

DOI: <https://doi.org/10.17816/KMJ641819>

УДК 616.71-003.93:004.923



Современные возможности применения 3D-технологий для лечения дефектов костной ткани

С.В. Брагина, К.О. Бокарева, Г.О. Епифанцев, И.А. Полякова

Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Применение 3D-технологий позволяет достичь более точного планирования оперативных вмешательств в сложных случаях локального дефицита костной ткани, адаптировать их к анатомическим особенностям конкретного пациента, улучшая прогноз и снижая риск возможных осложнений, ускорить результаты восстановления пациентов в послеоперационном периоде. Для анализа информации о современных возможностях трёхмерной печати при оперативном лечении дефектов костной ткани таза, тазобедренного сустава мы использовали данные открытых электронных баз научной литературы PubMed, eLibrary.Ru, Scopus, Dimensions глубиной поиска до 10 лет. В обзоре рассмотрены основные тенденции и достижения в направлении использования 3D-технологий в медицине, способствующие снижению периоперационных рисков и улучшению качества жизни пациентов при дефектах костной ткани. Взгляд сфокусирован на проблеме ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава и онкологической патологии таза с возможностью применения современных аддитивных технологий с целью повышения качества лечения и результативности вмешательств. Описана методика 3D-сканирования для создания индивидуальных имплантатов. Продемонстрированы перспективы использования 3D-печати, актуальные способы применения аддитивных технологий в практической медицине. Современные 3D-технологии играют значительную роль в совершенствовании результатов хирургического вмешательства при дефиците костного скелета: аддитивные технологии позволяют индивидуализировать лечебный процесс, ускоряя выздоровление и улучшая прогноз пациента в будущем. Появляются перспективные направления, значительно расширяющие спектр проводимых реконструктивных операций, снижающие риски возникновения осложнений, что улучшает качество жизни пациентов и оптимизирует деятельность хирурга.

Ключевые слова: дефекты костной ткани; ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава; 3D-технологии; 3D-печать.

Как цитировать:

Брагина С.В., Бокарева К.О., Епифанцев Г.О., Полякова И.А. Современные возможности применения 3D-технологий для лечения дефектов костной ткани // Казанский медицинский журнал. 2025. Т. 106, № 2. С. 235–242. doi: <https://doi.org/10.17816/KMJ641819>

DOI: <https://doi.org/10.17816/KMJ641819>

Current applications of 3D technologies in the treatment of bone tissue defects

Svetlana V. Bragina, Karina O. Bokareva, Gleb O. Epifantsev, Irina A. Polyakova

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

The use of 3D technologies offers more precise planning of surgical procedures in complex cases of localized bone tissue deficiency, allowing adaptation to individual anatomical features, improved outcomes, reduced risk of complications, and faster postoperative recovery. To analyze the current capabilities of three-dimensional printing in the surgical management of pelvic and hip bone defects, we reviewed scientific literature available in open-access databases including PubMed, eLibrary.Ru, Scopus, and Dimensions, with a search depth of up to 10 years. This review highlights major trends and advances in the medical application of 3D technologies aimed at reducing perioperative risks and improving patients' quality of life in the context of bone tissue defects. Particular focus is placed on revision hip arthroplasty and pelvic oncologic conditions, where modern additive manufacturing technologies can enhance treatment quality and surgical outcomes. The methodology of 3D scanning for designing patient-specific implants is described. The review also demonstrates current and promising applications of 3D printing in clinical practice. Modern 3D technologies, particularly additive manufacturing, play an important role in improving surgical outcomes for skeletal deficiencies by enabling personalized treatment, expediting recovery, and improving patient prognosis. Emerging directions significantly expand the range of available reconstructive procedures, reduce the risk of complications, and ultimately improve patient quality of life and surgical efficiency.

Keywords: bone tissue defects; revision hip arthroplasty; 3D technologies; 3D printing.

