

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ КОЖИ:  
РОЛЬ КЛЕТОЧНОЙ ТЕРАПИИ И ГЕННОЙ ТЕРАПИИ**

*Асадова Феруза Джума кизи*

*Хамраева Марджона Шавкат кизи*

*Самаркандский государственный медицинский университет*

**Аннотация:** Научная обзорная статья обсуждает современные молекулярные механизмы, лежащие в основе процессов регенерации кожи. Особое внимание уделено роли клеточной терапии и генной терапии в стимуляции и улучшении регенеративных процессов в коже. Обзор охватывает ключевые аспекты молекулярных сигнальных путей, влияющих на клеточную пролиферацию, миграцию, дифференцировку и экспрессию генов, необходимых для эффективной регенерации кожи. Подробный анализ современных исследований и клинических исследований позволяет обсудить перспективы применения клеточной терапии и генной терапии в лечении различных кожных состояний и травм.

**Ключевые слова:** регенерация кожи, клеточная терапия, генная терапия, молекулярные механизмы, сигнальные пути, пролиферация клеток, дифференцировка клеток.

**MOLECULAR MECHANISMS OF SKIN REGENERATION:  
THE ROLE OF CELL THERAPY AND GENE THERAPY**

**Abstract:** This scientific review article discusses contemporary molecular mechanisms underlying skin regeneration processes. Special attention is devoted to the role of cell therapy and gene therapy in stimulating and enhancing regenerative processes in the skin. The review covers key aspects of molecular signaling pathways affecting cell proliferation, migration, differentiation, and gene expression necessary for effective skin regeneration. A detailed analysis of current research and clinical studies allows for a discussion of the prospects of cell therapy and gene therapy in the treatment of various skin conditions and injuries.

**Keywords:** skin regeneration, cell therapy, gene therapy, molecular mechanisms, signaling pathways, cell proliferation, cell differentiation.

**Введение**

Современные достижения в рамках принципа регенерации кожи раскрывают различные пути их применения в косметике и медицине. Исследования включают роль гидроксилатапта (СаhА) в стимулировании

неоколлагенеза, пролиферации клеток, ангиогенеза и образования эластина, способствуя регенерации и увеличению объема кожи [25]. Механические механизмы во время расширения мягких тканей кожи активируют сигнальные пути и регулируют экспрессию генов в кератиноцитах, дермальных фибробластах и мезенхимических стволовых клетках, способствуя регенерации [30]. Регенерация тканей, вызванная физическими упражнениями, с тренировками на выносливость и выносливость представляет собой многообещающий подход к усилению восстановления тканей в органах с ограниченными регенеративными возможностями, что может привести к разработке миметиков физических упражнений для терапевтических целей [26]. Абляционное лазерное воздействие стимулирует образование коллагенов, ламинина и сосудов, улучшая внешний вид и трофику кожи, тем самым усиливая регенерацию [27]. Эти результаты в определении адаптации определяют наше понимание принципа регенерации кожи и открывают путь к инновационным и косметическим принципам.

В настоящее время, проблемы регенерации кожи становятся предметом все более интенсивного изучения и разработки в медицинской науке и клинической практике. В этом контексте, методы клеточной терапии и генной терапии привлекают особое внимание исследователей и врачей, ибо они обещают значительные перспективы для улучшения эффективности лечения и результатов регенерации кожи.

Клеточная терапия, включая использование стволовых клеток, выделяется как многообещающий подход в лечении различных состояний кожи. Этот метод базируется на способности стволовых клеток к дифференциации и репарации поврежденных тканей, что делает их эффективными инструментами для стимуляции регенерации кожи в случае травм, ожогов, а также в процессах старения кожи и других патологических состояний [23].

С другой стороны, генная терапия открывает перспективы для модуляции регенеративных процессов в коже путем введения или модификации генетических последовательностей. Этот подход позволяет манипулировать биологическими механизмами, регулирующими регенерацию кожи, с целью ускорения заживления ран, снижения воспаления, а также повышения эстетических характеристик кожи.

