокочастотным электромагнитным излучателем. Результаты демонстрируют, что, несмотря на сопоставимость общего времени репарации, применение электромагнитного излучения на частоте 27,12 МГц оказывает выраженное влияние на течение воспалительной фазы. В частности, эффект коагуляции, достигаемый этим методом, способствует снижению интенсивности и продолжительности воспаления, что, как следствие, уменьшает риск возникновения инфекционных осложнений.

Это исследование вносит существенный вклад в понимание особенностей взаимодействия высокочастотного электромагнитного излучения с биологическими тканями и предоставляет объективную оценку его эффективности в качестве альтернативного метода рассечения тканей. Полученные результаты подчеркивают перспективность применения высокочастотной коагуляции для сокращения времени воспалительной фазы, являющейся критически важной для предотвращения послеоперационных осложнений. Однако следует отметить, что для полного понимания механизмов заживления и оптимизации параметров воздействия электромагнитного излучения необходимо продолжить исследования. В частности, целесообразно провести углубленный анализ морфологических особенностей рубцовой ткани, динамики регенерации на клеточном уровне и влияния различных параметров излучения (мощность, время воздействия) на процесс заживления.

Перспективы применения высокочастотных электрохирургических устройств, работающих на частоте 27,12 МГц, в условиях, требующих быстрого и эффективного вмешательства, выглядят весьма многообещающими. В частности, в зонах специальных военных операций и при чрезвычайных ситуациях, где доступ к полноценному медицинскому обеспечению может быть ограничен, возможность проведения бескровных разрезов с минимальным риском послеоперационных осложнений и заражений может стать определяющим фактором для сохранения жизни и здоровья пострадавших. Преимущества в виде сокращения времени воспалительной фазы и снижения риска кровотечений делает данный метод особенно актуальным при оказании неотложной медицинской помощи в условиях массовых поражений, в медицине катастроф, на поле боя.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают ценность разработанного метода, демонстрируют его потенциальные преимущества и обосновывают необходимость дальнейшего изучения для расширения возможностей применения высокочастотных электрохирургических технологий как в плановой, так и в экстренной медицинской практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белавская С.В., Ромащенко А.В., Кулешов Д.Н. Динамика заживления разрезов биологической ткани, выполненных высокочастотным электромагнитным излучением // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов 17 Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 4–8 дек. 2023 г.: в 11 ч. – Новосибирск, 2024. – Ч. 6. – С. 78–81.

2. Preliminary studies of the characteristics of the incision of the skin in vivo using electromagnetic radiation with a frequency of 27.12 Mhz and its effect on a living object / S.V. Belavskaya, A.V. Romashchenko, L.I. Lisitsyna, V.P. Razinkin, D.N. Kuleshov, A.N. Kuzmin // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 10 November 2023. – IEEE, 2023. – P. 290–293. – DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347738.

3. *Шорохова И.С., Кисляк И.В., Мариев О.С.* Статистические методы анализа. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 300 с.

4. Using electromagnetic radiation for biological tissues ablation / S.V. Belavskaya, L.I. Lisitsyna, V.P. Razinkin, E.K. Vinskaya, V.A. Chrustalev, A.N. Kuzmin, S.V. Sputai, V.V. Nekrasov // *Advances in Engineering Research*. – 2023. – Vol. 55. – Ch. 5. – URL: <https://novapublishers.com/shop/advances-in-engineering-research-volume-55/> (accessed: 04.03.2025).

5. Высокочастотная электромагнитная система для деструкции биологических тканей / С.В. Белавская, Л.И. Лисицына, А.Н. Кузьмин, Е.К. Винская, Л.Г. Навроцкий, В.П. Разинкин, А.А. Блохин // *Системы анализа и обработки данных*. – 2023. – № 1 (89). – С. 55–80. – DOI: 10.17212/2782-2001-2023-1-55-80.

6. Современные методы абляции злокачественных новообразований / Л.И. Москвичева, Д.В. Сидоров, М.В. Ложкин, Л.О. Петров, М.В. Забелин // *Исследования и практика в медицине*. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 58–71. – DOI: 10.17709/2409-2231-2018-5-4-6.

7. Новый метод микроволновой абляции злокачественных новообразований печени / Д.В. Сидоров, Н.А. Гришин, М.В. Ложкин, В.А. Вишневецкий, Л.О. Петров // *Онкохирургия*. – 2012. – Т. 4, № 1. – С. 50–54.