To cite this article:

Bragina SV, Bokareva KO, Epifantsev GO, Polyakova IA. Current applications of 3D technologies in the treatment of bone tissue defects. *Kazan Medical Journal*. 2025;106(2):235–242. doi: <https://doi.org/10.17816/KMJ641819>

АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время активными темпами развиваются 3D-технологии, которые позволяют создавать индивидуализированные имплантаты из различных полимерных материалов, а также дают возможность моделировать отдельные анатомические области для лучшей визуализации и подготовки к оперативному вмешательству, что, в свою очередь, снижает операционные риски, вероятность развития осложнений и сокращает длительность операции [1]. Возможности использования 3D-печати (3DP) появились в практике с 80-х гг. XX века, когда Чак Холл в 1984 году получил патент «Устройство для производства трёхмерных объектов методом стереолитографии» [2]. Трёхмерная печать — это роботизированная технология, которая в связи с востребованностью развивается быстрыми темпами для всех отраслей, особенно биомедицинской инженерии. Целью 3DP является создание точных моделей для проведения сложных и индивидуальных вмешательств, направленных на восстановление органов пациента, доставку лекарств, улучшение процессов визуализации, проектирования персонализированных дозоспецифичных препаратов, разработку 3D-моделей органов для планирования операций и понимания патологии заболеваний, производство экономически эффективных хирургических инструментов, а также изготовление имплантатов и устройств для замены органов и продления жизни пациентов и т. д. [3]. Для создания протезов и имплантатов повсеместно используется 3DP объектов из полимерных материалов, также выполняется непосредственно печать живыми клетками [1]. Особенно продвигается трёхмерная печать в ортопедической хирургии [4]. Она востребована по четырём основным клиническим направлениям при операциях на тазобедренном суставе (ТБС) и тазу:

- 1) создание анатомических моделей для планирования и моделирования операций в предоперационном периоде;
- 2) изготовление индивидуальных наборов хирургических инструментов для пациентов;
- 3) 3D-аддитивное производство протезов;
- 4) печать на 3D-принтере индивидуальных протезов [4, 5].

Проблема эндопротезирования ТБС (ЭТБС) становится всё более актуальной, поскольку частота поражений данной области ежегодно увеличивается ввиду появления новых случаев коксартрозов, переломов шейки бедра, травм и их осложнений, например, аваскулярного некроза головки бедренной кости, аутоиммунных заболеваний, новообразований и метастазирования в область ТБС и иных нозологий [4]. Правильно выполненное ЭТБС способно значительно улучшить качество жизни пациентов, уменьшить боль и восстановить подвижность сустава [6, 7]. В настоящее время первичное ЭТБС вошло в рутинную практику врача — травматолога-ортопеда. Успешное выполнение ЭТБС требует не только опыта и мастерства

хирурга, но и использования современных технологий и оборудования. Существует широкий спектр инновационных методик, которые помогают повысить эффективность операций, сократить реабилитационный период и уменьшить риск осложнений [8]. Их использование играет значительную роль в улучшении результатов ЭТБС [6]. Современные материалы и технологии позволяют добиться более точной посадки имплантата, снизить риск осложнений и улучшить функциональные результаты. Сложные случаи первичного и особенно ревизионного ЭТБС требуют участия дополнительных материалов для укрепления кости и закрытия дефектов [9, 10].

ОПИСАНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗА И ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Принцип работы 3D-сканирования для создания индивидуальных имплантатов

Ключевым этапом подготовки стабильного и биомеханически функционального протеза является предварительное сканирование области оперативного вмешательства, выявление её дефектов и подбор наиболее рациональной формы эндопротеза, его позиционирования на месте имплантации. На основании полученных данных проектируются подходящие методики остеointеграции и способы фиксации элемента с учётом уникальной архитектуры костной ткани и расположения прилежащих мягких тканей с сосудисто-нервными пучками [11, 12]. Реконструкция таза производится на основании результатов компьютерной томографии (КТ); толщина срезов, как правило, варьирует в диапазоне 0,5–1 мм. Помимо этого, данные о состоянии органа можно получить через иные методы инструментальной диагностики: ультразвуковое исследование, рентгенография, магнитно-резонансная томография [13]. Построение изображения может производиться на основании двухмерных снимков, которые инженер-конструктор впоследствии преобразует в трёхмерную модель, либо применяется трёхмерная КТ. Биоинженер визуализирует анатомическую область (в частности, таз) в формате цифровой 3D-модели, предварительно устранив наводки, мягкие ткани. Совместно с лечащим врачом-хирургом происходит доработка цифрового 3D-образца и создание тактильной 3D-модели в масштабе 1:1 с учётом индивидуальных особенностей и дефектов изучаемой области. Имея натуральную модель, оперирующий врач может детально спланировать ход лечения и оптимизировать позиционирование и фиксацию протеза [1, 11]. Создание модели начинается с цифровой проекции полученных инструментальных данных: информацию переносят в программное обеспечение, где происходит формирование 3D-модели на основании томограмм. Альтернативным вариантом является создание прототипа анатомического