Таким образом, клеточная терапия и генная терапия являются перспективными и инновационными методами, которые имеют потенциал преобразовать подходы к регенерации кожи. В контексте академического исследования, эти подходы представляют собой объект систематического изучения, направленного на выявление их молекулярных механизмов, эффективности и безопасности, с целью разработки более эффективных

стратегий лечения для пациентов с кожными заболеваниями.

Цель данного обзора состоит в систематическом изучении молекулярных механизмов, лежащих в основе регенерации кожи, с особым акцентом на роли клеточной и генной терапии в этом процессе.

Естественная регенерация кожи включает в себя несколько ключевых механизмов, таких как пролиферация клеток, миграция клеток, синтез внеклеточного матрикса, ангиогенез и регуляция воспаления. Процесс начинается с активации клеток эпидермиса и дермы, которые затем размножаются, восстанавливая поврежденные ткани. Эти активированные клетки мигрируют к месту повреждения и начинают выполнять свои восстановительные функции. Синтез нового внеклеточного матрикса, включающего коллаген, эластин и гликозаминогликаны, обеспечивает поддержку и структуру вновь формирующейся ткани. Образование новых кровеносных сосудов имеет решающее значение для доставки кислорода и питательных веществ к регенерирующим тканям. Воспалительная реакция играет двойную роль в защите от инфекции и стимулировании процессов восстановления, но чрезмерное воспаление может препятствовать регенерации [35].

Кожа обладает впечатляющей способностью к самовосстановлению, но существуют ограничения и проблемы, которые могут помешать ее эффективности. Старение кожи может привести к замедлению заживления ран и появлению признаков старения. Хронические кожные заболевания, такие как псориаз и дерматит, нарушают механизмы регенерации кожи. При значительном повреждении или хроническом воспалении могут возникать рубцы и фиброз, снижающие эластичность кожи. Глубокие повреждения кожи, такие как ожоги третьей степени, могут повредить структурные элементы кожи, что делает недостаточной естественную регенерацию. Системные заболевания, такие как диабет и сосудистые заболевания, также могут нарушать регенерацию кожи. Важно понимать эти ограничения и проблемы, чтобы разработать эффективные методы лечения для улучшения регенерации кожи, когда естественные механизмы недостаточны или нарушены [9,14].

Терапия стволовыми клетками предполагает использование стволовых клеток, которые могут дифференцироваться в клетки различных типов, включая клетки кожи. Эти стволовые клетки могут поступать из различных источников, таких как ткани плода, плацента, костный мозг и жировая ткань. Аутологичная терапия кожи – это еще один метод, при котором клетки берутся из собственной кожи пациента и затем пересаживаются обратно в поврежденные участки, что исключает риск отторжения. В дермальных культурах фибробластов используются фибробласты, ответственные за синтез коллагена и других

компонентов кожи, которые берутся из образцов кожи пациента и культивируются перед введением обратно в кожу. Кроме того, в плацентарной терапии используются клетки и биологически активные вещества плаценты, способствующие регенерации кожи. Эти методы предлагают индивидуальное и эффективное лечение кожных заболеваний [5,6].

Каждый из этих типов клеточной терапии имеет свои преимущества и ограничения, и выбор конкретного метода зависит от характера повреждения кожи, клинических потребностей пациента и доступных ресурсов. Эти методы клеточной терапии представляют собой перспективные подходы к лечению различных состояний кожи и продолжают активно исследоваться в области дерматологии и регенеративной медицины.

