

УДК 616–77

Фарвазев А.А., Карпова Н.А., Кайбушева Я.Э.

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**Научный руководитель – д. м. н., профессор Л. Т. Гильмутдинова, к. м. н.,
доцент Э. Р. Фаизова**

Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа

Внедрение инновационных технологий в окружающий мир становится неотъемлемой частью жизни землян. Современная медицина под влиянием стремительно развивающихся естественных наук и технического прогресса претерпевает значительные изменения. Происходит активный прорыв аддитивных 3D-технологий в нашу жизнь и медицину. Авторы исследовали возможности использования аддитивных технологий в медицине.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-объект, 3D-печать, 3D-принтер.

Farvazev A.A., Karpova N.A., Kaibusheva Y.E.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN MEDICINE (LITERATURE REVIEW)

**Scientific supervisor – MD, Professor L. T. Gilmutdinova, PhD,
Associate Professor E. R. Faizova**

Bashkir State Medical University, Ufa

The introduction of innovative technologies into the world around us is becoming an integral part of the life of earthlings. Modern medicine is undergoing significant changes under the influence of rapidly developing natural sciences and technological progress. There is an active breakthrough of additive 3D technologies in our lives and medicine. The authors investigated the possibilities of using additive technologies in medicine.

Keywords: additive technologies, 3D object, 3D printing, 3D printer.

Точность – один из ключевых факторов в медицине, т. к. малейшая ошибка в расчетах может привести к фатальным последствиям. Аддитивные технологии позволяют синтезировать изделия посредством их послойного наращивания, создавая копию оригинальной анатомической области с сохранением всех деталей. В сравнении с традиционными методами 3D-печать дает свободу проектирования, высокую точность при создании конечных продуктов и возможность печати уникальных изделий со сложной геометрией, что открывает путь к быстрому и экономичному производству.

Цель работы

Провести анализ возможностей использования аддитивных технологий в медицине и реабилитации.

Материал и методы исследования

В ходе работы был проведен анализ новейшей научной литературы и результатов исследований о возможностях использования аддитивных технологий в медицине.

Результаты и обсуждения

В начале 80-х годов прошлого столетия впервые разработаны способы создания деталей посредством последовательного наращивания материала температурным, клеевым или иными способами. Американский исследователь Charles W. Hall в 1984 г. предложил технологию создания 3D-объектов на основе цифровых данных, в 1986 г. запатентовал свое изобретение под названием «стереолитография» (stereolithography, или SLA), разработал первый промышленный станок для 3D-печати и основал компанию 3D Systems. В 1987 г. исследователи Техасского университета (Carl Deckard, Joe Beaman) разработали и запатентовали технологию селективного лазерного спекания (Selective Laser Sintering, или SLS). В 1995 г. учеными Массачусетского университета впервые предложен термин «3D-печать». В 2013 году врачи из США впервые провели операцию по замене около 70% костей черепа человека, пострадавшего в автокатастрофе, титановым протезом, напечатанном на 3D-принтере с помощью трехмерной печати. Позже американская компания Conformis впервые вживила пациенту коленный сустав нового поколения с применением аддитивных технологий с помощью компьютерной томографии и печати протеза. Раньше для замены коленного сустава приходилось долго подбирать искусственный протез для благополучного приживания имплантата. Для лечения онкологических больных создается трехмерная модель опухоли, чтобы рассчитать дозу облучения при радиотерапии. Эта модель точно воспроизводит опухоль с окружающими органами реального человека, что позволяет точно рассчитать процесс уничтожения раковых клеток и сохранения здоровых тканей человека [4]. В России в 2015 г. выполнена первая операция по эндопротезированию тазобедренного сустава с применением индивидуального ацетабулярного компонента, изготовленного на 3D-принтере. В 2018 году британские ученые впервые смогли напечатать роговицу на 3D-принтере. В период пандемии COVID-19 во всем мире 3D-печать стала оказывать реальную помощь в изготовлении защитных средств (респираторы, маски, экраны), оборудования для вентиляции легких (Великобритания).

Благодаря изобретению и последующему применению технологии многослойного моделирования наука совершила невообразимый скачок вперед. 3D-принтеры привели к большому прорыву в медицине, а технологии многослойного 3D формования помогли вернуть к привычной жизни многих людей с нарушениями функционирования [3]. Новые технологии пришли на смену старым, используя более дешевые и практичные материалы. 3D-печатные изделия становятся доступными для всех пациентов. Время изготовления протезов и других недостающих в организме человека элементов сокращается, а применение аддитивных технологий в медицине растет. Сегодня медицинская наука стремится создавать полноценные органы для трансплантации путем 3D-печати живых человеческих тканей индивидуально для пациента с использованием его собственных здоровых клеток. Аддитивные технологии

позволили послойно наращивать и синтезировать 3D объекты для моделей предоперационного планирования, печати индивидуальных ортезов, инструментов и имплантатов, замещающих костные и суставные дефекты. 3D-принтеры могут печатать реальные трехмерные объекты с использованием пластика, нейлона или стеклянного порошка на основе разработанной виртуальной модели. Существует несколько технологий пластиковой 3D-печати: моделирование методом послойного наплавления (FDM), лазерная стереолитография (SLA) и селективное лазерное спекание (SLS). Первая использует термопластиковую нить или гранулы, вторая – фотополимерную смолу, третья – полиамидные или модифицированные порошки. Процесс изготовления 3D-объекта включает основные этапы:

- 1) Создание виртуальной модели с помощью программы 3D-моделирования. Этот этап длится от нескольких минут до нескольких дней.
- 2) Перевод готовой модели в STL-формат с указанием степени детализации и плотности наращиваемых слоев, от чего зависит качество готового продукта.
- 3) Печать. Расплавленная пластиковая нить выдавливается через специальное сопло, последовательно создавая плотно сжатые, не различимые человеческим глазом слои, «вырастающие» в физический объект.

