

УДК 616-001.17:615.468.7

## РАНЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ И КОЖНЫЕ ЗАМЕНИТЕЛИ ДЛЯ ОЖГОВЫХ РАН

Хоанг Х.Т., Чмырёв И.В.

*ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург,  
e-mail: huytoanhoang@gmail.com*

---

Цель работы – представить раневые покрытия и заменители кожи, часто используемые для местного лечения ожогов. Были проведены поиск и анализ научных работ на базе данных рецензируемой научной литературы Scopus и PubMed, на платформе Научной электронной библиотеки eLIBRARY.ru и «КиберЛенинка». В ходе исследования было проанализировано 94 источника, опубликованных в период с 2005 по 2024 г. Из них 47 были включены в список литературы. 40 из этих работ были опубликованы после 2014 г. Используемые источники, опубликованные до 2014 г., содержат дополнительную информацию для понимания изучаемой проблемы. Ожоги остаются одной из самых распространенных травм, требующих стационарного лечения и потенциально приводящих к серьезным осложнениям. Было установлено, что местное лечение является неотъемлемой частью лечения как поверхностных, так и глубоких ожогов. В результате анализа литературы выявлены часто используемые средства для местного лечения ожогов, от традиционных марлевых повязок до биологических заменителей и современных раневых покрытий. Кроме того, отмечено относительно новое направление – применение клеточных заменителей кожи. Эти средства отличаются своими свойствами, преимуществами и недостатками, что обуславливает особенности их применения. Результаты проведенного исследования показали, что на сегодняшний день существует множество видов раневых покрытий и кожных заменителей, значительно улучшающих результаты лечения ожогов. Продолжаются совершенствование существующих и разработка новых средств лечения, направленных на улучшение исходов ожоговых травм.

Ключевые слова: ожоги, раневые покрытия, кожные заменители, лечение ожогов, биологические покрытия

## DRESSINGS AND SKIN SUBSTITUTES FOR BURN WOUNDS

Khoang Kh.T., Chmyrev I.V.

*Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, e-mail: huytoanhoang@gmail.com*

---

The purpose of this work is to introduce wound dressings and skin substitutes often used for topical treatment of burns. Materials and methods: search and analysis of scientific works on the database of scientific literature "Scopus" and "PubMed", the platform of the Scientific Electronic Library "eLIBRARY.ru" and "CyberLeninka". A total of 94 sources, published from 2005 to 2024, were examined in the study. Of these, 47 were cited in the reference list. Among the included works, 40 were published after 2014. The sources used, published before 2014, contain additional information for understanding the problem under study. Burns are one of the most common injuries that require hospital treatment and can lead to serious health complications. The local management of burn wounds is an essential part of the treatment for both superficial and deep burns. As a result of the literature analysis, frequently used preparations for local treatment of burns were identified, from traditional gauze bandages to biological substitutes and modern wound coverings. A relatively new direction is also noted – the use of cellular skin substitutes. These products differ in their properties, advantages and disadvantages, which determines the specifics of their use. The results of the study showed that today there are many types of wound coverings and skin substitutes that significantly improve the results of treatment of burns. Current efforts are focused on improving existing treatment methods and developing new approaches to optimize the outcomes of burn injuries.

Keywords: burns, wound dressings, skin substitutes, burn treatment, biologic dressings

В настоящее время, несмотря на значительное снижение частоты ожогов, по всему миру они остаются одним из наиболее часто встречаемых видов травм. Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), каждый год около 11 млн чел. обращаются за медицинской помощью в связи с ожогами кожи. Из них около 180 тыс. случаев заканчиваются летальным исходом [1]. В России ожоги занимают 6-е место (2,0 %) в общей структуре травматизма, ежегодно

в стране регистрируется более 300 тыс. случаев получения ожогов [2]. Значительная часть случаев ожогов требует стационарного лечения, они могут привести к множеству осложнений и летальному исходу.