Клеточная терапия – это разнообразный подход к регенерации кожи с использованием клеток. Существует четыре основных типа клеточной терапии: терапия стволовыми клетками, аутологичная терапия кожи, культивирование дермальных фибробластов и плацентарная терапия. Терапия стволовыми клетками включает в себя использование стволовых клеток, которые могут дифференцироваться в различные типы клеток, полученных из таких источников, как ткани плода, плацента, костный мозг и жировая ткань. Аутологичная терапия кожи позволяет получать клетки непосредственно с кожи пациента, размножать их и вводить обратно в поврежденные участки, что позволяет персонализировать лечение и избежать риска отторжения. Культуры дермальных фибробластов создаются путем извлечения фибробластов из образцов кожи пациента и культивирования их в лаборатории, а затем эти культивированные клетки используются для восстановления поврежденной кожи. Плацентанотерапия использует клетки и биологически активные вещества плаценты для стимуляции регенерации кожи у пациентов. Эти различные методы предлагают многообещающие подходы к эффективной регенерации кожи [19].

Стволовые клетки обладают способностью к самообновлению и преобразованию в различные типы клеток, что делает их полезными для регенерации кожи. Существует четыре основных механизма, с помощью которых стволовые клетки способствуют регенерации кожи. Во-первых, они могут дифференцироваться в различные типы клеток кожи, заменяя поврежденные или утраченные клетки кожи. Во-вторых, стволовые клетки выделяют биологически активные вещества, такие как факторы роста и цитокины, которые способствуют регенерации тканей и уменьшают воспаление. В-третьих, они могут модулировать микроокружение в поврежденной области, способствуя ремоделированию внеклеточного матрикса и привлекая другие клетки для участия в регенерации. Наконец, стволовые клетки могут

стимулировать образование новых кровеносных сосудов, улучшая кровоснабжение регенерирующих тканей [7].

Клеточная терапия стала важным направлением в современной дерматологии и регенеративной медицине благодаря своей способности стимулировать процессы регенерации кожи. В клинической практике клеточная терапия широко применяется для лечения различных кожных состояний, включая:

1. Лечение ожогов: Клеточная терапия, особенно с использованием культур кожных фибробластов или стволовых клеток, показала эффективность в ускорении заживления ожогов и снижении образования рубцов.

2. Регенерация тканей после травмы: при травматических повреждениях кожи, таких как раны и раны после операций, клеточная терапия может ускорить процессы заживления и содействовать восстановлению структуры и функции кожи [8,13].

3. Лечение хронических ран и язв: у пациентов с хроническими ранами и язвами, такими как диабетическая стопа или стазовые язвы, клеточная терапия может помочь стимулировать регенерацию тканей и ускорить процессы заживления [22].

4. Улучшение качества кожи при старении: Клеточная терапия, включая использование стволовых клеток и фибробластов, может применяться для улучшения текстуры кожи, уменьшения морщин и улучшения общего ее внешнего вида [24].

5. Лечение дерматологических заболеваний: Клеточная терапия также исследуется и применяется для лечения различных дерматологических заболеваний, таких как псориаз, атопический дерматит и рубцы после акне [17,29].

Вопреки своему потенциалу, клеточная терапия имеет свои ограничения и требует дальнейших исследований для оптимизации методов и протоколов лечения. Однако, она представляет собой обнадеживающую перспективу для улучшения результатов лечения пациентов с различными кожными состояниями и может стать важным инструментом в будущем дерматологии.

Генная терапия - многообещающее направление, целью которого является модификация генетического материала клеток для лечения или профилактики заболеваний. В контексте регенерации кожи генная терапия включает доставку генетического материала в клетки кожи с помощью переносчиков, таких как вирусы или наночастицы. Гены-мишени выбираются на основе понимания конкретного состояния кожи или заболевания. Терапия может регулировать экспрессию генов путем усиления, подавления или модулирования генов для достижения желаемого эффекта. Крайне важно отслеживать и контролировать



безопасность и эффективность терапии, включая оценку уровня экспрессии генов, изучение реакции организма и оценку возможных побочных эффектов [20].

