

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ В РЕГЕНЕРАЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Асадова Феруза Джума кизи

Анорбоева Севинч Садриддиновна

Самаркандский государственный медицинский университет

Аннотация: Научная обзорная статья представляет собой исследование современных тенденций и перспектив применения биологических сигналов в процессе регенерации тканей. В работе освещаются ключевые аспекты роли факторов роста, цитокинов и экстрацеллюлярных матриц в стимуляции регенерации, а также их механизмы действия и влияние на различные типы тканей. Обзор включает анализ последних исследований, методов и технологий, направленных на оптимизацию использования биологических сигналов в регенеративной медицине. Данная статья предлагает взгляд на интеграцию различных сигнальных путей и мультимодальный подход к применению биологических сигналов с целью усиления процессов тканевой регенерации.

Ключевые слова: биологические сигналы, регенерация тканей, факторы роста, цитокины, экстрацеллюлярные матрицы, стимуляция регенерации, механизмы действия, тканевая регенерация, интеграция сигнальных путей, мультимодальный подход, клиническая практика, перспективы применения.

BIOLOGICAL SIGNALS IN REGENERATION: CURRENT TRENDS AND PROSPECTS FOR APPLICATION

Abstract: The scientific review article is an exploration of the current trends and prospects for the application of biological signals in tissue regeneration processes. The paper highlights key aspects of the role of growth factors, cytokines, and extracellular matrices in stimulating regeneration, as well as their mechanisms of action and influence on various types of tissues. The review includes an analysis of recent research, methods, and technologies aimed at optimizing the use of biological signals in regenerative medicine. This article offers insights into the integration of different signaling pathways and a multimodal approach to the application of biological signals to enhance tissue regeneration processes. In conclusion, the prospects for the application of biological signals in clinical practice are discussed, and key directions for future research in this area are identified.

Keywords: biological signals, tissue regeneration, growth factors, cytokines, extracellular matrices, regeneration stimulation, mechanisms of action, tissue regeneration, integration of signaling pathways, multimodal approach, clinical

practice, application prospects.

Введение

Регенерация тканей представляет собой сложный и восхитительный процесс, включающий в себя множество биологических сигналов, которые координируются и взаимодействуют для достижения восстановления поврежденных тканей и органов. Биологические сигналы - это молекулы или структуры, которые передают информацию между клетками и окружающей их средой, управляя процессами роста, дифференцировки, миграции и апоптоза. В контексте регенерации тканей биологические сигналы играют решающую роль в активации и направлении клеточных ответов, необходимых для восстановления функции и структуры тканей после травмы или заболевания [18].

Одним из ключевых типов биологических сигналов, играющих важную роль в регенерации тканей, являются факторы роста. Эти белковые молекулы регулируют множество клеточных процессов, включая пролиферацию, миграцию, дифференцировку и выживание клеток. Вместе с тем, цитокины - еще один важный класс биологических сигналов, оказывающих влияние на регенерацию тканей путем активации иммунной системы, индуцирования пролиферации и дифференциации клеток. Кроме того, экстрацеллюлярные матрицы (ECM) также являются важными источниками сигналов, регулирующих поведение клеток и формирование новой ткани [1,20].

Исследования в области регенерации тканей и их стимуляции через биологические сигналы имеют огромное значение в современной медицине. Несмотря на значительные достижения в области хирургии и медикаментозной терапии, многие травмы и заболевания, такие как сердечные заболевания, травматические повреждения спинного мозга и артриты, по-прежнему остаются вызовом для медицинского сообщества из-за ограниченных способностей организма к самоисцелению [4].

Использование биологических сигналов для стимуляции регенерации тканей представляет собой перспективный подход, который может привести к разработке новых эффективных методов лечения. В частности, факторы роста, цитокины и экстрацеллюлярные матрицы обладают потенциалом влиять на клеточные процессы, ускоряя регенерацию тканей и улучшая результаты лечения.

Важно отметить, что научные исследования в этой области находятся на стадии интенсивного развития, с новыми открытиями и инновационными подходами, которые расширяют наше понимание о роли биологических сигналов в регенерации тканей.

Цель данного обзора состоит в том, чтобы систематизировать современные

знания о роли биологических сигналов в регенерации тканей и проанализировать их потенциал для применения в клинической практике.

