

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЁМНОЙ АНАТОМИЧЕСКОЙ КОСТНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОРАЖЁННЫХ ОБЛАСТЕЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Чебатура О.Ю., Власов А.В., Дубровин Г.М., Лебедев А.Ю.

Курский государственный медицинский университет (КГМУ)

Россия, 305041, Курская область, г. Курск, ул. К. Маркса, д. 3

Цель – изучить возможности современной реконструктивной травматологии и ортопедии в замещении масштабных дефектов опорно-двигательного аппарата.

Материалы и методы. Анализ современной научной литературы по данной теме.

Результаты. Импланты, созданные методом 3D-печати, положительно зарекомендовали себя в реконструктивной травматологии и ортопедии с хорошим функциональным результатом. Широкий спектр используемых в настоящее время материалов для костной пластики указывает на необходимость разработки новых материалов. Для успешного применения он должен обладать следующими характеристиками: остеоимплантация, остеоинтеграция, остеокондукция, остеоиндукция, остеогенность. Методика, разработанная Г.А. Илизаровым, представляет собой лечение деформации костей, основанное на использовании внешнего ортеза и последующей фиксации в нужном положении для их дальнейшего восстановления, является высокоэффективным подходом к решению ортопедических задач, позволяет рассматривать костный трансплантат как оптимальную конструкцию с точки зрения васкуляризации, размеров и формы. Несмотря на высокую надежность метода, его применение связано с определенными ограничениями для пациента. В связи с этим были предложены альтернативные методы. В большинстве случаев используют закрытый блокирующий интрамедуллярный остеосинтез, поскольку при этом сокращается риск кровопотери и повреждение мягких тканей. Пористые титановые имплантаты представляют собой перспективный материал для замены костной ткани при различных переломах, сопровождающихся образованием крупных дефектов. Благодаря своим свойствам они способны к полной интеграции с костной тканью.

Заключение. 3D-моделирование имеет большой потенциал в области эндопротезирования при соблюдении оптимальных показаний. Данный метод представляет собой процесс создания трехмерных виртуальных моделей. Одним из примеров применения 3D-печати является разработка индивидуальных имплантатов, моделей анатомических структур, которые помогают хирургам лучше понять особенности конкретного случая и спланировать операцию заранее. Золотым стандартом костной пластики является аутокость, но так как её нельзя использовать в определённых случаях, то применяют альтернативные материалы аллогенного, ксеногенного или синтетического происхождения. Развитие остеосинтеза подразумевает не только совершенствование имплантационных технологий, но и глубокое понимание процессов регенерации костной ткани в условиях хирургического вмешательства. Остеосинтез можно рассматривать как управляемый процесс репаративной регенерации, однако сам по себе имплантат не способен обеспечить заживление перелома.

Ключевые слова: костная реконструкция; 3D-моделирование; остеозамещающие материалы; импланты аллогенного, ксеногенного, синтетического происхождения.

Чебатура Ольга Юрьевна – студентка 5 курса лечебного факультета, КГМУ, г. Курск. ORCID ID: 0009-0002-6747-4457. E-MAIL: OLYASNEBATURA@YANDEX.RU (автор, ответственный за переписку).

Власов Александр Вячеславович – студент 6 курса лечебного факультета, КГМУ, г. Курск. ORCID ID: 0009-0003-9340-0192. E-MAIL: VLASOVSAHA734@GMAIL.COM.

Дубровин Григорий Менделевич – д.м.н., заведующий кафедрой травматологии и ортопедии КГМУ, г. Курск. ORCID ID: 0000-0001-7378-5513. E-MAIL: GRIG-D31@YANDEX.RU.

Лебедев Александр Юрьевич – к.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии КГМУ, г. Курск. ORCID ID: 0000-0002-1805-2197. E-MAIL: ALEXLEBEDEV32@GMAIL.COM.

УДК 617

MODERN POSSIBILITIES OF VOLUMETRIC ANATOMICAL BONE RECONSTRUCTION OF DAMAGED AREAS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM

CHEBATURA O.YU., VLASOV A.V., DUBROVIN G.M., LEBEDEV A.YU.

KURSK STATE MEDICAL UNIVERSITY (KSMU)

305041, 3, K. MARX STREET, KURSK, RUSSIAN FEDERATION

OBJECTIVE: TO STUDY THE POSSIBILITIES OF MODERN RECONSTRUCTIVE TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS IN THE REPLACEMENT OF LARGE-SCALE DEFECTS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM.