Генная терапия представляет собой мощный инструмент для стимуляции регенерации кожи, основанный на модификации генетического материала для улучшения ее заживления и восстановления. Гены, кодирующие различные ростовые факторы, могут быть введены в кожные клетки для стимуляции их пролиферации, миграции и дифференциации. Это может ускорить заживление ран и стимулировать регенерацию тканей. Генная терапия может быть направлена на модуляцию воспалительных ответов в коже путем введения генов, контролирующей экспрессию цитокинов и других медиаторов воспаления. Это может помочь в снижении воспаления и ускорении процессов заживления [4].

Гены, связанные с ангиогенезом (образованием новых сосудов), могут быть введены в кожные клетки для стимуляции роста капилляров и улучшения кровоснабжения поврежденных участков кожи [11].

Исследования показывают, что фибробласты играют решающую роль в развитии рубцовой ткани, демонстрируя значительные изменения экспрессии генов, особенно в признаках фиброза [31,34]. Исследования выявили сериновые протеазы, такие как DPP4 и PLAU, как потенциальные факторы, способствующие образованию рубцов, при этом ингибиторы этих протеаз обещают уменьшить фиброз и улучшить качество рубцов [32]. Кроме того, базовые уровни экспрессии фиброзных генов, таких как FN1, коллаген 1A1 и альфа-гладкомышечный актин, были связаны с чрезмерным риском образования рубцов, что предполагает их потенциал в качестве молекулярных индикаторов для прогнозирования образования рубцов [28,32]. Кроме того, частичное перепрограммирование посредством активации факторов OSKM показало перспективность уменьшения фиброза, уменьшения образования рубцовой ткани и улучшения заживления тканей без риска образования опухоли [33].

Генная терапия обладает рядом преимуществ в области регенерации кожи. Во-первых, она позволяет проводить индивидуальное лечение с учетом индивидуальных особенностей пациента и его кожи. Во-вторых, генные модификации могут иметь длительный эффект, обеспечивая постоянное улучшение и поддержание регенерации кожи. Кроме того, генная терапия демонстрирует потенциал в лечении хронических кожных заболеваний, таких как псориаз и атопический дерматит. Кроме того, методы генной терапии часто являются минимально инвазивными, что уменьшает осложнения и ускоряет выздоровление. Однако в этом контексте генная терапия также имеет свои ограничения. Точная доставка генетического материала к клеткам кожи-мишеням может быть сложной задачей, и могут возникнуть нежелательные

побочные эффекты, такие как иммунные реакции или неожиданные генетические изменения. Ограниченное понимание генетических механизмов, лежащих в основе регенерации кожи, препятствует оптимизации генной терапии. Также необходимо учитывать этические и социальные аспекты, связанные с безопасностью, доступностью и воздействием на геном человека. И, наконец, высокая стоимость генной терапии может ограничить ее доступность. Для разработки эффективных и безопасных методов лечения ран и кожных заболеваний крайне важно сбалансировать преимущества и ограничения генной терапии [2,18].

Интеграция клеточной и генной терапии представляет собой перспективный подход к лечению различных кожных состояний, который объединяет преимущества обоих методов для усиления эффективности регенерации кожи.

Генная терапия может быть использована для модификации клеток перед их трансплантацией в поврежденные участки кожи. Например, клетки фибробластов могут быть модифицированы для усиления их способности к выработке коллагена и других компонентов экстрацеллюлярной матрицы.

Генные подходы могут быть использованы для увеличения выживаемости и функциональности трансплантированных клеток. Например, экспрессия генов, связанных с антиапоптотическими и пролиферативными свойствами, может снизить уровень клеточной гибели и улучшить результаты трансплантации [15].

Клеточная терапия может быть комбинирована с генной терапией для усиления выражения определенных ростовых факторов в трансплантированных клетках или в окружающей ткани, что способствует более эффективной стимуляции регенерации кожи [12].