объекта без данных 3D-сканирования в системах CAD, CAM. Программное обеспечение позволяет смоделировать индивидуализированный, оптимизированный объект; удостовериться в отсутствии дефектов и погрешностей цифровой детали [15]. При полном соответствии анатомической модели требуемым запросам утверждается её печать и дальнейшее применение в ходе лечения. Слайсинг — переходный этап от компьютерного моделирования к печати, подготавливающий 3D-объект к физической печати посредством разделения модели на последовательность слоёв, которые повторит печатающая головка принтера [14]. Для изготовления индивидуализированных имплантатов применяются технологии быстрого прототипирования (RP), базируемые на послойном формировании 3D-объекта [15], технология SLA — стереолитография, SLS — селективное лазерное спекание, SLM-селективное лазерное плавление [16]. Ответвление данной методики — DMLS — прямое лазерное спекание металлов, основанное на использовании металлических порошков [17]. Создание конструкции происходит путём послойного нанесения материала в соответствии с цифровой моделью, спроектированной инженером-конструктором. Посредством лазерного излучения частицы спекаются как между собой, так и с последующими слоями, формируя полноценное изделие, с учётом анатомических особенностей и костных дефектов конкретного пациента под контролем электро-механической системы зеркал. Преимуществом методики является возможность создания 3D-моделей сложной формы, в том числе с навесными элементами без использования опорных конструкций; готовое изделие требует минимальной механической обработки. SLM-методика позволяет создавать 3D-модели ячеистой структуры, увеличивая показатели остеоинтеграции и снижая экранирование напряжения, адаптируя имплантат к морфологической структуре костной ткани пациента [17].

Преимущества использования 3D-моделирования при планировании операции

Хирургическое лечение в травматологии и ортопедии сопряжено с детальным планированием проведения вмешательства, что располагает к применению 3D-технологий не только с позиции индивидуализации объектов для протезирования, имплантации, но и на этапе предоперационной подготовки [14]. Традиционно для оценки состояния пациента использовались данные инструментальных исследований. Современные технологии позволяют создавать индивидуальные нативные, тактильные 3D-модели области будущего оперативного вмешательства со всей совокупностью персональных дефектов, особенностей пациента, на основании КТ-изображений для планирования хирургической реконструкции [18, 19]. Для подготовки нативной морфологической модели пациентам предварительно проводится КТ с охватом таза и бедренной кости,