Известно, что эпителизация в ране осуществляется за счет миграции клеток базального слоя и митотического деления клеток эпителия и дериватов кожи (волосяные фолликулы, сальные и потовые железы), находившихся в слоях дермы. При поверхностных ожогах эти источники регенерации сохранены и кожа способна к самостоятельному заживлению. Поэтому лечение поверхностных ожогов в основном консервативное, основные задачи которого – профилактика инфекции и создание благоприятных условий для скорейшего заживления, улучшение качества послеожоговых рубцов [3, 4]. При глубоких ожогах кожа поражается на всю толщину, что приводит к гибели всех ее придатков и ростковой зоны, поэтому самостоятельное заживление невозможно. Основным методом лечения глубоких ожогов остается ранняя некрэктомия с одномоментной аутодермопластикой [5–7]. При этом успех хирургического лечения во многом зависит от местного лечения, которое направлено на повышение приживаемости пересаженных аутодермотрансплантатов, предотвращение раневой инфекции, ускорение подготовки постнекрэктомических ран к этапному закрытию, а также быстрое заживление донорских ран. В этой связи по-прежнему остаются актуальными поиск новых средств и совершенствование методов местного лечения [8, 9].

На сегодняшний день существует множество разновидностей раневых покрытий и кожных заменителей, применяемых в местном лечении ран и ожогов. Их создание опирается на теорию «заживления во влажной среде» (Винтер, 1962 г.), согласно которой во влажной среде миграция эпидермоцитов и эпителизация ран происходят более активно и быстро, чем в условиях экспонирования ран на воздухе и высушивания их поверхности, и в результате восстановление кожного покрова происходит быстрее и качественнее [10]. Хотя различные виды повязок отличаются по своему строению и особенностям использования, их общая задача – создание местных благоприятных условий, способствующих оптимальному течению регенеративных процессов в ране. В международных практических рекомендациях по лечению ожогов кожи 2016 г. были предъявлены требования к «идеальному раневому покрытию», которое должно обладать следующими характеристиками [11]:

- обеспечивает оптимальную влажную среду для заживления раны;
- не препятствует обмену кислорода, углекислого газа и паров воды;
- обеспечивает теплоизоляцию;
- непроницаемо для микроорганизмов;

- не содержит загрязняющих частиц;
- не прилипает к раневой поверхности;
- безопасно в использовании;
- приемлемо для пациента;
- имеет высокую абсорбционную способность;
- экономически выгодно;
- позволяет наблюдать за состоянием раны;
- обеспечивает механическую защиту для раны;
- изготовлено из негорючих материалов;
- стерильно;
- не требует частой смены;
- доступно и готово к использованию в любых условиях.

Несмотря на огромный выбор раневых покрытий, на данный момент среди существующих средств ни одно не удовлетворяет всем предъявленным требованиям и не подходит для любых ран. В качестве перевязочного средства для ожоговых ран часто используют традиционные марлевые повязки, биологические и синтетические раневые покрытия [5, 12].

**Цель работы** – представить раневые покрытия и заменители кожи, часто применяемые для местного лечения ожогов.

#### **Материалы и методы исследования**

Поиск и анализ научных работ проводились на базе данных рецензируемой научной литературы Scopus и PubMed, на платформе Научной электронной библиотеки (eLIBRARY.ru) и «КиберЛенинка». Исследование проводилось согласно современным рекомендациям Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [13]. В ходе исследования было проанализировано 94 источника, опубликованных в период с 2005 по 2024 г. Из них 47 были включены в список литературы. 40 из этих работ были опубликованы после 2014 г. Используемые источники, опубликованные до 2014 г., содержат дополнительную информацию для понимания изучаемой проблемы. Ключевые слова для поиска: ожоги, раневые покрытия, кожные заменители, лечение ожогов, биологические покрытия

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

**Традиционные марлевые повязки:** под понятием «традиционные марлевые повязки» подразумеваются перевязочные материалы, такие как марля, вата, пластыри, салфетки и т.д. [14] Они являются наиболее популярным видом повязок из-за своих доступности, простоты использования и низкой цены [15, 16]. В зависимости от фаз раневого процесса марлевые повязки

применяются с мазями на водо- или жирорастворимой основе, обладающими антимикробным и регенеративным действием. Марлевые повязки хорошо впитывают раневой экссудат, предотвращая его накопление. Но, с другой стороны, рана очень быстро подсыхает, и это не соответствует современной стратегии «заживления ран во влажной среде», что требует частой смены повязок. Кроме этого, марлевая повязка сильно прилипает к высохшей раневой поверхности и ее удаление сопровождается травматизацией новообразованного эпителия и болевыми ощущениями у пациента.