Генная терапия может быть использована для модификации эндогенных стволовых клеток или других клеток кожи, чтобы улучшить их регенеративные свойства и стимулировать саморегенерацию кожи. Интеграция генной терапии может позволить создавать персонализированные подходы к лечению на основе генетического профиля пациента и особенностей его кожи, что может повысить эффективность исцеления [1].

Эти комбинированные методы лечения представляют собой инновационный подход к регенерации кожи, который может значительно улучшить результаты лечения различных кожных состояний и повреждений. Однако необходимы дальнейшие исследования и клинические испытания для определения оптимальных протоколов и обеспечения безопасности и эффективности таких подходов.

Интеграция клеточной и генной терапии открывает новые возможности для улучшения результатов регенерации кожи. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию комбинации этих методов лечения путем

определения оптимальных доз, сроков введения и методов доставки. Понимание молекулярных механизмов взаимодействия между клеточной и генной терапией поможет определить ключевые мишени и сигнальные пути для усиления регенерации кожи. Кроме того, в настоящее время изучается разработка новых способов доставки генетического материала для повышения эффективности трансфекции и минимизации побочных эффектов. Эксперименты на животных моделях и клеточных культурах позволяют оценить эффективность и безопасность комбинированной терапии перед внедрением у пациентов. Также проводятся клинические испытания для оценки безопасности и эффективности комбинированной терапии у пациентов с различными кожными заболеваниями. Эти научные исследования открывают путь для более эффективных методов лечения, стимулирующих регенерацию кожи и улучшающих качество жизни пациентов с различными кожными заболеваниями [3,10].

Регенеративная медицина быстро развивается благодаря таким достижениям, как биопечать, нанотехнологии, редактирование генов, искусственный интеллект и экзосомы, которые могут улучшить лечение кожных заболеваний [21].

Индивидуальный подход к процедуре регенерации кожи предполагает учет индивидуальных особенностей пациента и кожи для улучшения результатов лечения. Ключевые перспективы этого подхода включают использование генетического анализа и кожных маркеров для определения эффективных методов лечения и прогнозирования реакции пациента на терапию. Это также включает в себя разработку индивидуальных протоколов лечения, основанных на уникальных генетических характеристиках и состоянии кожи, включая выбор наилучшей клеточной и генной терапии, а также определение дозировки и продолжительности лечения. Кроме того, индивидуальный подход позволяет провести тестирование на чувствительность к лекарственным средствам, чтобы избежать побочных эффектов и определить наиболее эффективные препараты для пациента. Особое внимание уделяется регулярному мониторингу реакции кожи на лечение и корректировке протоколов лечения в соответствии с индивидуальными потребностями. Кроме того, этот подход учитывает факторы окружающей среды и образа жизни, такие как уровень стресса, загрязнение воздуха и диета, которые могут повлиять на состояние кожи и эффективность лечения. Внедрение персонализированного подхода в клиническую практику требует дальнейших исследований и разработок для обеспечения доступности для широкого круга пациентов. В целом, индивидуализация процедур по восстановлению кожи обещает улучшить результаты и качество жизни пациентов [16].

Использование клеточной и генной терапии в дерматологии вызывает



этические и юридические проблемы, связанные с защитой конфиденциальности, информированным согласием, регулированием, доступностью, этикой редактирования генов и патентными правами. Крайне важно создать основу для эффективного регулирования этой области, защищая интересы пациентов и способствуя ее развитию.

### **Заключение**

В заключение, изучение молекулярных механизмов регенерации кожи и роли клеточной терапии и генной терапии представляет собой важный направленный исследовательский вектор в области дерматологии и регенеративной медицины. Наши знания о процессах регенерации кожи значительно расширяются благодаря постоянным открытиям в области молекулярной биологии и генетики. Эти новые научные достижения создают перспективы для разработки инновационных методов лечения кожных заболеваний и повреждений, которые могут привести к существенному улучшению качества жизни пациентов. Однако, несмотря на значительный прогресс в этой области, дальнейшие исследования и клинические испытания необходимы для полного понимания и оптимизации эффективности клеточной и генной терапии в контексте регенерации кожи. Развитие более точных и целевых подходов, а также углубленное изучение взаимодействия различных молекулярных путей могут помочь расширить наши возможности в лечении кожных заболеваний и травм, открывая новые перспективы для будущего поколения медицинских технологий.