толщина среза, как правило, варьирует от 1,0 до 1,25 мм. Данные визуализации переносят в программное обеспечение для пострентгенологической обработки томограмм с последующим моделированием исследуемой области. Печать физической копии 3D-модели производится из полимерных материалов с учётом всех индивидуальных особенностей, дефектов и с акцентом на состоянии вертлужной впадины (для объективной оценки дефектов применяется классификация Paprosky) [6]. Материал для трёхмерной модели должен обладать определёнными свойствами: лёгкостью, прочностью, гибкостью, ударостойкостью, механической устойчивостью. Индивидуализированный подход обеспечивает более высокую степень соответствия эндопротеза анатомическим характеристикам конкретного пациента, что способствует улучшению функционирования сустава после операции [20–22]. Помимо индивидуальных особенностей форм и дефектов костных структур, хирурги сталкиваются с проблемами различных биомеханических свойств, плотности костной ткани, что влияет на процесс ЭТБС, особенности фиксации и отдалённый результат вмешательства [23]. 3D-моделирование анатомической области способствует выбору оптимального имплантата. Для жизнеспособности костного трансплантата необходимы следующие интегральные свойства: остеоиндуктивность — индуцирует дифференциацию остеопrogenиторных клеток (стволовых клеток) в остеогенные линии; остеокондуктивность — благоприятно влияет на пролиферацию остеобластов и проникновение кровеносных сосудов, приводя к образованию остеоида; остеогенность — имплантированный материал трансплантата должен сам интегрироваться с костью реципиента, одновременно поддерживая жизнеспособность клеток [23]. С помощью виртуальных симуляций возможно протестировать различные варианты имплантатов, их расположение в суставе, увеличивая вероятность успешного исхода операции и сокращая время вмешательства [24]. Предоперационная подготовка на тактильной 3D-модели предоставляет хирургу возможность более детально изучить анатомию сустава и спланировать ход оперативного вмешательства, что позволяет сократить время его выполнения, снизить риск послеоперационных осложнений, чрезмерной кровопотери и избыточной анестезиологической нагрузки на пациента [25]. Тем не менее есть авторы, которые сообщают об увеличении времени операции и объёма кровопотери и рекомендуют принятие обоснованных решений при выборе метода лечения [26]. Повышенная точность планирования и выполнения операции позволяет снизить риск послеоперационных осложнений и улучшить общую эффективность вмешательства, акцентируя необходимость дальнейших научных исследований и клинических испытаний [27]. Благодаря более точному планированию операции, меньшим травмам и более быстрому восстановлению после хирургического вмешательства пациенты имеют больше шансов на успешное восстановление и более полноценную активную жизнь после операции [8].

Потенциальные преимущества и вызовы, связанные с использованием 3D-технологий при онкопатологии скелета

Применение 3D-технологий особенно актуально при гемизндопротезировании таза и ТБС после резекционных операций в онкологии [28]. Индивидуальные имплантаты, наиболее часто изготавливаемые из титана, позволяют точно соответствовать резецированному сегменту и более быстро перейти к процессу реабилитации уже ослабленного онкологического пациента [29]. Новообразования таза и ТБС имеют сложную анатомическую локализацию, что затрудняет выполнение оперативных вмешательств и требует индивидуального подхода в каждом случае выполнения резекции поражённой области [30–33]. Онкология — направление медицины, в котором каждый случай как течения заболевания, так и его лечения сугубо индивидуален и требует учёта специфики морфофункционального состояния пациента, компетенции хирурга, течения заболевания [34]. Аддитивные технологии позволяют облегчить выполнение реконструктивных операций и должны применяться с целью индивидуализации лечебного процесса для достижения лучших результатов [35]. В связи с низким уровнем изучения и осведомлённостью медицинских работников и пациентов о возможностях и прогнозах применения аддитивных технологий ведутся дискуссии о их безопасности и долгосрочных результатах при применении, в частности, у онкологических пациентов, что является проблемой 3D-направлений лечения [35, 36]. Таким образом, применение современных 3D-технологий в гемизндопротезировании таза и ТБС является важным шагом в развитии травматологии и ортопедии, онкологии, способствуя повышению эффективности операций и улучшению качества жизни пациентов. К сожалению, в настоящее время во многих больницах по всему миру не хватает биомедицинских инженеров, которые взаимодействуют с ортопедическими хирургами в рамках 3D-технологий, что приводит к потенциальной потере возможности применения трёхмерной печати [37].

ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

Тенденции развития и инновации в области 3D-технологий

Ежегодно потребность в применении аддитивных технологий интенсивно увеличивается, параллельно с этим расширяется диапазон медицинских специальностей, заинтересованных в развитии данного направления [1]. Активнее всего 3D-инновации используются в травматологии и ортопедии [8], нейрохирургии [38, 39], стоматологии [40], в образовательном процессе. Применение аддитивных технологий в нейрохирургии и стоматологии сопряжено с необходимостью успешно, эффективно

и с минимальными рисками постоперационных осложнений производить сложнейшие оперативные вмешательства, требующие использования высокотехнологичных и индивидуализированных имплантатов [14].

