

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

Корниенко Н.А.<sup>1</sup>, Корниенко А.А.<sup>2</sup>, Чаплыгина Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, e-mail: gelo2007@bk.ru;

<sup>2</sup>Ростовская областная клиническая больница № 1, Ростов-на-Дону

---

Трехмерные технологии прочно входят в различные сферы наук. Не исключением стала и медицина. 3D-технологии очень активно применяются в сфере здравоохранения. Более того, с каждым годом они становятся все совершеннее и экономичнее. Трехмерные технологии в медицине предоставляют огромные возможности, позволяя значительно поднять уровень качества оказания медицинских услуг. С развитием технологий и медицины всё больше современных разработок и открытий относится к сфере медицинской визуализации. Эти технологии включают в себя большинство неинвазивных методов отображения информации, самыми распространенными из которых являются КТ (компьютерная томография) и МРТ (магнитно-резонансная томография). Все чаще в медицине используются технологии 3D-печати. С развитием струйной биопечати стало возможно формировать высокоточные объемные органические модели при использовании специализированного биоматериала, а с появлением технологии микроэкструзионной биопечати появилась возможность наложения клеток с очень высокой плотностью. В хирургии 3D-печать используется для моделирования органа и проведения тщательного планирования предстоящего вмешательства, используя физический макет. Технологии дополненной реальности позволяют оперирующим хирургам обладать доступом к данным МРТ, КТ или сцинтиграфии, спроецированным на пациента во время операции.

---

Ключевые слова: 3D-технологии, медицина, неврология, кардиология, кардиохирургия.

## TOPICAL ISSUES OF USING 3D TECHNOLOGIES IN MEDICINE

Kornienko N.A.<sup>1</sup>, Kornienko A.A.<sup>2</sup>, Chaplygina E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rostov state medical university, Rostov-on-Don, e-mail: gelo2007@bk.ru;

<sup>2</sup>Rostov regional hospital №1, Rostov-on-Don

---

Three-dimensional technology is firmly embedded in various fields of science. Medicine was not an exception. 3D technologies are very actively used in healthcare. Moreover, every year they are becoming more and more economical. Three-dimensional technologies in medicine provide great opportunities, allowing to significantly raise the level of quality of medical services. With the development of technology and medicine, more and more modern developments and discoveries are related to the field of medical imaging. These technologies include the majority of non-invasive methods of information display, the most common of which are CT (computed tomography) and MRI (magnetic resonance imaging). Increasingly, in medicine, 3D printing technologies are used. With the development of inkjet bioprinting, it became possible to form high-precision volumetric organic models with specialized use of biomaterial, and with the advent of microextrusion bioplast technology, it became possible to superimpose cells with very high density. In surgery, 3D printing is used to model the organ and conduct careful planning for the upcoming intervention, using a physical layout. Augmented reality technologies allow surgeons to have access to MRI, CT or scintigraphy data, projected onto the patient during surgery.

---

Keywords: 3D technologies, medicine, neurology, cardiology, cardiac surgery.

Применение технологий дополненной реальности может в скором времени стать настоящим прорывом в сфере здравоохранения. В некоторых медицинских специальностях они уже успешно используются для подготовки врачей, а также для помощи в постановке диагноза. Широкое применение технологии дополненной реальности нашли в обучении студентов-медиков, позволяя «заглянуть» в тело пациента, как это можно сделать, например, при помощи приложения MITK pille для iPad, или пропальпировать виртуальную бедренную артерию с помощью приложения PalpSim. Однако на этом возможности применения виртуальной реальности не заканчиваются [1].

**Целью исследования** стал обзор достигнутых нововведений в медицине, достигнутый при помощи 3D-технологий, а именно – 3D-печати, инструментов 3D-визуализации, таких как КТ и МРТ, и технологий дополненной реальности. Также в ходе исследования была произведена оценка перспектив применения 3D-технологий в медицине.