**Биологические заменители кожи:** к ним относятся алло- и ксенотрансплантаты. Они имеют множество преимуществ по сравнению с традиционными марлевыми повязками: снижают уровень потерь тепла и влаги через раневую поверхность, предотвращают вторичное инфицирование, подготавливают раневое ложе к пересадке кожи и ускоряют заживление [17, 18]. Во многих клинических рекомендациях принято, что «золотым стандартом» для временного закрытия постнекрэктомических ран является трупный аллотрансплантат, особенно при обширных глубоких ожогах, когда ресурсов здоровой кожи мало и общее состояние пациента ограничивает объем операции [19, 20]. В течение 2–3 суток после пересадки васкуляризация аллокожи восстанавливается, и она выполняет защитную функцию как собственная кожа [21]. Через 2–3 недели аллокожа отторгается, и к этому сроку общее состояние пациента стабилизируется, донорский ресурс восстанавливается и раневое ложе готовится к операции аутодермопластики. Аллокожа также используется для покрытия аутоотрансплантатов с большим коэффициентом перфорации, улучшает их приживаемость [7]. Чаще всего аллокожа срезается с трупов, а использование кожи живого донора пока не получило широкого распространения. Кроме «свежих» аллотрансплантатов, на сегодняшний день более широко применяется ацеллюлярный дермальный матрикс (АДМ). Кожа (трупная или с живого донора) подвергается химической децеллюляризации для удаления иммуногенных элементов [22], сохраняя волокна коллагена и эластина, которые служат трехмерным каркасом для фибробластов, кератиноцитов и мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток. АДМ долго может сохраняться различными методами консервации (криоконсервация, лиофилизация, консервация глицерином и пр.). Иммунный ответ при пересадке АДМ минимален, покрытие приживается и заполняется собственными клетками пациента [23–25].

Несмотря на достоинства аллотрансплантатов, их применение не всегда возможно. В некоторых странах, включая Россию, существуют законодательные ограничения на применение трупной кожи, а стоимость АДМ достаточно высокая, и он не везде доступен. Их альтернативным вариантом является ксенокожа. Была использована кожа разных видов животных для лечения

ожогов и ран, таких как курицы, собаки, лягушки, коровы, свиньи, рыбы и др. [26–28]. Для производства ксенотрансплантатов в основном применяется свиная кожа в связи с рядом ее преимуществ: по своей гистологической структуре она похожа на кожу человека, является недорогим и легкодоступным источником, возможно изготовить покрытия большого размера, она легко и долго хранится [29, 30]. Ксенотрансплантаты назначаются для временного закрытия постнекрэктомических ожоговых ран с целью подготовки раневого ложа к дальнейшей пересадке аутокожи, также может покрывать аутооттрансплантаты. В отличие от аллокожи, ксенокожа не имеет васкуляризации, поэтому она функционирует только как биологическая повязка и через 1–2 недели подсыхает и отпадает.

**Пленочные раневые покрытия** представляют собой прозрачный тонкий лист полимера. В качестве полимеров для изготовления раневых покрытий широко применяются: поливинилхлорид, полиэтилен, полиуретан, полимолочная кислота, политетрафторэтилен, сополимер акрилонитрила, полиаминокислота, диметиламиноэтилметакрилат и др. [31]. Покрытия этой группы непроницаемы для микроорганизмов, но в то же время обязательно проницаемы для водяного пара и кислорода, благодаря которым создается микроклимат под пленкой с доступом к кислороду и оптимальной влажностью без лишних скоплений экссудата [14, 32]. Кроме этого, высокая эластичность и прочность материалов позволяет использовать покрытия на анатомически сложных и подвижных участках тела. Благодаря прозрачности пленки легко наблюдать за раневым процессом. Другими преимуществами пленочных раневых покрытий являются атравматичность и дешевизна. Кроме этого, на пленочные раневые покрытия могут наносить противомикробные компоненты, такие как антибиотики, антисептики, ионы серебра. Основные недостатки пленочных покрытий заключаются в их низкой адсорбционной способности, ограниченной механической защите и необходимости использования дополнительного фиксирующего слоя. Они используются при поверхностных ожогах и слабо экссудирующих ранах [32, 33].