Возможные перспективы использования 3D-печати в создании индивидуальных имплантатов

Взросшая потребность в развитии аддитивных технологий мотивирует к созданию усовершенствованных способов, материалов, систем для печати [34]. В течение длительного времени ведутся исследования возможности применения стволовых клеток для послойной печати органов в трансплантологии [42]. Преимуществом данного направления является учёт анатомических особенностей пациента и более высокий шанс успешной трансплантации [41]. Помимо усовершенствования аппаратуры и разработки новых технологий для печати, ведутся активные модификации программного обеспечения, которое является ключевым инструментом, позволяющим применять аддитивные технологии [41]. Совершенствуются методики сбора информации о конструируемой модели, анализа информации об изделии и об анатомических особенностях конкретного пациента, связь полученных данных с технологическим процессом и алгоритмизация рабочего процесса с адаптацией к любому уровню сложности. Процесс преобразования требуемых характеристик запрашиваемого объекта в цифровую модель — это один из основных этапов в разработке имплантата, протеза или любой другой медицинской конструкции, требующий активного внедрения новых разработок и привлечения специалистов [42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая основные этапы исследования, можно отметить, что современные 3D-технологии играют значительную роль в совершенствовании результатов хирургического вмешательства при дефиците костного скелета. Благодаря использованию 3D-моделей, адаптированных к анатомическим особенностям конкретного пациента, хирурги получают возможность более скрупулёзно планировать операцию. Это позволяет улучшить прогнозы успеха вмешательства, снизить риск осложнений и улучшить результаты восстановления. Необходимое условие для внедрения 3D-технологий в клиническую практику — это слаженное взаимодействие биомедицинских инженеров и техников с врачами-специалистами хирургического профиля. В будущем хирург в рабочем процессе будет руководить инструментом 3D-навигации, а все этапы, включая проектирование и печать будут выполняться автоматически. С развитием 3D-технологий в значительной степени расширяется спектр проводимых реконструктивных операций, что, в свою очередь, улучшает качество жизни нуждающихся в подобных операциях пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Б.С.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Б.К.О. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Е.Г.О. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала; П.И.А. — сбор и обработка материала, написание текста.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. B.S.V. — study concept and design, collection and processing of material, writing, editing; B.K.O. — study concept and design, collection and processing of material, writing; E.G.O. — study concept and design, collection and processing of material; P.I.A. — collection and processing of material, writing. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. This work was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Nagibovich OA, Svistov DV, Peleshok SA, et al. Primenenie tehnologii 3D-pechati v medicine. *Clinical Pathophysiology*. 2017;23(3):14–22. EDN: XWJNKD
2. Hull CW, inventor; 3D Systems Inc., assignee. *Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography*. United States patent US 4575330A. 08.08.1984. 11.03.1986.
3. Agarwal P, Arora G, Panwar A, et al. Diverse Applications of Three-Dimensional Printing in Biomedical Engineering: A Review. *3D Print Addit Manuf*. 2023;10(5):1140–1163. doi: 10.1089/3dp.2022.0281 EDN: CXZCRF
4. Mendonça CJA, Guimarães RMDR, Pontim CE, et al. An Overview of 3D Anatomical Model Printing in Orthopedic Trauma Surgery. *J Multidiscip Healthc*. 2023;16(4):875–887. doi: 10.2147/JMDH.S386406 EDN: OSBUMU