MATERIALS AND METHODS. ANALYSIS OF MODERN SCIENTIFIC LITERATURE ON THIS TOPIC.

RESULTS. 3D-PRINTED IMPLANTS HAVE PROVEN THEMSELVES POSITIVELY IN RECONSTRUCTIVE TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS WITH GOOD FUNCTIONAL RESULTS. THE WIDE RANGE OF CURRENTLY USED MATERIALS FOR BONE GRAFTING INDICATES THE NEED TO DEVELOP NEW MATERIALS. FOR SUCCESSFUL APPLICATION, IT MUST HAVE THE FOLLOWING CHARACTERISTICS: OSTEOIMPLANTATION, OS-SEOINTEGRATION, OSTEOCONDUCTION, OSTEOINDUCTION, OSTEOGENICITY. THE TECHNIQUE DEVELOPED BY G.A. ILIZAROV IS A TREATMENT FOR BONE DEFORMITY BASED ON THE USE OF AN EXTERNAL ORTHOSIS AND SUBSEQUENT FIXATION IN THE DESIRED POSITION FOR THEIR FURTHER RECOVERY, IS A HIGHLY EFFECTIVE APPROACH TO SOLVING ORTHOPEDIC PROBLEMS, ALLOWS US TO CONSIDER A BONE GRAFT AS AN OPTIMAL DESIGN IN TERMS OF VASCULARIZATION, SIZE AND SHAPE. DESPITE THE HIGH RELIABILITY OF THE METHOD, ITS USE IS ASSOCIATED WITH CERTAIN LIMITATIONS FOR THE PATIENT. IN THIS REGARD, ALTERNATIVE METHODS HAVE BEEN PROPOSED. IN MOST CASES, CLOSED BLOCKING INTRAMEDULLARY OSTEOSYNTHESIS IS USED, SINCE THIS REDUCES THE RISK OF BLOOD LOSS AND SOFT TISSUE DAMAGE. POROUS TITANIUM IMPLANTS ARE A PROMISING MATERIAL FOR BONE REPLACEMENT IN VARIOUS FRACTURES ACCOMPANIED BY THE FORMATION OF LARGE DEFECTS. DUE TO THEIR PROPERTIES, THEY ARE CAPABLE OF FULL INTEGRATION WITH BONE TISSUE.

CONCLUSION. 3D MODELING HAS GREAT POTENTIAL IN THE FIELD OF ENDOPROSTHETICS, SUBJECT TO OPTIMAL INDICATIONS. THIS METHOD IS A PROCESS OF CREATING THREE-DIMENSIONAL VIRTUAL MODELS. ONE EXAMPLE OF THE USE OF 3D PRINTING IS THE DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL IMPLANTS, MODELS OF ANATOMICAL STRUCTURES THAT HELP SURGEONS BETTER UNDERSTAND THE SPECIFICS OF A PARTICULAR CASE AND PLAN THE OPERATION IN ADVANCE.

THE GOLD STANDARD OF BONE GRAFTING IS AUTO-HARDNESS, BUT SINCE IT CANNOT BE USED IN CERTAIN CASES, ALTERNATIVE MATERIALS OF ALLOGENEIC, XENOGENIC OR SYNTHETIC ORIGIN ARE USED.

THE DEVELOPMENT OF OSTEOSYNTHESIS IMPLIES NOT ONLY THE IMPROVEMENT OF IMPLANTATION TECHNOLOGIES, BUT ALSO A DEEP UNDERSTANDING OF THE PROCESSES OF BONE TISSUE REGENERATION UNDER SURGICAL INTERVENTION. OSTEOSYNTHESIS CAN BE CONSIDERED AS A CONTROLLED PROCESS OF REPARATIVE REGENERATION, HOWEVER, THE IMPLANT ITSELF IS NOT CAPABLE OF PROVIDING FRACTURE HEALING.

KEYWORDS: BONE RECONSTRUCTION; 3D MODELING; OSTEOSUBSTITUTING MATERIALS; IMPLANTS OF ALLOGENIC, XENOGENIC, SYNTHETIC ORIGIN.

CHEBATURA OLGA YU. – 5 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, KSMU, KURSK, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0009-0002-6747-4457. E-MAIL: OLYACHEBATURA@YANDEX.RU (THE AUTHOR RESPONSIBLE FOR THE CORRESPONDENCE).

VLASOV ALEXANDER V. – 6 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, KSMU, KURSK, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0009-0003-9340-0192. E-MAIL: VLASOVSAHA734@GMAIL.COM.