С помощью 3D-устройств можно создавать не только сувениры, но и предметы, необходимые для полноценной жизни человека, например протезы [1]. Многочисленными исследованиями доказано, что аддитивные технологии в медицинской сфере имеют неоспоримые преимущества: быстрота изготовления; легкость напечатанных изделий; биосовместимость материалов; учет индивидуальных особенностей пациента; возможность создания конструкций любой сложности; экономия трудовых и материальных ресурсов; снижение себестоимости изделий; большой выбор инновационных материалов. На 3D-принтерах протезы можно напечатать гораздо быстрее. Стандартный протез значительно дороже изготовленного на 3D-принтере. 3D-печатный продукт имеет пористую структуру, благодаря чему протез может быстро питаться биологическими тканями, при этом готовое изделие быстро обрастает костной тканью и становится полноценной частью скелета человека. 3D материал легкий, и его вес регулируется по потребностям потребителя. Для протезов, созданных с помощью 3D-печати, характерны идеальная точность соединения с телом и отсутствие реакции отторжения. Создание протезов на 3D-принтере обходится дешевле и требует меньше времени. [2].

Использование аддитивных технологий в медицинской реабилитации позволит значительно улучшить ее эффективность. Сегодня на 3D-принтере изготавливают модели частей тела и протезы, а в перспективе обычной практикой станет 3D-печать искусственных органов

и лекарств. Реализация проектов сложного протезирования в ранние сроки (до двух месяцев после ампутации) с использованием 3D-сканирования и 3D-печати показала высокую эффективность раннего протезирования до обеспечения протезами по ИПРА. У первично протезированных пациентов с ампутационными дефектами нижних конечностей наблюдается большая динамика повышения скорости шага за время наблюдения в сравнении с пациентами, проходящими повторное протезирование, и обеспеченными протезами с приемными гильзами, изготовленными по цифровой технологии. Пациенты отметили облегчение фантомных болей, психоэмоционального и физического состояния, были удовлетворены достигнутыми первичными результатами частичного восстановления мобильности и способности к самообслуживанию в ранние сроки после ампутации и обучения пользованию [1].

Лаборатория аддитивных технологий Института фундаментальной медицины ФГБОУ ВО БГМУ реализует проекты по разработке перспективных материалов и технологий изготовления персонифицированных имплантатов. В рамках гранта НОЦ-РМГ в течение 2022 года было изготовлено более 3000 образцов керамических изделий для проведения механических и доклинических испытаний на клеточных культурах, в 2023 году запущены исследования на лабораторных животных. В лаборатории проводятся исследования материалов отечественного производства с целью приготовления керамической пасты, пригодной для аддитивного производства керамических изделий. Разработанные материалы обладают свойством биodeградации и одновременной стимуляции замещения костного дефекта собственными клетками организма. Производство биомедицинских керамических имплантатов на территории РФ способно удовлетворить потребности медицинских учреждений для лечения пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата и травматическими повреждениями скелета.

Заключение и выводы

Области применения 3D-принтеров в медицине стремительно расширяются с каждым годом, позволяя экономить время оказания медицинской помощи, снизить производственные расходы и стоимость конечных изделий. Аддитивные технологии не только продляют жизнь пациентов, но и улучшают ее качество, что является ключевым аспектом медицинской реабилитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин М. А., Янковский В. М., Клименко Ф. Н., Черникова М. В., Фогт Е. В., Суфэльфа А. Р., Петраускас М. В., Щербина К. К. Применение аддитивных технологий при первичном протезировании конечностей // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 2. – С. 36–44

2. Создание протеза с помощью 3D-принтера: [Электронный ресурс] //3DM; URL: <https://3dmm.ru/2017/01/21/sozdanie-protezoov-s-pomoshhyu-3d-pechati-na-3d-printere/>
3. 3D-принтеры в медицине — область применения и перспективы развития печати: [Электронный ресурс] // Science Debate. Научно-популярный блог; URL: <http://www.sciencedebate2008.com/3d-printery-v-meditsineoblast-primeneniya-i-perspektivy-razvitiya-pechati>
4. 3D-принтеры и их возможности: [Электронный ресурс] //Tehnopanorama; URL: <https://tehnopanorama.ru/orgtehnika/3d-printery-i-ih-vozmozhnosti.html>
5. 3D-принтер совершит революцию в лечении рака: [Электронный ресурс] //Топ Ихиллов; URL: https://www.topichilov.com/novosti_medicini/3d-printer-i-rak/

Сведения об авторах статьи:

1. **Фарвазев Арсен Азаматович** - студент 4 курса педиатрического факультета ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, ул. Ленина 3, e-mail: arsenfarvaz@gmail.com
2. **Карпова Наталья Артёмовна** - студент 4 курса педиатрического факультета ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, ул. Ленина 3, e-mail: Ufarehab@yandex.ru
3. **Кайбушева Яна Эдуардовна** - студент 4 курса педиатрического факультета ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, ул. Ленина 3, e-mail: Ufarehab@yandex.ru