5. Woo SH, Sung MJ, Park KS, Yoon TR. Three-dimensional-printing Technology in Hip and Pelvic Surgery: Current Landscape. *Hip Pelvis*. 2020;32(1):1–10. doi: 10.5371/hp.2020.32.1.1 EDN: BDBDDJ
6. Kavalerskii G, Murylev V, Rukin Ya, et al. 3D technologies for revision total hip arthroplasty. *Vrach*. 2016;2016(11):47–49. EDN: XBJKHJ
7. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. Do custom 3D-printed revision acetabular implants provide enough value to justify the additional costs? The health-economic comparison of a new porous 3D-printed hip implant for revision arthroplasty of Paprosky type 3B acetabular defects and its closest alternative. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021;107(1):1–10. doi: 10.1016/j.otsr.2020.03.012 EDN: UBCAXI
8. Qu Z, Yue J, Song N, Li S. Innovations in 3D printed individualized bone prosthesis materials: revolutionizing orthopedic surgery: a review. *Int J Surg*. 2024;110(10):6748–6762. doi: 10.1097/JS9.0000000000001842
9. Fang S, Wang Y, Xu P, et al. Three-dimensional-printed titanium implants for severe acetabular bone defects in revision hip arthroplasty: short- and mid-term results. *Int Orthop*. 2022;46(6):1289–1297. doi: 10.1007/s00264-022-05390-5 EDN: QNWXJG
10. Ranzi A, Lucena RL, Schwartzmann CR, et al. Comparative Study with and without the Use of 3D Prototyping of an Unconventional Technique in the Surgical Planning of Revision of Total Hip Arthroplasty. *Rev Bras Ortop*. 2021;57(5):884–890. doi: 10.1055/s-0041-1731659 EDN: NJMDCW
11. Murylev VY, Kukovenko GA, Elizarov PM, et al. Comparative evaluation of custom-made components and standard implants for acetabular reconstruction in revision total hip arthroplasty. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2023;29(3):18–30. doi: 10.17816/2311-2905-2553 EDN: WTOGWU
12. Min L, Li L, Hu X, et al. Application of modified Gibson combined with modified ilioinguinal approach in treatment of Enneking II+III pelvic malignant tumors with three-dimensional printed hemipelvic prosthesis replacement. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2022;36(7):796–803. doi: 10.7507/1002-1892.202203004
13. Wu Y, Liu J, Kang L, et al. An overview of 3D printed metal implants in orthopedic applications: Present and future perspectives. *Heliyon*. 2023;9(7):e17718. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17718 EDN: HXOLRE
14. Yarikov AV, Gorbato R, Denisov AA, et al. Application of additive 3d printing technologies in neurosurgery, vertebrology and traumatology and orthopedics. *Journal of clinical practice*. 2021;12(1):90–104. doi: 10.17816/clinpract64944 EDN: BFYECO
15. Zhang JW, Liu XL, Zeng YM, et al. Comparison of 3D Printing Rapid Prototyping Technology with Traditional Radiographs in Evaluating Acetabular Defects in Revision Hip Arthroplasty: A Prospective and Consecutive Study. *Orthop Surg*. 2021;13(6):1773–1780. doi: 10.1111/os.13108 EDN: WMQINP
16. Wang W, Liu P, Zhang B, et al. Fused Deposition Modeling Printed PLA/Nano β -TCP Composite Bone Tissue Engineering Scaffolds for Promoting Osteogenic Induction Function. *Int J Nanomedicine*. 2023;18:5815–5830. doi: 10.2147/IJN.S416098 EDN: WVLCYD
17. Zagorodniy NV, Chragyan GA, Kagramanov SV. Application of 3D modeling and prototyping in primary and revision acetabular arthroplasty. In: *Spring Days of Orthopedics: Abstracts of the International Congress, Moscow, March 01–02, 2019*. Zagorodniy NV, editor. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN); 2019. P. 79–81. (In Russ.) EDN: DNRPD
18. Meynen A, Vles G, Roussot M, et al. Advanced quantitative 3D imaging improves the reliability of the classification of acetabular de-