DUBROVIN GRIGORY M. – DOCTOR OF MEDICAL SCIENCES, HEAD OF THE DEPARTMENT OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPAEDICS, KSMU, KURSK, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0000-0001-7378-5513. E-MAIL: GRIG-D31@YANDEX.RU.

LEBEDEV ALEXANDER YU. – CANDIDATE OF MEDICAL SCIENCES, ASSOCIATE PROFESSOR OF THE DEPARTMENT OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPAEDICS, KSMU, KURSK, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0000-0002-1805-2197. E-MAIL: ALEXLEBEDEV32@GMAIL.COM.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Костный дефект – это потеря части кости в результате действия внутренних и внешних факторов. Удаление крупных объемных образований приводит к появлению значительных дефектов. Для достижения наилучших эстетических и функциональных результатов, а также для поддержания качества жизни пациента, необходимо проводить реконструкцию.

Современные методы замещения костных дефектов, основанные на использовании индивидуальных имплантатов, открывают новые перспективы [15]. Весьма потенциальным представляется применение технологии 3D-моделирования, активно внедряемой в различные области медицины. Актуальность работы обусловлена острой потребностью в разработке технологии производства костных блоков [18], которые могли бы использоваться в качестве конкурентоспособного на мировом рынке остеоиндуктивного материала, обладающего биоинертностью и биосовместимостью с тканями организма, что позволит эффективно осуществлять пластическое замещение костных дефектов.

Возможность отказа от использования донорской ткани позволяет минимизировать число хирургических операций, сократить риск отторжения, передачу инфекций, также стоит отметить, что они могут терять свою жизнеспособность со временем, быть ограничены по количеству и типу, что затрудняет их применение. Современные технологии, включая компьютерное моделирование, дают возможность создавать эффективные имплантаты [12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ современной научной литературы о возможностях объёмной анатомической костной реконструкции поражённых областей опорно-двигательного аппарата.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод 3D-принтинга в настоящее время является многообещающим направлением в современной травматологии и ортопедии для решения вопросов замещения костных дефектов разной локализации. 3D

-имплантаты представляют собой новые возможности для урегулирования проблемы реконструкции.

Создание индивидуального имплантата при помощи данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) является основой описанной технологии [11]. Стоит отметить, что посредством этого метода осуществляется разработка сложных мелких деталей с последующей остеимплантацией, остеointеграцией, остеиндукцией, остеокондукцией.

Специалисты объединяют свои знания в области 3D-печати, реконструкции костных дефектов, связанных с опухолью, для выполнения комплексных оценок на основе 3D-изображений и печатных физических моделей [16]. Такие модели могут быть использованы для разработки точных индивидуальных планов лечения, хирургических подходов; определения длины, дуги, количества и направления винтов, объема удаления; выполнения разумной сегментации и распределения; повышения безопасности и точности операции [2]. Применение данного метода обеспечивает персонализированную и точную хирургическую схему для лечения сложных ортопедических заболеваний, особенно когда пациентам требуется восстановление костных дефектов.

Технология 3D-печати в сочетании с хирургическим вмешательством может быть скорректирована с планом операции, что позволит визуализировать область повреждения, выбрать оптимальный доступ, определить положение разреза и направление, позицию внутренней фиксации. Перечисленные характеристики позволяют сократить время операции, снизить уровень травматизации, уменьшить кровопотерю и дополнительные медицинские расходы [16].

Время, которое требуется для восстановления кости при помощи синтетических имплантатов, созданных благодаря 3D-моделированию, варьируется в зависимости от размера и сложности заменяемой кости и может занять от нескольких недель до нескольких месяцев. Это зависит от продолжительности остеointеграции, при которой биоматериал прочно соединяется с окружающей костной тканью, гарантируя стабильную и долговременную фиксацию, остеиндукции, обеспечиваю-

-лагает наличие от специалистов глубоких знаний о технологиях 3D-печати, что может ограничивать доступность качественных решений в некоторых регионах.

На сегодняшний день отмечается тенденция применения остеозамещающих материалов в качестве носителей для мезенхимальных стволовых клеток. Это обусловлено большим регенеративным потенциалом данных клеток, способствующим ускорению восстановления после различных травм. Использование продуктов природного происхождения в качестве биоматериалов минимизирует негативное воздействие на организм, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам, а также стимулирует процессы регенерации.