8. Микроволновая абляция при лечении злокачественных новообразований печени / Д.В. Сидоров, С.О. Степанов, Н.А. Гришин, М.В. Ложкин, Л.О. Петров, О.А. Майновска // *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. – 2013. – № 2. – С. 27–31.

9. Микроволновая абляция в комбинированном лечении первичных опухолей и метастазов печени / М.М. Трандофилов, М.Н. Рудакова, К.Ю. Рябов, О.Ф. Шершнев, А.В. Прохоров // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2015. – Т. 20 (4). – С. 34–39. – DOI: 10.16931/1995-5464.2015434-39.

10. Результаты радиочастотной абляции при лечении колоректальных метастазов в печени / К.Н. Петренко, Е.О. Барсукова, Л.О. Полищук, Е.П. Фисенко, Г.А. Шатверян, О.Г. Скипенко // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. – 2007. – Т. 17, № 3. – С. 84–89.

11. Использование аппарата радиочастотной абляции при резекции печени / В.Д. Федоров, В.А. Вишневецкий, В.А. Кубышкин [и др.] // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. – 2004. – № 5. – С. 21–25.

12. *Nguyen D.T., Orgill D.P., Murphy G.F.* The pathophysiologic basis for wound healing and cutaneous regeneration // *Biomaterials for Treating Skin Loss*. – Elsevier, 2009. – P. 25–57. – DOI: 10.1533/9781845695545.1.25.

13. The role of nuclear hormone receptors in cutaneous wound repair / S. Rieger, H. Zhao, P. Martin, K. Abe, T.S. Lisse // *Cell Biochemistry and Function*. – 2014. – Vol. 33 (1). – P. 1–13. – DOI: 10.1002/cbf.3086.

14. *Stadelmann W.K., Digenis A.G., Tobin G.R.* Physiology and healing dynamics of chronic cutaneous wounds // *American Journal of Surgery*. – 1998. – Vol. 176 (2). – P. 26S–38S. – DOI: 10.1016/S0002-9610(98)00183-4.

15. *Rasche H.* Haemostasis and thrombosis: an overview // *European Heart Journal Supplements*. – 2001. – Vol. 3 (suppl. Q). – P. Q3–Q7. – DOI: 10.1016/S1520-765X(01)90034-3.

16. New fundamentals in hemostasis / H.H. Versteeg, J.W.M. Heemskerk, M. Levi, P.H. Reitsma // *Physiological Reviews*. – 2013. – Vol. 93 (1). – P. 327–358. – DOI: 10.1152/physrev.00016.2011.

Белавская Светлана Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные приборы» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – разработка диагностических и терапевтических устройств, исследование биофизических процессов, измерительная техника. Имеет более 200 публикаций, включая 20 патентов на изобретение РФ. E-mail: svetlana.belana@yandex.ru

Кулешов Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры «Электронные приборы» второго года обучения по специальности «Приборы системы и изделия медицинского назначения», член Экспертного совета бизнес-инкубатора Технопарка новосибирского Академгородка секции биотехнологий и биомедицины. Основные направления научных исследований: магнитометрия биологических объектов, системы медицинского интернета вещей (IoMT), киберфизические системы, электрохирургия. E-mail: dnkuleshov@gmail.com

Лисицына Лилия Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные приборы» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – разработка диагностических и терапевтических устройств, исследование биофизических процессов. Имеет более 500 публикаций, включая 41 патент на изобретение РФ. E-mail: lisitcinali@gmail.com

Гладка Анна Васильевна, магистр факультета гуманитарного образования Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: контроль физиологии движения, нейрофасциальная реабилитация, БОС (биологическая обратная связь), сенсомоторная амнезия, медитация, мышечные рефлексы стресса, последствия нервно-мышечных стрессов, психосоматика, адаптация нервной и мышечной системы, телесно ориентированная психотерапия. E-mail: Annagladkaram3@gmail.com

Разинкин Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор, преподаватель кафедры «Теоретические основы радиотехники» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – широкополосные СВЧ-устройства высокого уровня мощности. Имеет более 160 научных работ, включая 38 патентов РФ на изобретение. E-mail: razinkin@corp.nstu.ru