### **Материалы и методы**

В ходе исследования были рассмотрены примеры применения технологий дополненной реальности, 3D-печати, систем 3D-визуализации в литературных данных, опубликованных с 2011 по 2017 год, и оценены перспективы развития данных технологий в медицине. Так, согласно Канадскому журналу по кардиологии [2], год назад хирург варшавского Института Кардиологии Максимилян П. Ополски провел операцию по восстановлению кровотока в закупоренной правой коронарной артерии 49-летнего мужчины при помощи «умных» очков Google Glass. Тодд Демми, глава Университета Рака Ратджерс в Нью-Джерси поясняет, что данное устройство позволяет отображать поверх окружающей действительности информацию (визуальную или какую-либо еще), которая помогает повысить качество выполняемой операции [3]. Подобные технологии помогают увидеть структуры, находящиеся в глубине, а не на поверхности органа, или как минимум иметь представление о том, где они находятся. Это позволит значительно увеличить эффективность хирургических процедур, как считает Марк Берри, Стэнфордский университет, Калифорния [3]. Доктор Атаваль рассказывает, что, помимо всего, такие устройства могут быть оснащены защитными линзами от радиационного излучения. По его словам, компактные переносные устройства имеют огромный потенциал в оптимизации чрескожной реваскуляризации, а также могут способствовать улучшению условий повседневной деятельности кардиохирургов [4]. Научно-исследовательский институт Робартс при патологии митрального клапана, вызванной разрывом сухожильных нитей, соединяющих сосочковые мышцы со створками клапана, предлагает использовать возможности технологии дополненной реальности для получения хирургом доступа к поврежденному клапану на работающем сердце. Исследования показали, что использование данного подхода значительно ускоряет ход операции и повышает ее безопасность по сравнению со стандартным подходом к лечению данной патологии [5]. Новая технология создания виртуальных моделей сосудов, способная сделать лечение аневризмы брюшной аорты более безопасным, была представлена доктором Ж. Соулецом на Конгрессе Европейского общества сердечно-сосудистой и радиологической хирургии в 2015 году [6]. Чтобы избежать разрыва аневризмы брюшной аорты, существует два пути лечения: открытая операция по замене пораженного участка и эндоваскулярное шунтирование, при котором стент-трансплантат доставляется к аневризме через кровеносный сосуд. Второй вариант

малоинвазивнее, однако он не подходит некоторым пациентам вследствие морфологии аневризмы [7]. Исследование доктора Соулеца позволяет получить трехмерные изображения всех компонентов аневризмы: просвета, тромба или сгустка, стенки и кальцификации. В последнее время возрастает интерес к использованию технологии магнитно-резонансной томографии из-за способности хорошо контрастировать мягкие ткани и отсутствия ионизирующего радиационного воздействия в сравнении с традиционной рентген-хирургией [8]. С одной стороны, получение трехмерного изображения перед операцией ограничено вследствие того, что во время операции сердце подвижно. В то же время при регистрации двухмерного изображения в реальном времени страдает качество получаемых данных. Актуальной задачей является объединение преимуществ получения изображения в реальном времени с точной и качественной визуализацией анатомических структур. Исследователи использовали подход, при котором использовался расширенный алгоритм обработки потока данных для извлечения из него структур от более плотных к более тонким, чтобы впоследствии расположить их в иерархическом порядке в соответствии с размером. Ошибка в показаниях при обработке данных, регистрируемых у испытуемого, составила всего 1.51 мм [9].