В разработке современных биоматериалов ключевую роль играют бионеutralность и биodeградируемость. Бионеutralность – это свойство материала, не вызывающего иммунный ответ или негативные реакции со стороны организма. Биodeградируемость — это способность материала разлагаться под воздействием биологических процессов, таких как действие ферментов, микроорганизмов или других факторов окружающей среды, избавляя от необходимости хирургического удаления после завершения процесса заживления.

Золотым стандартом среди трансплантатов является аутокость, но так как её нельзя использовать при масштабных операциях, развивающихся осложнениях, например, кровотечение, инфицирование, необходимо искать её альтернативы: материалы аллогенного, ксеногенного и синтетического происхождения.

Наиболее широко применяется губчатая аутокость. Её неиммуногенность обуславливает выраженные остеогенные и остеоиндуктивные свойства, а уникальная структура способствует эффективной остеокондукции. Кортикальные аутотрансплантаты характеризуются высокой механической прочностью и сохранением целостности [7].

В сравнении с последними аллогенные имплантаты характеризуются повышенной иммуногенностью и более высоким процентом неудачных операций, что связано с активацией антигенов главного комплекса гистосовместимости (МНС). Ос-

-новым материалом этой категории являются губчатые блоки [5]. Благодаря своим высоким механическим характеристикам, а именно пористости, эластичности, прочности на сжатие и на изгиб, модулю упругости, крепости к сдвигу, данный материал широко используется в хирургических процедурах, таких как спондилодез и пластика дефектов трубчатых костей. Губчатая аллогенная кость практически не подвергается полному рассасыванию и может обнаруживаться в зоне имплантации спустя много лет после операции. Кортикальная аллогенная кость обладает высоким уровнем прочности, однако уступает губчатой по своим остеоиндуктивным и остеокондуктивным характеристикам [7].

В процессе обработки ксеноматериал теряет остеогенные и частично остеоиндуктивные свойства, однако сохраняют биологическую активность, обусловленную присутствием сульфатированных гликозаминогликанов, играющих важную роль в процессе формирования соединительной ткани, оказывающих модулирующее влияние на дифференцировку её клеточных элементов.

На данный момент наблюдается значительный рост рынка синтетических материалов, применяемых в остеопластической хирургии. Среди наиболее востребованных заменителей костной ткани выделяют сульфат кальция, керамические материалы на основе фосфата кальция, цементы, биоактивное стекло и их комбинированные варианты. Полиметилметакрилат, впервые применённый более полувека назад, играет ключевую роль в современной ортопедии и травматологии, являясь одним из самых долговечных материалов в этой области. Несмотря на то, что он не подвергается биологическому распаду и не резорбируется, что исключает его использование в качестве костного имплантата, получил широкое распространение и стал наиболее часто используемым синтетическим материалом в медицинских учреждениях по всему миру благодаря высокой устойчивости к разрывам и износу, биосовместимости - хорошо переносится организмом, не вызывая аллергических реакций или отторжения, адгезирует к костной ткани, обеспечивая надежное соединение, легко формуется и может быть использован для создания

сложных конструкций.

Одним из факторов, способствующих возникновению значительных костных дефектов, является резекция нежизнеспособных костных участков в ходе первичного хирургического вмешательства при открытых переломах или радикального хирургического лечения очагов остеомиелита [3].

При восстановлении масштабных дефектов диафиза длинных костей конечностей применяют аутотрансплантацию, метод Илизарова, протезирование диафизарной части [4].

В последнее время наблюдается тенденция к использованию пористого титана для эндопротезирования при обширных дефектах кости. Данный подход обусловлен необходимостью сокращения сроков лечения и реализуется в сочетании с погружным остеосинтезом (БИОС) или индивидуальными диафизарными протезами [4].

Титан характеризуется высокой механической прочностью, малой плотностью, оптимальной пластичностью, обрабатываемостью, низкой токсичностью, устойчивостью к коррозии, хорошей биологической совместимостью. Однако, как и в любом другом методе, существует ряд недостатков. Низкая остеогенность металла может привести к образованию фиброзно-хрящевой ткани на границе имплантата с костью, это, в свою очередь, обуславливает нестабильность его фиксации. Высокий модуль упругости титана по сравнению с костной тканью провоцирует перифокальную резорбцию в зоне контакта с имплантатом, что может привести к несращению. Его износ способствует образованию оксидных соединений, вызывающих локальное воспаление и запускающих процессы апоптоза и некроза костной ткани, в результате развивается несостоятельность имплантата и его потеря [13].