Факторы роста представляют собой группу биологически активных молекул, которые играют ключевую роль в регуляции клеточного роста, пролиферации, дифференцировки и выживания. Они являются важными сигнальными молекулами, управляющими различными аспектами обновления и восстановления тканей после повреждений или болезней.

Классификация факторов роста обычно основывается на их химической структуре и механизмах действия. Одна из основных классификаций включает в себя следующие группы факторов роста:

1. Фибробластические факторы роста (FGF) – это семейство белков, которые стимулируют пролиферацию, миграцию и дифференцировку различных типов клеток, включая фибробласты, эпителиальные и эндотелиальные клетки. Примеры включают FGF-1, FGF-2 и другие [15,24].

2. Эпидермальный фактор роста (EGF) – это группа белков, которые регулируют процессы роста и дифференциации эпителиальных клеток. Они играют важную роль в регенерации кожи и слизистых оболочек [6].

3. Трансформирующий фактор роста бета (TGF- β) – это семейство белков, которые регулируют множество клеточных процессов, включая рост, дифференцировку, апоптоз и экстрацеллюлярную матрицу. TGF- β также является ключевым регулятором ремоделирования тканей и имеет важное значение в регенерации многих типов тканей [19].

4. Прочие факторы роста, такие как инсулиноподобный фактор роста (IGF), плейотропин, пролактин и другие, также играют роль в процессах регенерации тканей [21].

Эта классификация отражает разнообразие функций и механизмов действия факторов роста, что подчеркивает их важность в процессах регенерации и обновления тканей.

Факторы роста, биологически активные молекулы, играют ключевую роль в процессах регенерации тканей, оказывая существенное воздействие на клеточные процессы, включая пролиферацию, дифференцировку, миграцию и выживание клеток. Механизмы действия факторов роста в стимуляции регенерации обширны и включают в себя несколько ключевых аспектов.

Во-первых, факторы роста активируют специфические рецепторы на поверхности клеток, что приводит к активации различных сигнальных путей внутри клетки. Эти сигнальные пути включают в себя киназные каскады, такие как митоген-активированные протеинкиназы (МАРК), фосфатидил-инозитол-3-киназа (PI3K)/протеинкиназа В (PKB или Akt) и другие, которые регулируют различные аспекты клеточного поведения [26].

Во-вторых, факторы роста могут взаимодействовать с другими биологическими сигнальными молекулами, такими как цитокины, экстрацеллюлярные матрицы и рецепторы клеточной адгезии, усиливая или модулируя их действие в процессе регенерации [3].

Кроме того, факторы роста могут регулировать экспрессию генов, контролируемых клеточные процессы, такие как цикл клеточного деления, апоптоз, синтез матричных белков и выделение медиаторов воспаления, что дополнительно влияет на регенерацию тканей [17].

Наконец, факторы роста могут стимулировать миграцию и пролиферацию стволовых клеток, а также индуцировать их дифференцировку в специализированные клеточные типы, что способствует восстановлению поврежденных тканей [12].

Все эти механизмы совместно обеспечивают координированное действие факторов роста в процессе регенерации тканей и подчеркивают их важность в поддержании и восстановлении структуры и функции тканей.

Применение факторов роста в регенерации тканей представляет собой активную область исследований, где современные методы и технологии играют ключевую роль в усилении их действия и эффективности.

Одним из подходов к усилению действия факторов роста является использование нанотехнологий для доставки этих биологически активных молекул в место повреждения. Наночастицы могут быть функционализированы таким образом, чтобы обеспечить контролируемую и устойчивую доставку факторов роста, что позволяет повысить их биостабильность и улучшить регенеративные процессы [22].

Другим перспективным направлением является генная терапия, которая направлена на усиление выражения факторов роста в тканях, подвергшихся повреждению. Это может быть достигнуто путем введения в ткань векторов, содержащих гены факторов роста, либо модификацией собственных клеток пациента для продуцирования и высвобождения факторов роста в месте повреждения [8].

Также важным аспектом является разработка биоматериалов, которые могут усиливать действие факторов роста, а также предоставлять подходящую микросреду для регенерации тканей. Эти биоматериалы могут включать в себя гели, нановолокна, трехмерные структуры и другие, которые обеспечивают поддержку и стимуляцию клеток при регенерации.

Наконец, использование техник тканевой инженерии и 3D-печати позволяет создавать комплексные тканевые конструкции, в которых факторы роста могут быть интегрированы и распределены в соответствии с требуемым шаблоном, что способствует точной и контролируемой стимуляции регенерации [16].