Израильская система визуализации для операционных призвана перевернуть мир медицины в ближайшее время. Эта цифровая технология, не требующая специальных очков или экрана, дает сверхреалистичное трехмерное голографическое изображение «парящих в воздухе» структур тела. Врач может буквально потрогать трехмерный объект, повзаимодействовать с ним, что делает систему беспрецедентным инструментом для планирования и проведения малоинвазивных операций [10]. По словам Марка Берри (Стэнфордский университет, Калифорния), при помощи предварительной трехмерной визуализации органа можно распланировать операцию от начала до конца и приблизительно сказать, сколько на нее потребуется времени. Врач видит парящее динамическое изображение, например работающее сердце или плод, движущийся в утробе матери, и может манипулировать этим изображением, руководя реальной хирургической операцией. Шауль Гельман рассказывает о новой системе, состоящей из двух подсистем: первая может захватывать трехмерные данные от ультразвуковых аппаратов, КТ, МРТ, или даже с вашего компьютера, только вместо того чтобы использовать эти данные для печати, при помощи уникального ПО и оборудования создается голограмма, которая воссоздается в свободном пространстве электрооптической системой [11]. Такие технологии имеют огромные перспективы, уже сейчас о преимуществах их практического применения говорят многие специалисты. Так, Эйнат Бирк, директор Института детской кардиологии в Детском медицинском центре Шнайдер рассказывает, что голографическая проекция позволила

изучить трехмерную пространственную анатомию сердца пациента, а также спланировать и оценить воздействие устройств на ткани во время процедуры. Хирургические операции на работающем сердце чрезвычайно сложны, т.к. хирург должен выполнять манипуляции, следуя за быстрыми движениями сердца. Однако при использовании специального робота, непрерывно отслеживающего движения сердца, хирург оперирует так, как будто сердце остановлено. Движения сердца вычисляются по изображениям, полученным при помощи ультразвукового аппарата, что приводит к задержке примерно в 100 мс, если это не будет учтено и скомпенсировано, может привести к повреждению роботизированным инструментом тканей сердца. Исследование показало, что использование устройства, компенсирующего эту задержку, снижает количество ошибок и предоставляет хирургу большие возможности [12]. Операции на работающем сердце требуют точной системы «наведения», которая бы показывала анатомию сердца и его динамику как перед, так и во время операции. В идеале система должна показывать изображение высокого качества, не быть слишком дорогой и легко интегрироваться в клинический рабочий процесс. Однако это трудно осуществимо при помощи изображения одной модальности. Исследователи представили метод синтезирования искусственного четырехмерного изображения из статического изображения КТ и ультразвукового изображения [13].

### **Результаты**

Трехмерная печать – это двигатель инноваций во многих отраслях промышленности и научно-исследовательских областях, таких как проектирование, производство, искусство и, в последнее время, медицина. Общий объем промышленности 3D-биопечати оценивается в 1,47 млрд £ к 2020 году, эта инновация призвана вызвать крупные преобразования в сфере медицины [14].

Предварительная печать трехмерных моделей оперируемых органов может помочь в планировании проведения процедуры, выборе наиболее оптимального пути проведения операции, в учете сложностей, которые могут возникнуть в процессе. Марк Берри (Стэнфордский университет, Калифорния) говорит, что вместо того чтобы полагаться на удачу и опыт, лучше иметь возможность предварительно спланировать операцию от начала и до конца. Распечатанные 3D-модели могут быть подключены к «насосу», имитирующему кровотоки, что позволяет врачам экспериментировать с различными путями проведения эндоваскулярных процедур [15]. Использование 3D-моделей распечатанных сосудов для планирования сложных операций способствует успеху процедуры и лучшим результатам в случае пациентов повышенного риска, особенно при использовании нового устройства или устройства неизвестного производства. Поскольку каждый пациент и ситуация уникальны, возможность проверить устройство на трехмерной модели перед проведением процедуры