**Гидрогелевые покрытия:** состоят из полимеров с гидрофильными центрами (полиэтиленоксид, полиакриламид, поливинилпирролидин и др.), способных удерживать воду [34]. Благодаря большому содержанию воды (70–90 %) покрытия препятствуют высыханию раны и создают влажную среду, которая привлекает клетки, участвующие в заживлении ран, и ингибирует рост бактерий [35, 36]. Но, с другой стороны, скопление жидкости приводит к мацерации и возникновению неприятного запаха из ран. Гидрогель охлаждает и понижает местную температуру подлежащих тканей, тем самым уменьшает болевые ощущения. Прозрачность покрытий позволяет визуально контролировать состояние раны, их замена

производится при помутнении [37]. Абсорбционная способность этих покрытий относительно низкая, поэтому они подходят для сухих ран и ран с незначительной экссудацией [38]. Выделяют две основные группы гидрогелевых покрытий: покрытия первой группы представляют собой эластичную прозрачную пластину, а вторая группа – аморфную массу, способную растекаться по ране и принимать форму всех ее неровностей [39].

**Гидроколлоидные повязки** представляют собой пластинки, состоящие из внутреннего слоя гидроколлоида, адгезивного слоя и полупроницаемой пленки [40]. Гидроколлоиды поглощают жидкость, превращаясь в гель, удаляя избыток раневого отделяемого и обеспечивая влажную среду для заживления. После впитывания влаги повязки становятся менее липкими, поэтому при их замене у пациента невыраженное болевое ощущение. Гидроколлоиды снижают рН раны, следовательно, подавляют рост бактерий [8]. Наружная пленка обеспечивает паро- и газообмен на раневой поверхности. Несмотря на свои преимущества, непрозрачность повязок затрудняет визуальный контроль раневого процесса, а образующийся гель из гидроколлоида может быть густым, желтым, иметь неприятный запах и вытекает из-под покрытия, напоминая по своему внешнему виду гной [15, 41]. Гидроколлоидные повязки предназначены при скудно и умеренно экссудующих ранах, ограниченных поверхностных ожогах, неглубоких пролежнях, послеоперационных ранах [8, 39, 41]. Повязки следует менять каждые 2–4 дня, в зависимости от уровня насыщения гидроколлоида.

**Клеточные заменители кожи:** тканеинженерные биологические повязки созданы для имитации естественных каркасов и матриксов, образующихся при заживлении ран, и с помощью секреции и стимуляции факторов роста клетками в их составе процесс эпителизации ускоряется [16, 42]. Их можно разделить на две группы: эпидермальные заменители, состоящие в основном из кератиноцитов, и дермальные заменители, которые содержат основные внеклеточные элементы коллаген, эластин, гликопротеины и фибробласты. Кератиноциты – наиболее важные клетки эпителиального слоя и процесса эпителизации. В поврежденном участке они пролиферируют и формируют базальный слой, затем за счет их дифференциации образуются слои эпидермиса. Кератиноциты получают из корней волос или биоптата кожи пациента, затем культивируют на пластине, на мембране с гиалуроновой кислотой, на силиконовом слое или наносят на рану в составе аэрозольной клеточной суспензии. Эпидермальные клеточные заменители позволяют закрывать большую рану при небольшой площади донорского участка, ускорить заживление с высокой приживаемостью трансплантатов. К недостаткам относятся длительное время культивирования (2–3 недели) кератиноцитов, отсутствие дермальных компонентов, высокая стоимость и короткий срок хранения [16, 43]. Дермальные заменители, в отличие от