Эти современные методы и технологии представляют собой мощные инструменты для усиления действия факторов роста в регенерации тканей и могут способствовать разработке более эффективных подходов к лечению тканевых повреждений и заболеваний.

Цитокины, класс биологически активных молекул, играют важную роль в регуляции различных процессов регенерации тканей. Их функции включают управление воспалением, стимуляцию пролиферации и миграции клеток, а также модуляцию иммунного ответа.

В начальной стадии регенерации тканей цитокины играют ключевую роль в инициации воспалительного ответа, который необходим для удаления поврежденных клеток и частиц, а также для активации клеточных механизмов ремонта. Они привлекают иммунные клетки к месту повреждения и активируют фагоцитоз для очищения раны от микроорганизмов и клеточных остатков.

Кроме того, цитокины участвуют в процессах пролиферации и дифференцировки клеток, необходимых для восстановления тканей. Они могут стимулировать клеточное деление, а также индуцировать дифференциацию стволовых клеток в специализированные клеточные типы, необходимые для восстановления функциональной структуры тканей.

Одним из важных аспектов роли цитокинов в регенерации тканей является их способность регулировать экспрессию биомолекул, таких как факторы роста и экстрацеллюлярные матрицы, что дополнительно усиливает процессы ремонта и восстановления тканей [10,11].

Таким образом, цитокины играют неотъемлемую роль в регуляции различных этапов регенерации тканей, начиная с воспаления и заканчивая восстановлением функциональной структуры. Понимание их роли и механизмов действия является ключевым для разработки эффективных стратегий лечения и регенерации тканей в контексте регенеративной медицины.

Цитокины, которые являются молекулами, участвующими в воспалении и клеточной коммуникации, играют решающую роль в регенерации различных типов тканей в организме. Специфическое воздействие цитокинов на регенерацию зависит от типа ткани и конкретной ситуации, такой как травма или заболевание. В эпителиальных тканях, таких как кожа и слизистые оболочки, цитокины, такие как эпидермальный фактор роста (EGF) и интерлейкины, стимулируют пролиферацию и миграцию эпителиальных клеток, ускоряя заживление ран. В мышечных тканях цитокины, такие как интерлейкины-6 и 10 и трансформирующий фактор роста бета (TGF- β), регулируют ремоделирование мышечной ткани, стимулируя пролиферацию и дифференцировку миоцитов, участвующих в восстановлении мышечных волокон. В костных тканях цитокины, включая костные морфогенетические белки (BMP) и фактор роста

фибробластов (FGF), стимулируют остеобласты и способствуют формированию новой кости. В нервных тканях цитокины, такие как нейротрофические факторы роста (NTF), помогают поддерживать выживание и регенерацию нервных клеток, стимулируя образование новых нейронов, ускоряя рост нервных волокон и восстанавливая нервно-мышечные соединения [7,14].

Исследования цитокинов в регенеративной медицине расширяют наше понимание их потенциала в заживлении и репарации тканей. Ключевые тенденции включают целенаправленную доставку цитокинов с использованием нанотехнологий и биоматериалов, которые могут контролировать высвобождение и минимизировать побочные эффекты. Понимание модуляции цитокиновых сетей является еще одной областью интереса, поскольку исследователи изучают, как конкретные цитокины или сигнальные пути могут влиять на результаты регенерации тканей. Цитокины также изучаются в генной терапии, где их введение в ткани или клетки может усилить регенерацию. Наконец, разрабатывается мультиплексный подход к терапии, сочетающий различные цитокины и другие биологические сигналы для максимизации регенеративных процессов. Эти тенденции открывают многообещающие перспективы в разработке новых методов лечения пациентов с различными заболеваниями и травмами, что в конечном итоге улучшает способность к восстановлению тканей и органов [10].