позволяет врачам понять, как будут взаимодействовать устройство с тканью пациента, а также как устройство будет располагаться в пространстве [16]. Для создания моделей митральных клапанов пациентов, которые в дальнейшем исследуются в тренажере, имитирующем биение сердца, исследователи предложили использование диагностических транспищеводных трехмерных изображений и технологий 3D-печати. Эти модели могут использоваться для выбора наиболее оптимального и безопасного пути операции [17]. Необходимость такого подхода подтверждается множественной вариабельностью анатомического строения различных структур, как, например, задненижний отдел правого предсердия [18] или венечный синус [19], форма которых зависит от типа телосложения человека. При недавней замене легочного клапана, используя КТ-изображение, Виджей Айер собирался начать с правой бедренной артерии, через правое предсердие, правый желудочек, выносящий тракт правого желудочка к легочному клапану. Однако при прогоне операции на модели сердца пациента, устройство погнулось в правом предсердии. Основываясь на этом, специалисты адаптировали план и использовали более жесткую проволоку [20]. Анжели Челиа, помощник хирурга, комментирует случай проведения операции на младенце с врожденным дефектом сердца. Ввиду малого размера сердца существовали определенные сложности в изучении его анатомического строения. Специалисты воссоздали по снимкам его точную копию, трехмерную модель и поняли, как провести операцию и исправить нарушенную функцию сердечных сосудов и клапанов [21]. В 2014 году на Международном форуме «Открытые инновации» в Москве был представлен первый российский 3D-биопринтер FABION. В Лаборатории биотехнологических исследований 3D-Bioprinting Solutions произведена успешная биопечать органной конструкции щитовидной железы мыши. Научная команда лаборатории завершила работы до 15 марта 2015 года. Международная конференция «Biofabrication 2016» была организована WFIRM (профессор James Yoo) и собрала рекордное количество участников со всего мира: более 400 зарегистрированных участников, более 300 постеров, доклады представили ведущие специалисты в области регенеративной медицины и 3D-биопринтинга: Jos Malda, Anthony Atala, Gabor Forgacs и многие другие. Россию на конференции представляла компания 3D-Bioprinting Solutions во главе с Юсефом Хесуани (управляющий партнер). Под руководством профессора Владимира Миронова научному коллективу 3D-Bioprinting Solutions удалось напечатать на биопринтере собственной разработки (FABION) функционирующий конструкт щитовидной железы и успешно пересадить его мышам [22]. Основные используемые в клинической практике визуальные данные, такие как МРТ и КТ, обычно используются для создания 3D-кардиальных моделей, обеспечивающих структурную и функциональную информацию о сердечной ткани. Автоматическая сегментация медицинских изображений и

ручная коррекция после процесса сегментации обычно необходимы в большинстве случаев для построения кардиальной модели. Гистоанатомические срезы также могут обеспечить подробную анатомическую и гистологическую информацию [23]. В этом исследовании анатомические данные сердца извлекаются из данных поперечного сечения Национального проекта медицинской библиотеки (VNP) Национальной библиотеки медицины. Данные, включая сердечные органы, сегментируются специалистами из каждого поперечного сечения на основе анатомических признаков и преобразуются в срезы серой шкалы. Интенсивность серого в срезе представляет различные ткани в разных регионах сердца [24].

Визуализация боковых желудочков мозга связана с осложнениями, связанными с прямым повреждением коры или ретракцией мозга. Авторы описывают новый подход к атриуму через коридор трансколлатеральной борозды намета. Ретросигмоидный подход позволил получить четкую визуализацию базальной затылочной поверхности. Была выявлена коллатеральная борозда и разрешен легкий эндоскопический доступ к полости желудочка. Полученный таким образом конический коридор обеспечивал среднюю рабочую зону  $3,9 \text{ см}^2$  при средней глубине 4,5 см. Средняя толщина коры, преодоленная для входа в желудочек, составляла 1,4 см. Таким образом, внутрижелудочковая анатомия латерального желудочка была четко определена во всех 8 экспозициях. Анатомия базальной затылочно-возрастной поверхности показала последовательную закономерность, с коллатеральной бороздой, прилегающей к парагиппокампальной извилине, и веретеновидной и язычной извилиной в поперечном направлении [25].