эпидермальных, содержат коллаген и дополнительные компоненты внеклеточного матрикса, включая фибробласты, гликозаминогликаны, протеогликаны, гликопротеины, с соответствующими физическими характеристиками, клеточными сигналами и механическими свойствами кожи человека [44]. Фибробласты – основные клетки дермы, а также секретируют цитокины (TNF- $\alpha$ ) различные факторы роста (TGF- $\beta$ ), ведущие к пролиферации и дифференцировке кератиноцитов [45]. Установлено, что при полнослойных дефектах кожи применение только эпидермальных клеток недостаточно, потому что отсутствие дермы приводит к гипертрофическому рубцеванию и контрактуре, особенно в областях вокруг суставов [22], поэтому в таких случаях предпочтительно использовать дермальные заменители. 3D-каркас дермальных элементов обеспечивает прогрессирующую васкуляризацию и миграции фибробластов из окружающих тканей. Фибробласты активно синтезируют компоненты внеклеточного матрикса, факторы роста, цитокины и т.д., которые в итоге полностью заменят заменитель кожи через несколько недель [46].

Перспективным направлением является применение мезенхимальных стволовых клеток для лечения ран. Их источники – амниотическая оболочка, пуповина, волосяные фолликулы и др. Мезенхимальные стволовые клетки продуцируют факторы, стимулирующие миграцию и пролиферацию основных типов клеток в процессе заживления ран. Они также выделяют фактор роста гепатоцитов и фактор роста эндотелия сосудов, которые стимулируют образование сосудистой сети и улучшают качества рубцовой ткани [47].

### **Заключение**

Существует широкий выбор раневых покрытий и кожных заменителей, которые значительно улучшают результаты лечения ожоговых ран. Однако, несмотря на значительные успехи в этой сфере на данный момент, не существует средства, которое бы полностью соответствовало всем требованиям к «идеальному» раневому покрытию и подходило бы для всех видов ран. Кроме этого, не все средства имеют широкий доступ по стоимости и технике изготовления. На практике всегда остается необходимость в индивидуальном подходе к выбору средств и метода лечения, с учетом особенностей клинической картины, степени ожога и доступности материалов. Совершенствование существующих и разработка новых раневых покрытий и кожных заменителей направлены на улучшение качества лечения ожогов, выживаемости пациентов и качества их дальнейшей жизни.

## Список литературы

1. Smolle C., Cambiaso-Daniel J., Forbes A.A., Wurzer P., Hundeshagen G., Branski L.K., Huss F., Kamolz L.P. Recent trends in burn epidemiology worldwide: A systematic review // *Burns*. 2017. Vol. 43 (2). P. 249–257. DOI: 10.1016/j.burns.2016.08.013.
2. Миронов С.П., Еськин Н.А., Андреева Т.М., Огрызко Е.В., Шелепова Е.А. Динамика травматизма среди взрослого населения Российской Федерации // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2019. № 3. С. 5–13. DOI: 10.17116/vto20190315.
3. Митряшов К.В., Усов В.В., Шаркова В.А. Сравнительное исследование эффективности раневых покрытий на основе гиалуроновой кислоты и атравматических повязок в местном лечении пограничных // *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2021. Т. 10. № 4. С. 695–701. DOI: 10.23934/2223-9022-2021-10-4-695-701.
4. Кобелев К.С., Мидленко В.И. Современное состояние проблемы местного консервативного лечения поверхностных и пограничных ожогов // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2017. № 4. С. 8–19. DOI: 10.23648/UMBJ.2017.28.8735.
5. Гилевич И.В., Федоренко Т.В., Коломийцева Е.А., Богданов С.Б., Семенченко А.А., Иващук Ю.В. Достижения клеточной терапии в комбустиологии // *Инновационная медицина Кубани*. 2017. Т. 6. № 2. С. 6–14; URL: <https://www.innovmedkub.ru/jour/article/view/65> (дата обращения: 30.11.2024).
6. Шаповалов С.Г., Кчеусо А.В., Кошелев Т.Е., Савченков Д.К. Возможности применения биоинженерных заменителей кожи в комбустиологии (обзор литературы) // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2022. Т. 0. № 2. С. 82–92. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-2-82-92.
7. Gacto-Sanchez P. Surgical treatment and management of the severely burn patient: Review and update // *Medicina Intensiva (English Edition)*. 2017. Vol. 41. 6. P. 356–364. DOI: 10.1016/j.medine.2017.02.015.
8. Rezvani Ghomi E., Khalili S., Nouri Khorasani S., Esmaeely Neisiany R., Ramakrishna S. Wound dressings: Current advances and future directions // *Journal of Applied Polymer Science*. 2019. Vol. 136, Is. 27. P. 47738. DOI: 10.1002/app.47738.
9. Rowan M.P., Cancio L.C., Elster E.A., Burmeister D.M., Rose L.F., Natesan S., Chan R.K., Christy R.J., Chung K.K. Burn wound healing and treatment: review and advancements // *Critical care*. 2015. Vol. 19. P. 243. DOI: 10.1186/s13054-015-0961-2.