Чеховских Алексей Юрьевич, аспирант кафедры «Электронные приборы» Новосибирского государственного технического университета, государственный эксперт по полезным моделям Федерального института промышленной собственности. Основное направление научных исследований – медицинская техника. E-mail: lexachex18@gmail.com

Блохин Александр Александрович, магистр техники и технологии, преподаватель кафедры «Электронные приборы» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – разработка новых методов диагностики, медицинские устройства, исследование биофизических процессов. Имеет более 60 научных публикаций, включая 1 патент на изобретение РФ. E-mail: Snakebss@mail.ru

Belavskaya Svetlana V., PhD (Eng.), associate professor at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main direction of her scientific research is the study of biophysical processes and measuring equipment. She has more than 200 publications, including 19 patents for invention of the Russian Federation. E-mail: Svetlana.belana@yandex.ru

Kuleshov Dmitry N., 2nd year postgraduate student at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University; engineer specializing in autonomous information and control systems, member of the Expert Council of the Business Incubator of the Technopark of the Novosibirsk Akademgorodok Section of Biotechnology and Biomedicine. The main areas of his scientific research are magnetometry of biological objects, medical Internet of Things (IoMT) systems, cyber-physical systems, and electrosurgery. E-mail: dnkuleshov@gmail.com

Lisitsyna Lilia I., D. Sc. (Eng.), professor, lecturer at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main direction of her scientific research is the development of diagnostic and therapeutic devices, and the study of biophysical processes. She has more than 500 publications, including 41 patents for invention of the Russian Federation. E-mail: lisitcinali@gmail.com

Gladka Anna V., engineer specializing in autonomous information and control systems, 2nd year master's degree student at the Faculty of Humanitarian Education in the Novosibirsk State Technical University. The main areas of her scientific research include control of movement physiology, neurofascial rehabilitation, BOS, sensorimotor amnesia, meditation, muscle stress reflexes, consequences of neuromuscular stress, psychosomatics, adaptation of the nervous and muscular systems, and body-oriented psychotherapy. E-mail:

Razinkin Vladimir P., D. Sc. (Eng.), professor, lecturer at the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering in the Novosibirsk State Technical University. The main area of his scientific research is high-power broadband microwave devices. He has more than

160 scientific papers, including 38 Russian Federation patents for invention. E-mail: razinkin@corp.nstu.ru

Chekhovskikh Aleksey Yu., postgraduate student at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, state expert on utility models of the Federal Institute of Industrial Property. The main area of his scientific research is medical equipment. E-mail: lexachex18@gmail.com

Blokhin Aleksandr A., Master of Engineering and Technology, lecturer at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main area of his scientific research is the development of new diagnostic methods, medical devices, and the study of biophysical processes. He has more than 60 scientific publications, including 1 Russian Federation patent for invention. E-mail: Snakebss@mail.ru

DOI: 10.17212/2782-2001-2025-1-141-154

Analysis of the healing time of in vivo biological tissue incisions made with surgical scissors and an electromagnetic emitter*

*S.V. BELAVSKAYA^a, D.N. KULESHOV^b, L.I. LISITSYNA^c, A.V. GLADKA^d,
V.P. RAZINKIN^e, A.YU. CHEKHOVSKIKH^f, A.A. BLOKHIN^g*

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, 630073, Novosibirsk, Russian Federation

^a Svetlana.belana@yandex.ru ^b dnkuleshov@gmail.com ^c lisitcinali@gmail.com

^d Annagladkaram3@gmail.com ^e razinkin_vp@mail.ru ^f lexachex18@example.com

^g snakebss@mail.ru

Abstract

In modern surgery, the search for and development of methods that ensure effective and safe dissection of biological tissues are priority areas of research. Minimising damage to surrounding tissues, reducing the risk of complications and accelerating the healing process are the key factors determining the effectiveness of surgical intervention. Traditionally, surgical scissors or scalpels have been used for tissue dissection, however, they carry the risk of bleeding and tissue trauma, which can delay the healing process and promote inflammatory reactions. An alternative method showing promising results is the use of high-frequency electromagnetic radiation for tissue dissection and coagulation.

This paper presents the results of an in vivo experimental study devoted to a comparative analysis of the dynamics of healing biological tissue incisions, in particular, skin incisions, in laboratory animals performed using two different methods: traditional surgical scissors and a high-frequency electromagnetic radiator operating at a frequency of 27.12 MHz. The aim of this study is to objectively evaluate the effect of different methods of tissue dissection on the healing process and to identify the features of regeneration when electromagnetic radiation is used.