Четкое определение внутрисердечного тромба необходимо для своевременного предотвращения системной и легочной эмболизации. Трехмерная трансэзофагеальная эхокардиография может решить эту проблему. 80-летняя женщина, которой была проведена операция на митральном клапане, была госпитализирована в связи с сердечной недостаточностью. Хотя двухмерная трансторакальная эхокардиография показала недавнюю аномалию движения стенок в апикальном сегменте с уменьшенной систолической функцией левого желудочка, коронарная ангиография не показала значительного стеноза или окклюзии. Не было определенного ишемического изменения. До приема использовались диуретики для сердечной недостаточности, и пациент не принимал варфарин. Для оценки восстановленного клапана и тромба левого предсердия пациент был направлен на исследование. Восстановленный митральный клапан с жестким кольцом не показал стенотических изменений или повторения митральной регургитации. Однако наблюдалось расширение левого предсердия и левого придатка с умеренным спонтанным контрастом эха. При двумерном изображении на уровне левого предсердия и митрального клапана был обнаружен большой тромб. Его пулеподобная форма и отношение к окружающим

структурам наблюдались на изображении, полученном из трехмерных наборов данных. Скорость опорожнения предсердия сильно уменьшилась. При двумерном короткоосновном изображении аортального клапана в правом предсердии находилась другая небольшая подвижная масса. Трехмерное масштабированное изображение подтвердило, что эта масса относилась к кардиостимулятору [26].

В августе 2015 года FDA одобрило первый 3D-печатный препарат, что свидетельствует о новой главе для фармацевтического производства. Традиционные фармацевтические процессы, такие как компрессия таблеток, использовались на протяжении десятилетий с установленными регуляторными путями [27]. Эти процессы хорошо поняты, но устарели с точки зрения технологических возможностей и гибкости производства. Трехмерная печать, как платформа, имеет конкурентные преимущества для сложных и персонализированных продуктов. Эти преимущества открывают новые возможности для повышения безопасности, эффективности и доступности лекарств [28].

### **Выводы**

Итак, можно с уверенностью сказать, что 3D-технологии в медицине стали необходимостью, которая несравненно облегчает работу специалистов в различных областях, а также оставляет довольным качеством результата самого пациента. С развитием новых технологий 3D-печати и появлением новых методов визуализации в виде виртуальной и дополненной реальности – медицине предстоит пережить множество метаморфоз, обусловленных техническим прогрессом.

### **Список литературы**

1. Andrews E.M., Richards R.J., Yin F.Q. Alterations in chondroitin sulfate proteoglycan expression occur both at and far from the site of spinal contusion injury // *Exp Neurol*, 2011, vol. 235, pp. 174–187.
2. Blumenthal J., Cohen-Matsliah S.I. Olfactory bulb-derived cells seeded on 3D scaffolds exhibit neurotrophic factor expression and pro-angiogenic properties // *Tissue Eng*, 2012, vol. 19, pp. 2284–2291.
3. Lesman A., Koffler J., Atlas R. Engineering vessel-like networks within multicellular fibrin-based constructs // *Biomaterials*, 2011, vol. 32, pp. 7856–7869.
4. Lu P., Woodruff G., Wang Y. Long-distance axonal growth from human induced pluripotent stem cells after spinal cord injury // *Neuron*, 2014, vol. 83, pp. 789–796.
5. Baum R.A., Carpenter J.P., Cope C. Aneurysm sac pressure measurements after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms // *J. Vasc. Surg.*, 2001, vol. 33, pp. 32–41.