10. Jones J. Winter's concept of moist wound healing: a review of the evidence and impact on clinical practice // *Journal of wound care*. 2005. Vol. 14, Is. 6. P. 273–276. DOI: 10.12968/jowc.2005.14.6.26794.
11. Ahuja R.B., Gibran N., Greenhalgh D., Jeng J., Mackie D., Moghazy A., Moiemmen N., Palmieri T., Peck M., Serghiou M., Watson S., Wilson Y., Altamirano A.M., Atieh B., Bolgiani A., Carrougher G., Edgar D., Guerrero L., Hanumadass M., Hasibuan L., Hofland H., Icaza I., Klein L., Matsumura H., Nnabuko R., Pirat A., Puri V., Riasa N.P., Wood F., Wu J., Zhao-Fan X., Zuijlen P. van. ISBI Practice Guidelines for Burn Care // *Burns*. 2016. Vol. 42 (5). P. 953–1021. DOI: 10.1016/j.burns.2016.05.013.
12. Dearman B.L., Boyce S.T., Greenwood J.E. Advances in Skin Tissue Bioengineering and the Challenges of Clinical Translation // *Frontiers in Surgery*. 2021. Vol. 8. P. 640879. DOI: 10.3389/fsurg.2021.640879.
13. Белобородов В.А., Воробьев В.А., Семинский И.Ж., Калягин А.Н. Порядок выполнения систематического обзора и мета-анализа по протоколу PRISMA // Система менеджмента качества: опыт и перспективы. 2023. Т. 12. С. 5–9.
14. Кудряшова И.С., Марков П.А., Костромина Е.Ю., Еремин П.С., Рачин А.П., Гильмутдинова И.Р. Разработка раневых покрытий для регенеративной медицины // *Вестник восстановительной медицины*. 2021. Т. 20. № 6. С. 84–95. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-6-84-95.
15. Mohiuddin A. A Thoroughgoing Detail of Surgical Dressings // *Journal of Orthopaedics and Sports Medicine*. 2019. Vol. 1, Is. 1. P. 1–17. DOI: 10.26502/josm.5115001.
16. Broussard K.C., Powers J.G. Wound Dressings: Selecting the Most Appropriate Type // *American Journal of Clinical Dermatology*. 2013. Vol. 14, Is. 6. P. 449–459. DOI: 10.1007/s40257-013-0046-4.
17. Sood A., Granick M.S., Tomaselli N.L. Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data // *Advances in Wound Care*. 2014. Vol. 3, Is. 8. P. 511–529. DOI: 10.1089/wound.2012.040.
18. Vyas K.S., Vasconez H.C. Wound Healing: Biologics, Skin Substitutes, Biomembranes and Scaffolds // *Healthcare*. 2014. Vol. 2, Is. 3. P. 356–400. DOI: 10.3390/healthcare2030356.
19. Frueh F.S., Sanchez-Macedo N., Calcagni M., Giovanoli P., Lindenblatt N. The Crucial Role of Vascularization and Lymphangiogenesis in Skin Reconstruction // *European Surgical Research*. 2018. Vol. 59, Is. 3–4. P. 242–254. DOI: 10.1159/000492413.
20. Paggiaro A.O., Bastianelli R., Carvalho V.F., Isaac C., Gemperli R. Is allograft skin, the gold-standard for burn skin substitute? A systematic literature review and meta-analysis // *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2019. Vol. 72, Is. 8. P. 1245–1253. DOI: 10.1016/j.bjps.2019.04.013.