Экстрацеллюлярные матрицы (ЕСМ) – это жизненно важные сети белков, гликопротеинов и полисахаридов, которые окружают клетки в тканях. Они выполняют множество функций, регулируя клеточные процессы, поддерживая структуру тканей и способствуя регенерации. Значение ЕСМ в регенерации тканей можно понять с помощью нескольких ключевых механизмов. Во-первых, он поддерживает структуру и механические свойства тканей, обеспечивая поддержку и целостность, например, роль коллагена в прочности и эластичности соединительной ткани. Во-вторых, ЕСМ создает микросреду, которая влияет на поведение клеток, включая их пролиферацию, миграцию и дифференцировку, посредством взаимодействия с гликозаминогликанами и белками адгезии. Наконец, ЕСМ участвует в сигнальных процессах, участвующих в регенерации, связывая факторы роста и цитокины, тем самым регулируя их активность и распределение в тканях. Активная роль ЕСМ в регенерации тканей имеет решающее значение для разработки новых стратегий в регенеративной медицине и лечении различных заболеваний [2,9].

Технологии и методы модификации экстрацеллюлярных матриц (ЕСМ) представляют собой важное направление исследований в области тканевой регенерации, направленное на оптимизацию и улучшение процесса восстановления тканей. Несколько ключевых подходов к модификации ЕСМ

выделяются:

1. Децеллюляризация и реконструкция: Этот метод включает удаление клеточных компонентов из исходной ткани, сохраняя структуру и композицию ЕСМ. Децеллюляризованные ЕСМ могут быть использованы для создания трехмерных матриц или гидрогелей, которые обеспечивают микросреду для роста и дифференцировки клеток во время регенерации [28].

2. Биоинженерные конструкции ЕСМ: Используя техники тканевой инженерии, исследователи создают биоинженерные конструкции, которые имитируют структуру и функцию нативных тканей. Эти конструкции могут включать в себя модифицированные ЕСМ, интегрированные с клетками и биологически активными молекулами, что способствует более эффективной регенерации [13].

3. Функционализация ЕСМ: Методы функционализации позволяют внедрять в ЕСМ биологически активные молекулы, такие как факторы роста, цитокины или генетические материалы, чтобы усилить и направить процессы регенерации. Это может быть достигнуто путем нанесения или внедрения этих молекул на ЕСМ поверхности или в ее структуру.

4. Использование биопечатных технологий: Технологии биопечати позволяют точно распределять клетки и биологические материалы на поверхности ЕСМ, что создает многокомпонентные конструкции с определенной архитектурой. Это позволяет создавать более сложные и функциональные тканевые заместители для регенерации тканей [5].

Используя ЕСМ, полученные из собственной ткани пациента или децеллюляризованных материалов, можно снизить риск иммунного отторжения, что делает их более совместимыми с трансплантацией тканей. ЕСМ могут применяться для восстановления различных типов тканей, таких как кожа, мышцы, кости, хрящи и нервы, что делает их весьма универсальными в регенеративной медицине. Однако существуют проблемы, которые необходимо решить. Ключевой задачей является стандартизация процесса производства для обеспечения высокой чистоты и консистенции ЕСМ. Кроме того, ограниченный доступ к качественным клиническим данным и результатам исследований препятствует широкому внедрению. Также необходимы долгосрочные клинические испытания для оценки долгосрочных эффектов и безопасности применения ЕСМ.

Процессы регенерации тканей являются сложным и тщательно согласованным взаимодействием различных биологических сигналов, которые управляют различными аспектами клеточной пролиферации, миграции, дифференцировки и ремоделирования. Важно понимать, как эти сигналы взаимодействуют и согласуются, чтобы оптимизировать процессы регенерации.

Факторы роста, такие как фибробластический фактор роста (FGF) и эпидермальный фактор роста (EGF), а также цитокины, такие как интерлейкины (IL) и трансформирующий фактор роста бета (TGF- β), играют важную роль в инициации и модуляции процессов регенерации. Они могут взаимодействовать с клетками и другими сигнальными молекулами, активируя специфические сигнальные пути и молекулярные ответы [25].

ЕСМ предоставляет фундаментальную поддержку и микросреду для клеток в процессе регенерации. Взаимодействие между ЕСМ и клетками, а также между различными компонентами ЕСМ, такими как коллаген, фибронектин и гликозаминогликаны, регулирует клеточное поведение и способствует оптимальной регенерации тканей.

Различные сигнальные пути, такие как пути Wnt/ β -катенина, Notch и Hedgehog, а также регуляторы генов, такие как транскрипционные факторы и микроРНК, играют ключевую роль в передаче и интеграции сигналов в клетках и контроле процессов регенерации [27].

Важно учитывать, что процессы регенерации являются динамическими и изменчивыми, и интеграция биологических сигналов происходит во времени и пространстве. Это означает, что эффективная регенерация требует точной координации и согласования различных сигналов в нужное время и месте.