- fects. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(3):1611–1617. doi: 10.1007/s00402-022-04372-x EDN: LENQLI
19. Fu J, Ni M, Zhu F, et al. Reconstruction of Paprosky Type III Acetabular Defects by Three-Dimensional Printed Porous Augment: Techniques and Clinical Outcomes of 18 Consecutive Cases. *Orthop Surg.* 2022;14(5):1004–1010. doi: 10.1111/os.13250 EDN: VMDIGI
20. Li Q, Chen X, Lin B, et al. Three-dimensional technology assisted trabecular metal cup and augments positioning in revision total hip arthroplasty with complex acetabular defects. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):1–9. doi: 10.1186/s13018-019-1478-1 EDN: LWHTGX
21. Xiao C, Zhang S, Gao Z, Tu C. Custom-made 3D-printed porous metal acetabular composite component in revision hip arthroplasty with Paprosky type III acetabular defects: A case report. *Technol Health Care.* 2023;31(1):283–291. doi: 10.3233/THC-212984 EDN: MGFGLD
22. Wang J, Min L, Lu M, et al. Three-dimensional-printed custom-made hemipelvic endoprosthesis for the revision of the aseptic loosening and fracture of modular hemipelvic endoprosthesis: a pilot study. *BMC Surg.* 2021;21(1):1–10. doi: 10.1186/s12893-021-01257-5 EDN: OMZIRL
23. Chinnasami H, Dey MK, Devireddy R. Three-Dimensional Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Bioengineering.* 2023;10(7):1–32. doi: 10.3390/bioengineering10070759 EDN: ITHZDP
24. Okolie O, Stachurek I, Kandasubramanian B, Njuguna J. 3D Printing for Hip Implant Applications: A Review. *Polymers.* 2020;12(11):1–28. doi: 10.3390/polym12112682 EDN: IEFXFE
25. Zhang BH, Fu J, Zhang GQ, et al. The reconstruction techniques and mid-term clinical outcomes of hip revision for acetabular bone defect after total hip arthroplasty. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2024;62(9):836–846. doi: 10.3760/cma.j.cn112139-20240514-00243
26. Hu X, Wen Y, Lu M, et al. Biomechanical and clinical outcomes of 3D-printed versus modular hemipelvic prostheses for limb-salvage reconstruction following periacetabular tumor resection: a mid-term retrospective cohort study. *J Orthop Surg Res.* 2024;19(1):1–17. doi: 10.1186/s13018-024-04697-w EDN: TLTXEF
27. Henckel J, Holme TJ, Radford W, et al. 3D-printed Patient-specific Guides for Hip Arthroplasty. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.* 2018;26(16):342–348. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00719
28. Liu X, Luo Y, He X, et al. Three-dimensional-printed hemi-pelvic prosthesis for revision of aseptic loosening or screw fracture of modular hemi-pelvic prosthesis. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2023;37(10):1183–1189. doi: 10.7507/1002-1892.202306073
29. Zheravin AA, Taranov PA, Krasil'nikov SE, et al. Implementation of innovative additive technologies in medical practice. *Opinion Leader.* 2021;46(5):32–36. (In Russ.) EDN: HDXFTJ
30. Joviić MŠ, Vuletić F, Ribiić T, et al. Implementation of the three-dimensional printing technology in treatment of bone tumours: a case series. *Int Orthop.* 2021;45(4):1079–1085. doi: 10.1007/s00264-020-04787-4 EDN: AIKFYB
31. Hu X, Lu M, Wang Y, et al. Advanced Pelvic Girdle Reconstruction with three dimensional-printed Custom Hemipelvic Endoprosthesis following Pelvic Tumour Resection. *Int Orthop.* 2024;48(8):2217–2231. doi: 10.1007/s00264-024-06207-3 EDN: PZTFSX
32. Li Z, Chen G, Xiang Y, et al. Treatment of massive iliac chondrosarcoma with personalized three-dimensional printed tantalum implant: a case report and literature review. *J Int Med Res.* 2020;48(10):1–10. doi: 10.1177/0300060520959508 EDN: ZBWCES
33. Angelini A, Kotrych D, Trovarelli G, et al. Analysis of principles inspiring design of three-dimensional-printed custom-made prostheses in two referral centres. *Int Orthop.* 2020;44(5):829–837. doi: 10.1007/s00264-020-04523-y EDN: BKKPVQ
34. Peng W, Zheng R, Wang H, Huang X. Reconstruction of Bony Defects after Tumor Resection with 3D-Printed Anatomically Conforming Pelvic Prostheses through a Novel Treatment Strategy. *Biomed Res Int.* 2020;2020(1):1–16. doi: 10.1155/2020/8513070 EDN: AXNWOA
35. Wang J, Min L, Lu M, et al. What are the Complications of Three-dimensionally Printed, Custom-made, Integrative Hemipelvic Endoprosthesis in Patients with Primary Malignancies Involving the Acetabulum, and What is the Function of These Patients? *Clin Orthop Relat Res.* 2020;478(11):2487–2501. doi: 10.1097/CORR.0000000000001297 EDN: HAPNGZ
36. Agaev DK, Sushentsov EA, Sofronov DI, et al. The use of computer modeling and 3d-technologies in oncoorthopedia. Literature review. *Bone and soft tissue sarcomas, tumors of the skin.* 2019;11(4):5–16. EDN: NIPJUT (In Russ.).
37. Aguado-Maestro I, Simón-Pérez C, García-Alonso M, et al. Clinical Applications of “In-Hospital” 3D Printing in Hip Surgery: A Systematic Narrative Review. *J Clin Med.* 2024;13(2):1–16. doi: 10.3390/jcm13020599 EDN: EWMWQT
38. Lewandrowski KU, Vira S, Elfar JC, Lorio MP. Advancements in Custom 3D-Printed Titanium Interbody Spinal Fusion Cages and Their Relevance in Personalized Spine Care. *J Pers Med.* 2024;14(8):1–31. doi: 10.3390/jpm14080809 EDN: EWFBTB
39. Lee JJ, Jacome FP, Hiltzik DM, et al. Evolution of Titanium Interbody Cages and Current Uses of 3D Printed Titanium in Spine Fusion Surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2024. doi: 10.1007/s12178-024-09912-z EDN: VXAHBQ
40. Qin H, Wei Y, Han J, et al. 3D printed bioceramic scaffolds: Adjusting pore dimension is beneficial for mandibular bone defects repair. *J Tissue Eng Regen Med.* 2022;16(4):409–421. doi: 10.1002/term.3287 EDN: TDFGGC
41. Kotel'nikov GP, Kolsanov AV, Nikolaenko AN, et al. Application of 3D modeling and additive technologies in personalized medicine. *Bone and soft tissue sarcomas and skin tumors.* 2017;2017(1):20–26. (In Russ.)
42. Shkrum AS, Katasonova GR. Trends in the use of additive technologies in various subject areas and in the medical field. *Ural'skij medicinskij zhurnal.* 2020;188(05):216–220. doi: 10.25694/URMJ.2020.05.38 EDN: NVQJGY