During the experimental study, one of the parameters characterising the healing process, such as Wound Closure Time was evaluated: The duration required for a complete closure of the skin defect was measured.

The obtained data allow a comparative assessment of the dynamics of healing incisions made with a high-frequency electromagnetic radiator as an alternative device for dissecting biological tissues during surgical interventions compared to incisions made with a traditional instrument – surgical scissors. The results of the study provide important information on the influence of different dissection methods on healing dynamics. An important aspect is the study of the

* Received 02 December 2024.

inflammation phase as an initial and key stage in wound healing. The study aims at determining the effect of coagulation on the intensity and duration of the inflammatory response.

The analysis of the obtained results has shown that the use of high-frequency electromagnetic radiator for tissue dissection has a significant effect on the healing process. In particular, it is demonstrated that the electromagnetic coagulation method leads to a reduction in the intensity and duration of the inflammatory phase, compared to the use of surgical scissors. This effect is probably due to the fact that high-frequency radiation simultaneously provides tissue dissection and coagulation preventing bleeding and reducing the traumatic nature of the incision.

The results of the study indicate the potential advantages of high-frequency electromagnetic radiation as an alternative method of tissue dissection in surgical practice. The identified features of wound healing performed by different methods can be used to optimise surgical protocols and reduce the risk of postoperative complications. The data obtained in the course of work are of practical importance for the development of new methods and technologies aimed at improving the quality of surgical interventions and accelerating the recovery of patients. In the future, it is planned to deepen the research in the field of the influence of various parameters of electromagnetic radiation on the healing process, as well as to conduct additional studies of key parameters characterising the healing process, such as: the intensity of the inflammatory response, morphological features of the formed scar tissue, including its density, structure and elasticity, and the process of formation of new epithelial cover over the wound surface.

Keywords: analysis, mouse, *in vivo*, skin, incision, healing time, electromagnetic emitter, surgical scissors, high frequency generator

REFERENCES

1. Belavskaya S.V., Romashchenko A.V., Kuleshov D.N. [Dynamics of healing of incisions in biological tissue made with high-frequency electromagnetic radiation]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii* [Science. Technologies. Innovations]. Collection of scientific papers NTI-2023. Novosibirsk, 2024, pt. 6, pp. 78–81. (In Russian).
2. Belavskaya S.V., Romashchenko A.V., Lisitsyna L.I., Razinkin V.P., Kuleshov D.N., Kuzmin A.N. Preliminary studies of the characteristics of the incision of the skin *in vivo* using electromagnetic radiation with a frequency of 27.12 Mhz and its effect on a living object. *2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE)*, 10 November 2023, pp. 290–293. DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347738.
3. Shorokhova I.S., Kislyak I.V., Mariev O.S. *Statisticheskie metody analiza* [Statistical methods of analysis]. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2015. 300 p.
4. Belavskaya S.V., Lisitsyna L.I., Razinkin V.P., Vinskaya E.K., Chrustalev V.A., Kuzmin A.N., Sputai S.V., Nekrasov V.V. Using electromagnetic radiation for biological tissues ablation. *Advances in Engineering Research*, 2023, vol. 55, ch. 5. Available at: <https://novapublishers.com/shop/advances-in-engineering-research-volume-55/> (accessed 04.03.2025).
5. Belavskaya S.V., Lisitsyna L.I., Kuzmin A.N., Vinskaya E.K., Navrotsky L.G., Razinkin V.P., Blokhin A.A. Vysokochastotnaya elektromagnitnaya sistema dlya destruktzii biologicheskikh tkanei [A high-frequency electromagnetic system for biological tissues destruction]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2023, no. 1 (89), pp. 55–80. DOI: 10.17212/2782-2001-2023-1-55-80.
6. Moskvicheva L.I., Sidorov D.V., Lozhkin M.V., Petrov L.O., Zabelin M.V. Sovremennyye metody ablyatsii zlokachestvennykh novoobrazovaniy [Modern methods of ablation of malignant tumors of the liver]. *Issledovaniya i praktika v meditsine = Research'n Practical Medicine Journal*, 2018, vol. 5 (4), pp. 58–71. DOI: 10.17709/2409-2231-2018-5-4-6.
7. Sidorov D.V., Grishin N.A., Lozhkin M.V., Vishnevskii V.A., Petrov L.O. Novyi metod mikrovolnovoi ablyatsii zlokachestvennykh novoobrazovaniy pecheni [New method of microwave ablation of malignant hepatic tumors]. *Onkokhirurgiya = Oncosurgery*, 2012, vol. 4, no. 1.
8. Sidorov D.V., Stepanov S.O., Grishin N.A., Lozhkin M.V., Petrov L.O., Mainovska O.A. Mikrovolnovaya ablyatsiya pri lechenii zlokachestvennykh novoobrazovaniy pecheni [Microwave ablation for the treatment of malignant liver tumors]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena = P.A. Herzen Journal of Oncology*, 2013, no. 2, pp. 27–31.