В целом, понимание взаимодействия различных биологических сигналов в контроле процессов регенерации является ключевым для разработки эффективных стратегий усиления регенерации тканей и улучшения результатов лечения в контексте регенеративной медицины.

Мультимодальный подход к регенеративной медицине объединяет различные сигнальные молекулы и стратегии для усиления регенерации тканей. Этот подход включает в себя комбинацию факторов роста и цитокинов, интеграцию с компонентами матрикса, синергетические эффекты сигнальных путей и персонализированные подходы к лечению. Комбинируя эти подходы, можно разработать более эффективные и индивидуальные стратегии лечения для оптимизации процессов регенерации [23].

Интеграция биологических сигналов в клиническую практику обеспечивает персонализированную медицину, улучшение результатов лечения, уменьшение количества побочных эффектов, разработку новых технологий и лекарств, а также решения проблем старения и хронических заболеваний. Этот подход многообещающий, но требует дальнейших исследований и разработок.

Биологические сигналы открывают новые возможности для регенеративной медицины, включая усовершенствованные методы доставки, модификации сигнальных молекул, комбинаторные подходы, биоинженерные материалы и тканевую инженерию. Эти перспективы могут привести к более эффективному

и персонализированному лечению, улучшению результатов, естественному восстановлению, персонализированным методам лечения и снижению долгосрочных затрат. Однако существуют проблемы с внедрением исследований в практику.

Проблемы, связанные с внедрением результатов исследований в практику, включают ограниченность клинических данных, необходимость стандартизации, нормативные ограничения и технические трудности. Будущие исследования должны быть сосредоточены на механизмах действия, новых методах доставки, стандартизации, мультимодальных подходах, клинических исследованиях и обучении.

Заключение

Развитие и применение биологических сигналов представляет собой перспективное направление в регенеративной медицине, которое может привести к значительному улучшению результатов лечения и качества жизни пациентов. Дальнейшие исследования и инновации в этой области могут открыть новые возможности для разработки инновационных методов лечения и преодоления вызовов, связанных с восстановлением тканей.

Литература

1. Багдасарян А. С. и др. Беспроводной мониторинг биологических сигналов сердечно-сосудистой системы человека //Журнал радиоэлектроники. – 2019. – №. 6. – С. 11-11.
2. Бойко Е. М. и др. Перспективы применения коллагенсодержащих матриц в направленной тканевой регенерации. Обзор литературы //Медицинский алфавит. – 2021. – №. 24. – С. 9-13.
3. Бойцова Е. А., Азимуродова Г. О., Косенкова Т. В. ИНТЕРЛЕЙКИН 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ В РАЗВИТИИ АЛЛЕРГИИ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР) //Профилактическая и клиническая медицина. – 2020. – №. 2. – С. 70-79.
4. Бурмакина М. А., Трофимова Н. А., Саульская Н. Б. АКТИВНОСТЬ СЕРОТОНИНОВОЙ СИСТЕМЫ МЕДИАЛЬНОЙ ПРЕФРОНТАЛЬНОЙ КОРЫ В УСЛОВИЯХ СТИМУЛЯЦИИ И БЛОКАДЫ NO-СИГНАЛОВ //Сборник тезисов XXVI научной школы-конференции молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. – Общество с ограниченной ответственностью «Квант Медиа», 2022. – №. 1. – С. 36-39.
5. Волотовский И. Д., Пинчук С. В. Трехмерная 3D-биопечать: основы технологии и ее использование в интересах биологии и медицины //Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2022. – Т. 67. – №. 1. – С. 114-126.