21. Barone A.A.L., Mastroianni M., Farkash E.A., Mallard C., Albritton A., Torabi R., Leonard D.A., Kurtz J.M., Sachs D.H., Cetrulo Jr. C.L. Genetically modified porcine split-thickness skin grafts as an alternative to allograft for provision of temporary wound coverage: preliminary characterization // *Burns*. 2015. Vol. 41, Is. 3. P. 565–574. DOI: 10.1016/j.burns.2014.09.003.
22. Brusselaers N., Pirayesh A., Hoeksema H., Richters C.D., Verbelen J., Beele H., Blot S.I., Monstrey S. Skin replacement in burn wounds // *The Journal of Trauma*. 2010. Vol. 68, Is. 2. P. 490–501. DOI: 10.1097/TA.0b013e3181c9c074.
23. Мелконян К.И., Веревкин А.А., Сотниченко А.С., Русинова Т.В., Козмай Я.А., Асякина А.С., Каргашевская М.И., Гуревич К.Г., Быков И.М. Морфологический анализ местной тканевой реакции на подкожную имплантацию фрагментов ацеллюлярного дермального матрикса // *Бюллетень сибирской медицины*. 2022. Т. 21. № 2. С. 97–104. DOI: 10.20538/1682-0363-2022-2-97-104.
24. Petrie K., Cox C.T., Becker B.C., MacKay B.J. Clinical applications of acellular dermal matrices: A review. *Scars, Burns & Healing*. 2022. Vol. 8. DOI: 10.1177/20595131211038313.
25. Widjaja W., Tan J., Maitz P.K.M. Efficacy of dermal substitute on deep dermal to full thickness burn injury: a systematic review // *ANZ Journal of Surgery*. 2017. Vol. 87, Is. 6. P. 446–452. DOI: 10.1111/ans.13920.
26. Chiu T., Burd A. “Xenograft” dressing in the treatment of burns // *Clinics in Dermatology*. 2005. Vol. 23, Is. 4. P. 419–423. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2004.07.027.
27. Luze H., Nischwitz S.P., Smolle C., Zrim R., Kamolz L.-P. The Use of Acellular Fish Skin Grafts in Burn Wound Management – A Systematic Review // *Medicina*. 2022. Vol. 58, Is. 7. P. 912. DOI: 10.3390/medicina58070912.
28. Hosseini S.N., Mousavinasab S.N., Fallahnezhat M. Xenoderm dressing in the treatment of second-degree burns // *Burns*. 2007. Vol. 33, Is. 6. P. 776–781. DOI: 10.1016/j.burns.2006.10.396.
29. Albritton A., Leonard D.A., Barone A.L., Keegan J., Mallard C., Sachs D.H., Kurtz J.M., Cetrulo C.L.J Lack of Cross-Sensitization Between  $\alpha$ -1,3-Galactosyltransferase Knockout Porcine and Allogeneic Skin Grafts Permits Serial Grafting // *Transplantation*. 2014. Vol. 97, Is. 12. P. 1209. DOI: 10.1097/TP.0000000000000093
30. Yamamoto T., Iwase H., King T.W., Hara H., Cooper D.K.C. Skin xenotransplantation: Historical review and clinical potential // *Burns*. 2018. Vol. 44, Is. 7. P. 1738–1749. DOI: 10.1016/j.burns.2018.02.029.
31. Noor A., Afzal A., Masood R., Khaliq Z., Ahmad S., Ahmad F., Qadir M.-B., Irfan M. Dressings for burn wound: a review // *Journal of Materials Science*. 2022. Vol. 57, Is. 12. P. 6536–6572.

DOI: 10.1007/s10853-022-07056-4.