### **Литература**

1. Александрова М. А., Марей М. В. Стволовые клетки в мозгу млекопитающих и человека: фундаментальные и прикладные аспекты //Журнал высшей нервной деятельности им. ИП Павлова. – 2015. – Т. 65. – №. 3. – С. 271-271.
2. Александровская Н. А., Попов В. С., Макаревич П. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЗАЖИВЛЕНИЯ КОЖНЫХ РАН У ГРЫЗУНОВ: МЕТОДОЛОГИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯ ТРАНСЛЯЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ //Гены и клетки. – 2022. – Т. 17. – №. 3. – С. 10-11.
3. Апарцин Е. К., Кнауэр Н. Ю. Методы доставки генетического материала в клетки и возможности их применения в генной терапии //Гены и клетки. – 2016. – Т. 11. – №. 2. – С. 32-41.
4. Билялов А. И. и др. Возможности применения генной терапии плазмидой РСМV-VEGF165 при заживлении полнослойного дефекта кожи у крыс после аутодермопластики //Гены и Клетки. – 2017. – Т. 12. – №. 3. – С. 43-44.
5. Буеверов А. О., Ивашкин В. Т. Клеточная терапия-революция или иллюзия? //Клинические перспективы гастроэнтерологии, гепатологии. – 2011. – №. 6. – С. 3-10.

6. Владимирская Е. Б. Мезенхимальные стволовые клетки (МСК) в клеточной терапии //Онкогематология. – 2007. – №. 1. – С. 4-16.
7. Власова Т. И., Арсентьева Е. В., Марзуг Б. А. Некоторые внутриклеточные механизмы регуляции поведения эпидермальных стволовых клеток при регенерации кожи (обзор литературы) //Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2021. – №. 3 (59). – С. 142-157.
8. Гилевич И. В. и др. Достижения клеточной терапии в комбустиологии //Инновационная медицина Кубани. – 2017. – Т. 6. – №. 2. – С. 6-14.
9. Грамкова И. И., Максимова Е. Р. Регенерация кожи //Бюллетень медицинских интернет-конференций. – Общество с ограниченной ответственностью Наука и инновации, 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 266-266.
10. Дыгай А. М., Зюзьков Г. Н., Жданов В. В. Регенеративная медицина: в поисках «эликсира жизни» //Наука из первых рук. – 2013. – №. 3 (51). – С. 24-31.
11. Калинин Р. Е. и др. Регенеративные технологии в лечении синдрома диабетической стопы //Гены и клетки. – 2017. – Т. 12. – №. 1. – С. 15-26.
12. Карагяур М. Н. и др. Современные подходы к регенерации периферических нервов после травмы: перспективы генной и клеточной терапии //Гены и клетки. – 2017. – Т. 12. – №. 1. – С. 6-14.
13. Колосов Н. Г. и др. Клеточная терапия в травматологии //Травматология и ортопедия России. – 2006. – №. 2. – С. 157-158.
14. Костоломова Е. Г. и др. Взаимодействие иммунцитов кожи в процессе репаративной регенерации в ране //Российский иммунологический журнал. – 2017. – Т. 11. – №. 2. – С. 148-150.
15. Куракбаев Е. Б. Биоинженерные технологии в регенеративной медицине и трансплантологии //" Южно-Казахстанская медицинская академия" Вестник. – 2021. – №. 4 (94). – С. 53.
16. Курганская И. Г., Савченко Е. С. Эффективность коррекции посттравматических атрофических рубцов высокоинтенсивным лазерным излучением //Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2021. – Т. 98. – №. 3-2. – С. 113-113.
17. Мавлянова Ш. З., Уразметова М. Д., Обидов С. З. Применение дермальных фибробластов в лечении дерматологических заболеваний //Журнал теоретической и клинической медицины. – 2020. – №. 3. – С. 176-183.
18. Мельникова Е. В. и др. Развитие мирового и национального рынков персонализированной медицины: магистерская диссертация по направлению подготовки: 38.04. 01-Экономика. – 2022.
19. Меркулов В. А., Бунятян Н. Д., Радаев С. М. Проблемы и перспективы применения клеточной терапии в клинической практике //Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. – 2011. – №. 2. – С. 35-38.
20. Муслимов М. И. Медицина будущего: тренды и технологические решения (обзор) //Саратовский научно-медицинский журнал. – 2021. – Т. 17. – №. 3. – С. 476-480.