Бугаев Г.А., Антониади Ю.В., Помогаева Е.В., Шорикова А.И. в своей статье описывают работу, которая продемонстрировала превосходство пористых имплантатов над имплантатами с однородной поверхностью в отношении остеогенных и остеокондуктивных свойств [13]. Данное исследование подтверждает тесную взаимосвязь между процессом остеоинтеграции и структурными характеристиками мате-

-риала имплантата, такими как пористость, размер пор и общая структура.

Методика, разработанная Г. А. Илизаровым, представляет собой лечение деформации костей, основанное на использовании внешнего ортеза и последующей фиксации в нужном положении для их дальнейшего восстановления [8], является высокоэффективным подходом к решению ортопедических задач, позволяет рассматривать костный трансплантат как оптимальную конструкцию с точки зрения васкуляризации, размеров и формы [20]. Несмотря на высокую надежность метода, его применение связано с определенными ограничениями для пациента. Были предложены альтернативные методы, направленные на минимизацию этих недостатков. В большинстве случаев используют закрытый блокирующий интрамедуллярный остеосинтез, поскольку при этом сокращается риск кровопотери и повреждение мягких тканей [1, 9].

ВЫВОДЫ

3D-моделирование, имеет большой потенциал в области эндопротезирования при соблюдении оптимальных показаний. Данный метод представляет собой процесс создания трехмерных виртуальных моделей, учитывающий анатомические особенности каждого человека. Одним из примеров применения 3D-печати является разработка для пациентов со сложными переломами или деформациями костей индивидуальных имплантатов, моделей анатомических структур, которые помогают хирургам лучше понять особенности конкретного случая и спланировать операцию заранее. Для создания используются различные методы сканирования, а также специализированное программное обеспечение для обработки и визуализации данных. В настоящее время для 3D-печати костей применяют металлические, неорганические неметаллические и полимерные материалы [16]. Тем не менее, данный метод требует проведения дальнейших исследований и увеличения сроков наблюдения за пациентами [6].

Золотым стандартом костной пластики является аутокость, но так как её нельзя использовать в определённых случаях, то применяют альтернативные материалы ал-

-логенного, ксеногенного или синтетического происхождения, такие как природный коралл, трансплантаты из костной ткани быков и свиней, сульфат кальция, керамические материалы на основе фосфата кальция, цементы, биоактивное стекло.

Развитие остеосинтеза подразумевает не только совершенствование имплантационных технологий, но и глубокое понимание процессов регенерации костной ткани в условиях хирургического вмешательства [17]. Остеосинтез можно рассматривать как управляемый процесс репаративной регенерации, однако сам по себе имплантат не способен обеспечить заживление перелома [1, 14].

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной работы.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы сообщают об отсутствии источников финансирования данной работы.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Чебатурская О.Ю. – сбор данных, интерпретация данных, подготовка чернового варианта работы;

Власов А.В. – интерпретация данных, подготовка чернового варианта работы;

Дубровин Г.М. – окончательное редактирование текста;

Лебедев А.Ю. – окончательное редактирование текста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борозда И.В. *Современные металлоконструкции погружного остеосинтеза длинных костей скелета: учебное пособие*. Благовещенск; 2017. 83 с.
2. Васюк В.Л., Брагар А.А. Накостный остеосинтез переломов плечевой кости. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. № 4. С. 344-345.
3. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Корчагин К.Л., Сабиров Ф.К. Замещение обширного дефекта костей, образующих коленный сустав, с использованием комбинации внешней и внутренней фикса-