6. Кабалоева Д. В., Аккалаев А. Б., Цховребов А. Ч. Заживление поврежденных слизистой оболочки полости рта под влиянием применения рекомбинантного эпидермального фактора роста //Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2020. – Т. 22. – №. 12. – С. 19-22.
7. Каштальян О. А., Ушакова Л. Ю. Цитокины как универсальная система регуляции //Медицинские новости. – 2017. – №. 9. – С. 3-7.
8. Курбонов Х. Р., Джуракулов Б. И., Хусанов Т. Б. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ АНГИОГЕНЕЗА В РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ //Journal of Universal Science Research. – 2023. – Т. 1. – №. 10. – С. 683-692.
9. Майбородин И. В. и др. Влияние экстрацеллюлярных везикул (экзосом) мезенхимальных стромальных клеток на регенерацию костной ткани //Новости хирургии. – 2019. – Т. 27. – №. 2. – С. 196-203.
10. Макаревич П. И., Ефименко А. Ю., Ткачук В. А. Биохимическая регуляция регенеративных процессов факторами роста и цитокинами: основные механизмы и значимость для регенеративной медицины //Биохимия. – 2020. – Т. 85. – №. 1. – С. 15-33.
11. Позябин С. В. и др. Инновационные методы регенеративной медицины при лечении собак и кошек с язвенными кератитами //М.: ЗооВет-Книга. – 2022.
12. Прохорова О. В. и др. Стромальный клеточный фактор роста: патоморфологический и клинический потенциал //РМЖ. Мать и дитя. – 2020. – Т. 3. – №. 3. – С. 198-204.
13. Решетов И. В. и др. Современные биоинженерные конструкции для реконструкции костной ткани //Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. – 2016. – №. 1. – С. 50-59.
14. Симбирцев А. С., Тотолян А. А. Цитокины в лабораторной диагностике //Инфекционные болезни: Новости. мнения. обучение. – 2015. – №. 2 (11). – С. 82-98.
15. Солиев А. У. и др. Артериальная Гипертония И Фактор Роста Фибробластов //AMALIY VA TIBBIYOT FANLARI ILMIY JURNALI. – 2023. – Т. 2. – №. 12. – С. 279-283.
16. Токарев Б. Е., Токарев Р. Б. Анализ рыночных перспектив технологий Зр-биопечати //Вестник евразийской науки. – 2016. – Т. 8. – №. 2 (33). – С. 79.
17. Федореева Л. И. и др. КОРОТКИЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕПТИДЫ РЕГУЛИРУЮТ ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ СЕМЕЙСТВ CLE, KNOX1И GRF У *Nicotiana tabacum* //Биохимия. – 2017. – Т. 82. – №. 4. – С. 700-709.
18. Целуйко С. С., Красавина Н. П., Семенов Д. А. Регенерация тканей. – 2016.
19. Черных В. В. и др. Особенности содержания трансформирующих факторов роста–бета 1, 2, 3 (TGF-β1, TGF-β2, TGF-β3) во внутриглазной жидкости при

- первичной открытоугольной глаукоме //Офтальмохирургия. – 2019. – №. 2. – С. 13-17.
20. Шачиков А. Д., Шуляк А. П., Шуляк О. П. Обработка принципов анализа структуры циклических медико-биологических сигналов для их обнаружения, распознавания и классификации. – 2015.
21. Шиловский Г. А. и др. Возможно ли доказать наличие программы старения с помощью количественных методов оценки динамики смертности?(обзор) //Биохимия. – 2016. – Т. 81. – №. 12. – С. 1740-1758.
22. Щаницын И. Н. и др. Современные концепции стимуляции регенерации костной ткани с использованием биологически активных скаффолдов //Цитология. – 2019. – Т. 61. – №. 1. – С. 16-34.
23. Щербак С. Г. и др. РЕГЕНЕРАТИВНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ //Клиническая практика. – 2021. – Т. 12. – №. 4. – С. 51-65.
24. Fayazzadeh E. et al. Fibroblast growth factor-1 vs. fibroblast growth factor-2 in ischemic skin flap survival in a rat animal model //World Journal of Plastic Surgery. – 2016. – Т. 5. – №. 3. – С. 274.
25. Laddha A. P., Kulkarni Y. A. VEGF and FGF-2: Promising targets for the treatment of respiratory disorders //Respiratory medicine. – 2019. – Т. 156. – С. 33-46.
26. Shorning B. Y. et al. The PI3K-AKT-mTOR pathway and prostate cancer: at the crossroads of AR, MAPK, and WNT signaling //International Journal of Molecular Sciences. – 2020. – Т. 21. – №. 12. – С. 4507.
27. Takebe N. et al. Targeting Notch, Hedgehog, and Wnt pathways in cancer stem cells: clinical update //Nature reviews Clinical oncology. – 2015. – Т. 12. – №. 8. – С. 445-464.
28. Zhang X. et al. Decellularized extracellular matrix scaffolds: Recent trends and emerging strategies in tissue engineering //Bioactive materials. – 2022. – Т. 10. – С. 15-31.