6. Desai M., Eaton-Evans J., Hillery C. AAA stent-grafts: past problems and future prospects // *Ann Biomed. Eng*, 2010, vol. 38, pp. 1259–1274.
7. The United Kingdom EVAR trial investigators Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm // *N. Engl. J. Med.*, 2010, vol. 362, pp. 1863–1871.
8. Laing C., Schlick T. Computational approaches to 3D modeling of RNA // *J. Phys. Condens. Matter*, 2010, vol. 22, pp. 293-310.
9. Usch A., Backofen R. INFO-RNA—a server for fast inverse RNA folding satisfying sequence constraints // *Nucleic Acids Res*, 2007, vol. 35, pp. 310–313.
10. Gan H.H., Pasquali S., Schlick T. Exploring the repertoire of RNA secondary motifs using graph theory Implications for RNA design // *Nucleic Acids. Res.*, 2003, vol. 31, pp. 2926–2943.
11. Waran V., Narayanan V., Karupiah R. et al. Utility of multimaterial 3D printers in creating models with pathological entities to enhance the training experience of neurosurgeons // *J Neurosurg*, 2014, vol. 120, pp. 489–492.
12. Wurm G., Tomancok B., Pogady P. et al. Cerebrovascular stereolithographic biomodeling for aneurysm surgery // *J. Neurosurg*, 2004, vol. 100, pp. 139–145.
13. Saijo H., Igawa K., Kanno Y. et al. Maxillofacial reconstruction using custom-made artificial bones fabricated by inkjet printing technology // *J. Artif. Organs*, 2009, vol. 12, pp. 200–205.
14. Groth C., Kravitz N.D., Jones P.E. et al. Three-dimensional printing technology // *J. Clin. Orthod.*, 2014, vol. 48, pp. 475–485.
15. Chen J., Zhang Z., Chen X. et al. Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology // *J. Prosthet Dent*, 2014, vol. 112, pp. 1088–1095.
16. Flugge T.V., Nelson K., Schmelzeisen R., Metzger M.C. Three-dimensional plotting and printing of an implant drilling guide: simplifying guided implant surgery // *J. Oral Maxillofac Surg*, 2013, vol. 71, pp. 1340–1346.
17. Goyanes A., Buanz A.B., Hatton G.B. et al. 3D printing of modified-release aminosaliclylate // *Eur J. Pharm Biopharm*, 2014, vol. 10, pp. 10-16.
18. Skowyra J., Pietrzak K., Alhnan M.A. Fabrication of extended-release patient-tailored prednisolone tablets via fused deposition modelling (FDM) 3D printing // *Eur. J. Pharm Sci*, 2014, vol. 68, pp. 11–17.
19. Lueders C., Jastram B., Hetzer R., Schwandt H. Rapid manufacturing techniques for the tissue engineering of human heart valves // *Eur. J. Cardiothorac Surg*, 2014, vol. 46, pp. 593–601.
20. Chang J.W., Park S.A., Park J.K. et al. Tissue-engineered tracheal reconstruction using three-dimensionally printed artificial tracheal graft: preliminary report // *Artif. Organs*, 2014,

vol. 38, pp. 95–105.

21. Lee Ventola C. Medical applications for 3D printing: current and projected uses // *PT*, 2014, vol. 39, pp.704–711.
22. Fullerton J.N., Frodsham G.C., Day R.M. 3D printing for the many, not the few // *Nat Biotechnol*, 2014, vol. 32, pp. 1086–1097.
23. Hieu L.C., Zlatov N., Vander Sloten J. et al. Medical rapid prototyping applications and methods // *Assemb Autom*, 2005, vol. 25, pp. 284–292.
24. Rosset A., Spadola L., Ratib O., Osiri X. An open-source software for navigating in multidimensional DICOM images // *J. Digit Imaging*, 2004, vol. 17, pp. 205–216.
25. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J. et al. 3D slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network // *Magn Reson Imaging*, 2012, vol. 30, pp. 1323–1341.
26. Gering D.T., Nabavi A., Kikinis R. et al. An integrated visualization system for surgical planning and guidance using image fusion and an open MR // *J. Magn Reson Imaging*, 2001, vol. 13, pp. 967–75.
27. Golby A.J., Kindlmann G., Norton I. et al. Interactive diffusion tensor tractography visualization for neurosurgical planning // *Neurosurgery*, 2011, vol. 68, pp. 496–505.
28. Chae M.P., Hunter-Smith D.J., Spychal R.T., Rozen W.M. 3D volumetric analysis for planning breast reconstructive surgery // *Breast Cancer Res. Treat*, 2014, vol. 146, pp. 457–460.