32. Андреев Д.Ю., Парамонов Б.А., Мухтарова А.М. Современные раневые покрытия. Ч. I // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2009. Т. 168. № 3. С. 98–102.
33. Meuleneire F. A vapour-permeable film dressing used on superficial wounds // *British Journal of Nursing*. 2014. Vol. 23, Is. Sup.15. P. S36–S43. DOI: 10.12968/bjon.2014.23.Sup15.s36.
34. Wang H., Xu Z., Zhao M., Liu G., Wu J. Advances of hydrogel dressings in diabetic wounds // *Biomaterials Science*. 2021. Vol. 9, Is. 5. P. 1530–1546. DOI: 10.1039/d0bm01747g.
35. Бесчастнов В.В., Юданова Т.Н., Арефьев И.Ю., Чернышев С.Н., Погодин И.Е., Павленко И.В., Тулупов А.А., Леонтьев А.Е. Возможности использования гидрогелевых композиций в лечении ран // *Московский хирургический журнал*. 2019. № 6. С. 17–22. DOI: 10.17238/issn2072-3180.2019.6.17-22.
36. Rehman S.R. ur, Augustine R., Zahid A.A., Ahmed R., Tariq M., Hasan A. Reduced graphene oxide incorporated gelma hydrogel promotes angiogenesis for wound healing applications // *International Journal of Nanomedicine*. 2019. Vol. 14. P. 9603–9617. DOI: 10.2147/IJN.S218120.
37. Jovic T.H., Kungwengwe G., Mills A.C., Whitaker I.S. Plant-derived biomaterials: a review of 3d bioprinting and biomedical applications // *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 19. DOI: 10.3389/fmech.2019.00019.
38. Qu J., Zhao X., Liang Y., Zhang T., Ma P.X., Guo B. Antibacterial adhesive injectable hydrogels with rapid self-healing, extensibility and compressibility as wound dressing for joints skin wound healing // *Biomaterials*. 2018. Vol. 183. P. 185–199. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2018.08.044.
39. Rezvani Ghomi E., Niazi M., Ramakrishna S. The evolution of wound dressings: From traditional to smart dressings // *Polymers for Advanced Technologies*. 2023. Vol. 34, Is. 2. P. 520–530. DOI: 10.1002/pat.5929.
40. Kamińska M.S., Cybulska A.M., Skonieczna-Żydecka K., Augustyniuk K., Grochans E., Karakiewicz B. Effectiveness of hydrocolloid dressings for treating pressure ulcers in adult patients: a systematic review and meta-analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, Is. 21. P. 7881. DOI: 10.3390/ijerph17217881.
41. Kus K.J.B., Ruiz E.S. Wound Dressings A Practical Review // *Current Dermatology Reports*. 2020. Vol. 9. Is. 4. P. 298–308. DOI: 10.1007/s13671-020-00319-w.
42. Dhivya S., Padma V.V., Santhini E. Wound dressings a review // *BioMedicine*. 2015. Vol. 5, Is. 4. P. 22. DOI: 10.7603/s40681-015-0022-9.

43. Kelangi S.S., Theocharidis G., Veves A., Austen W.G., Sheridan R., Goverman J., Bei M. On skin substitutes for wound healing: Current products, limitations, and future perspectives // *Technology*. 2020. Vol. 08, Is. 01n02. P. 8–14. DOI: 10.1142/S2339547820300024.
44. Bhardwaj N., Sow W.T., Devi D., Ng K.W., Mandal B.B., Cho N.-J. Silk fibroin–keratin-based 3D scaffolds as a dermal substitute for skin tissue engineering // *Integrative Biology*. 2015. Vol. 7, Is. 1. P. 53–63. DOI: 10.1039/c4ib00208c.
45. Shpichka A., Butnaru D., Bezrukov E.A., Sukhanov R.B., Atala A., Burdukovskii V., Zhang Y., Timashev P. Skin tissue regeneration for burn injury // *Stem Cell Research & Therapy*. 2019. Vol. 10, Is. 1. P. 94. DOI: 10.1186/s13287-019-1203-3.
46. Tavakoli S., Klar A.S. Bioengineered skin substitutes: advances and future trends // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Is. 4. P. 1493. DOI: 10.3390/app11041493.
47. Maxson S., Lopez E.A., Yoo D., Danilkovitch-Miagkova A., LeRoux M.A. Concise review: role of mesenchymal stem cells in wound repair // *Stem Cells Translational Medicine*. 2012. Vol. 1, Is. 2. P. 142–149. DOI: 10.5966/sctm.2011-0018.