- внутренней фиксации. *Политравма*. 2018;(3):56-85.
4. Барабаш А.П., Кесов Л.А., Барабаш Ю.А., Шпиняк С.П. Замещение обширных диафизарных дефектов длинных костей конечностей. *Обмен опытом*. 2014;(2):93-98.
 5. Кирилова И.А., Подорожная В.Т. Костно-пластические биоматериалы и их физико-механические свойства. *Хирургия позвоночника*. 2010;(1):81-87.
 6. Сушенцов Е.А., Мусаев Э.Р., Маслов Л.Б. и др. Компьютерное моделирование, 3D-принтинг и индивидуальное протезирование в лечении больного с остеосаркомой костей таза. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2019;11(4):2-7.
 7. Костнозамещающие материалы и факторы роста для пластики костных дефектов [Интернет]. Конектбиофарм. Доступно по: [HTTPS://KONEKTBIOFARM.RU/ARTICLES/ARTICLES/KOSTNOZAMESHCHAYUSHCHIE-MATERIALY-I-FAKTOR-Y-ROSTA-DLYA-PLASTIKI-KOSTNYKH-DEFEKTOV/?YSCLID=M2HF0YVADP68882139](https://konektbiofarm.ru/articles/articles/kostnozameshchayushchye-materialy-i-faktor-y-rosta-dlya-plastiki-kostnykh-defektov/). Дата обращения: 20.10.2024.
 8. Метод Илизарова [Интернет]. Центр Илизарова. Доступно по: [HTTPS://ILIZAROV.RU/ARTICLE/METOD-ILIZAROVA](https://ilizarov.ru/article/metod-ilizarova). Дата обращения: 03.11.2024.
 9. Неверов В.А., Черняев С.Н. Преимущества блокирующего интрамедуллярного остеосинтеза при лечении больных с переломами костей предплечья. *Вестник хирургии*. 2013;(3):53-54.
 10. Обзор остеозамещающих материалов для костной пластики [Интернет]. Конектбиофарм. Доступно по: [HTTPS://BIOIMPLANTAT.RU/ARTICLES/ARTICLES/OBZOR-OSTEOZAMESHCHAYUSHCHIKH-MATERIALOV-DLYA-KOSTNOY-PLASTIKI/?YSCLID=M2HF0UF7AJ8422](https://bioimplantat.ru/articles/articles/obzor-osteozameshchayushchikh-materialov-dlya-kostnoy-plastiki/) 88905. Дата обращения: 20.10.2024.
 11. Давыдов Д.В., Брижань Л.К., Керимов А.А. и др. Применение аддитивных технологий при замещении огнестрельных дефектов костей конечностей. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. 2022;17(4):1-2.
 12. Васильев С.А., Левин Р.С., Аслануков М.Н., Ощепков С.К. Применение пациент-специфичных имплантов в хирургии распространенных объемных образований краниофациальной зоны. *Журнал имени академика Б.В. Петровс-кого*. 2022;(3):83-88.
 13. Бугаев Г.А., Антониади Ю.В., Помогаева Е.В., Шорикова А.И. Современное представление об использовании имплантов на основе пористого титана и его сплавов для замещения костных дефектов. *Политравма*. 2023;(2):94-102.
 14. Хариев И.К., Мусалов А.Х. Остеосинтез - виды, показания, противопоказания. Новые методы остеосинтеза в современной травматологии и особенности сращения костной ткани при их использовании. В: *Лучший исследовательский проект 2021. МЦНП «Новая наука»*; 2021. С. 131-133.
 15. ALEKSANDROV N.M., VESHAEV I.D. NEW FINGER RECONSTRUCTION TECHNOLOGIES USING 3D PRINTING. *GENIJ ORTOPEDII*. 2024;(30):427-437.
 16. FAN D., LIU Y., WANG Y., ET AL. 3D PRINTING OF BONE AND CARTILAGE WITH POLYMER MATERIALS [INTERNET]. FRONTIERS. AVAILABLE FROM: [HTTPS://WWW.FRONTIERSIN.ORG/JOURNALS/PHARMACOLOGY/ARTICLES/10.3389/FPHAR.2022.1044726/FULL](https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2022.1044726/full). ACCESSED: 13.10.2024.
 17. KLYSHNIKOV K.A., SAZONOVA N.V., POPKOV A.V. COMBINED OSTEOSYNTHESIS FOR TIBIAL SHAFT FRACTURE TREATMENT. *GENIJ ORTOPE-DII*. 2023;(29):635-639.
 18. KOMPANTSEV D.V., IVANITSKAYA YA.A. DEVELOPMENT OF SUBSTANCE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF OSTEOINDUCTIVE MATERIALS [INTERNET]. HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY. AVAILABLE FROM: [HTTPS://WWW.HFB-MGUPP.COM/JOUR/ARTICLE/VIEW/115/139](https://www.hfb-mgupp.com/jour/article/view/115/139). ACCESSED: 20.10.2024.
 19. LUO G., ZHANG Y., WANG X., ET AL. INDIVIDUALIZED 3D PRINTING-ASSISTED REPAIR AND RECONSTRUCTION OF NEOPLASTIC BONE DEFECTS AT IRREGULAR BONE SITES. *BMC MUSCULOSKELET DISORD*. 2022;(22):4 p.
 20. QIN S., ZANG J., GUO B. ILIZAROV TECHNOLOGY AND CHINESE PHILOSOPHY (TO COMMEMORATE THE 100TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF PROFESSOR ILIZAROV). *GENIJ ORTOPEDII*. 2021;(27):291-295.