9. Trandofilov M.M., Rudakova M.N., Ryabov K.Yu., Shershnev O.F., Prokhorov A.V. Mikrovolnovaya ablyatsiya v kombinirovannom lechenii pervichnykh opukholei i metastazov pecheni [Microwave ablation in combined treatment of primary and metastatic liver tumors]. *Annaly khirurgicheskoi gepatologii = Annals of HPB Surgery*, 2015, vol. 20 (4), pp. 34–39. DOI: 10.16931/1995-5464.2015434-39.
10. Petrenko N.N., Barsukova Ye.O., Polischuk L.O., Fisenko Ye.P., Shatveryan G.A., Skipenko O.G. Rezul'taty radiochastotnoi ablyatsii pri lechenii kolorektal'nykh metastazov v pecheni [Results of radio-frequency ablation of colorectal cancer metastases in the liver]. *Rossiiskii zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii = Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*, 2007, vol. 17, no. 3, pp. 84–89.
11. Fedorov V.D., Vishnevsky V.A., Kubyshev V.A., et al. Ispol'zovanie apparata radiochastotnoi ablyatsii pri rezeksii pecheni [The use of radiofrequency ablation apparatus for liver resection]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery*, 2004, no. 5, pp. 21–25.
12. Nguyen D.T., Orgill D.P., Murphy G.F. The pathophysiologic basis for wound healing and cutaneous regeneration. *Biomaterials for Treating Skin Loss*. Elsevier, 2009, pp. 25–57. DOI: 10.1533/9781845695545.1.25.
13. Rieger S., Zhao H., Martin P., Abe K., Lisse T.S. The role of nuclear hormone receptors in cutaneous wound repair. *Cell Biochemistry and Function*, 2014, vol. 33 (1), pp. 1–13. DOI: 10.1002/cbf.3086.
14. Stadelmann W.K., Digenis A.G., Tobin G.R. Physiology and healing dynamics of chronic cutaneous wounds. *American Journal of Surgery*, 1998, vol. 176 (2), pp. 26S–38S. DOI: 10.1016/S0002-9610(98)00183-4.
15. Rasche H. Haemostasis and thrombosis: an overview. *European Heart Journal Supplements*, 2001, vol. 3 (suppl. Q), pp. Q3–Q7. DOI: 10.1016/S1520-765X(01)90034-3.
16. Versteeg H.H., Heemskerk J.W.M., Levi M., Reitsma P.H. New fundamentals in hemostasis. *Physiological Reviews*, 2013, vol. 93 (1), pp. 327–358. DOI: 10.1152/physrev.00016.2011.

Для цитирования:

Анализ времени заживления разрезов биологической ткани in vivo, выполненных хирургическими ножницами и электромагнитным излучателем / С.В. Белавская, Д.Н. Кулешов, Л.И. Лисицына, А.В. Гладка, В.П. Разинкин, А.Ю. Чеховских, А.А. Блохин // Системы анализа и обработки данных. – 2025. – № 1 (97). – С. 141–154. – DOI: 10.17212/2782-2001-2025-1-141-154.

For citation:

Belavskaya S.S., Kuleshov D.N., Lisitsyna L.I., Gladka A.V., Razinkin V.P., Chekhovskikh A.Yu., Blokhin A.A. Analiz vremeni zazhivleniya razrezov biologicheskoi tkani in vivo, vypolnennykh khirurgicheskimi nozhnitsami i elektromagnitnym izluchatelem [Analysis of the healing time of in vivo biological tissue incisions made with surgical scissors and an electromagnetic emitter]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2025, no. 1 (97), pp. 141–154. – DOI: 10.17212/2782-2001-2025-1-141-154.