ОБ АВТОРАХ

*** Брагина Светлана Валентиновна**, канд. мед. наук, доцент, зав. каф., каф. травматологии, ортопедии и военной хирургии; адрес: Россия, 163069, Архангельск, пр-т Троицкий, д. 51; ORCID: 0000-0002-0900-4572; eLibrary SPIN: 5490-9821; e-mail: svetabragina69@mail.ru

Бокарева Карина Олеговна, студ. VI курса, лечебный факультет; ORCID: 0009-0001-6924-3233; eLibrary SPIN: 6406-1075; e-mail: bokarkar@yandex.ru

Епифанцев Глеб Олегович, студ. VI курса, лечебный факультет; ORCID: 0009-0002-3881-8417; eLibrary SPIN: 2760-1987; e-mail: rozgles@yandex.ru

Полякова Ирина Алексеевна, студ. VI курса, лечебный факультет; ORCID: 0009-0001-1717-2752; eLibrary SPIN: 9023-8516; e-mail: pirinka51@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Svetlana V. Bragina**, Cand. Sci. (Med.), Assistant Prof., Head of Depart., Depart. of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery; address: 51 Troitsky ave, Arkhangelsk, Russia, 163069; ORCID: 0000-0002-0900-4572; eLibrary SPIN: 5490-9821; e-mail: svetabragina69@mail.ru

Karina O. Bokareva, 6th year stud., Depart. of General Medicine; ORCID: 0009-0001-6924-3233; eLibrary SPIN: 6406-1075; e-mail: bokarkar@yandex.ru

Gleb O. Epifantsev, 6th year stud., Depart. of General Medicine; ORCID: 0009-0002-3881-8417; eLibrary SPIN: 2760-1987; e-mail: rozgles@yandex.ru

Irina A. Polyakova, 6th year stud., Depart. of General Medicine; ORCID: 0009-0001-1717-2752; eLibrary SPIN: 9023-8516; e-mail: pirinka51@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author