21. Ручко Е. Н., Плешакова В. И. Гены антибиотикорезистентности как проблема XXI века //Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии. – 2022. – С. 90.
22. Спичкина О. Г., Калмыкова Н. В., Моисеев С. И. Клеточные технологии в лечении трофических язв и длительно незаживающих ран //Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2012. – №. 4. – С. 61-68.
23. Чапленко А. А. и др. Актуальные направления применения клеточной терапии в регенеративной медицине //БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. – 2020. – Т. 20. – №. 2. – С. 82-88.
24. Ярыгин К. Н. и др. Клеточные технологии в ревитализации кожи лица //РМЖ. – 2009. – Т. 17. – №. 17. – С. 1058-1061.
25. Amiri M. et al. Skin regeneration-related mechanisms of Calcium Hydroxylapatite (CaHA): a systematic review //Frontiers in medicine. – 2023. – Т. 10. – С. 1195934.
26. Chen J. et al. Molecular mechanisms of exercise contributing to tissue regeneration //Signal Transduction and Targeted Therapy. – 2022. – Т. 7. – №. 1. – С. 383.
27. Dias J. R., Longoni A., Oliveira A. L. Advances in biofabrication for skin regeneration //Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2023. – Т. 11. – С. 1223797.
28. Doeser M. C., Schöler H. R., Wu G. Reduction of fibrosis and scar formation by partial reprogramming in vivo //Stem Cells. – 2018. – Т. 36. – №. 8. – С. 1216-1225.
29. Gottlieb A. B. Therapeutic options in the treatment of psoriasis and atopic dermatitis //Journal of the American Academy of Dermatology. – 2005. – Т. 53. – №. 1. – С. S3-S16.
30. Guo Y. et al. Mechanical stretch induced skin regeneration: molecular and cellular mechanism in skin soft tissue expansion //International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Т. 23. – №. 17. – С. 9622.
31. Meng X. et al. Control of fibrosis and hypertrophic scar formation via glycolysis regulation with IR780 //Burns & Trauma. – 2022. – Т. 10. – С. tkac015.
32. Mouawad J. E. et al. Low Baseline Expression of Fibrotic Genes in an Ex Vivo Human Skin Model is a Potential Indicator of Excessive Skin Scarring //Plastic and Reconstructive Surgery–Global Open. – 2022. – Т. 10. – №. 11. – С. e4626.
33. Takahashi K., Yamanaka S. A decade of transcription factor-mediated reprogramming to pluripotency //Nature reviews Molecular cell biology. – 2016. – Т. 17. – №. 3. – С. 183-193.
34. Vorstandlechner V. et al. The serine proteases dipeptidyl-peptidase 4 and urokinase are key molecules in human and mouse scar formation //Nature Communications. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – С. 6242.
35. Yannas I. V., Tzeranis D. S., So P. T. C. Regeneration mechanism for skin and peripheral nerves clarified at the organ and molecular scales //Current opinion in biomedical engineering. – 2018. – Т. 6. – С. 1-7.