

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 3D ПЕЧАТИ В МЕДИЦИНЕ

Довнар Р.И., Пашик М.В.

УО «Гродненский государственный медицинский университет»,  
2-я кафедра хирургических болезней, г. Гродно

**Ключевые слова:** 3D печать, медицина, принтер, перспективы, проблемы

**Резюме:** в статье на основании выполненного анализа современных литературных источников авторами выделены ключевые области применения 3D печати в медицине, обоснованы наиболее перспективные сферы применения в будущем, описаны традиционно используемые и новые 3D технологии.

**Resume:** in the article, based on the analysis of modern literary sources, the authors highlight the key areas of application of 3D printing in medicine, substantiate the most promising areas of application in the future, describe traditionally used and new 3D technologies.

**Актуальность.** Вся история жизни людей на планете сопряжена с постепенным накоплением знаний и поэтапным их внедрением в разные сферы жизнедеятельности. До начала XIX века научный и технический прогресс осуществлялись обособленно. В последующем произошло их сближение, с этого времени начался процесс превращения науки в непосредственную производительную силу, который продолжался около полутора веков и завершился в середине 50-х годов XX века осуществлением научно-технической революции. Бурное развитие цифровых и инфокоммуникационных технологий в последние десятилетия привели к тому, что характерной чертой конца XX – начала XXI веков стало резкое ускорение научно-технического прогресса.

Медицина на протяжении всего периода существования людей характеризовалась прежде всего как консервативная наука. Связано это как с возможными серьезными последствиями применения новых и недосконально изученных методов лечения, в том числе с инновационным медицинским оборудованием, так и с более низкой заинтересованностью, а значит и гораздо меньшим финансированием медицинской науки. К примеру, распространенную операцию открытую аппендэктомию в хирургии продолжают выполнять и в наши дни, несмотря на то, что ход её выполнения детально был описан еще в начале XX века. Это же касается других хирургических операций: холецистэктомии, грыжесечения и т.д.

В соответствии с научно-техническим прогрессом происходило и постепенное развитие 3D печати. Так технология изготовления физических трехмерных объектов с использованием цифровых данных была впервые разработана Чарльзом Халлом в 1983 году и названа им «стереолитографией». И уже в 1988 году было налажено серийное производство станков для печати трехмерных объектов. К концу 1988 года получили широкую популярность технология 3D копирования объектов. Были разработаны новые технологии: моделирование методом наплавления и метод селективного лазерного спекания. К 1992 году было налажено промышленное производство станков на основе перечисленных выше технологий. В 1993 г. в Массачусетском технологическом институте была изобретена и запатентована еще одна технология 3D печати, которая была подобна механизму струйной печати, используемой в 2D принтерах. Во второй половине 90х годов появился термин «трехмерная печать» для обозначения

станков быстрого моделирования. Однако по относительно низким ценам станки для 3D печати появились в продаже только в конце 1990-х - начале 2000-х годов. Еще один прорыв в области трехмерной печати произошел в 2006 году с созданием общедоступного проекта RepRap, нацеленного на производство 3D принтера, способного воспроизводить детали собственной конструкции.

Столь стремительное развитие направления 3D печати обусловлено существенным снижением затрат и времени на изготовление прототипов или объектов, качеством и точностью таковых и гибкостью производства.

В настоящее время 3D печать нашла применение в различных областях промышленности таких как ювелирная, автомобильная, авиационная, пищевая и других сферах жизнедеятельности человека.

Несмотря на бурное развитие 3D печати в мире, её внедрение в медицину не было таким же стремительным и, как правило, отставало на промежуток времени от нескольких лет до нескольких десятилетий. В связи с этим возникла необходимость проанализировать состояние 3D печати в медицине для оценки будущих перспектив её внедрения.

**Цель:** проанализировать состояние и перспективы технологии 3D печати в медицине на современном этапе.

**Задачи:** 1. На основании выполненного анализа международных литературных источников оценить применяемые в медицине технологии 3D печати и выявить области медицины, в которых в настоящее время они наиболее часто применяются; 2. После обработки полученных данных определить перспективные направления использования достижений 3D печати в медицине.

**Материал и методы.** Для анализа было отобрано 50 русско- и англоязычных литературных источников, описывающих различные применяемые в медицине технологии 3D печати.

**Результаты и их обсуждение.** Выполненный анализ литературы показал, что в данный момент в здравоохранении наиболее активно используются три технологии 3D-печати: селективное лазерное спекание, моделирование наплавлением и струйная печать.

Методика селективного лазерного спекания заключается в использовании лазера для избирательного сплавления частиц порошкового материала внутри порошкового слоя. Уменьшение толщины используемого специального порошка на 1 слой позволяет последовательно строить объект наподобие кладки кирпичей при строительстве дома.

Второй из этих процессов, моделирование методом наплавления, основан на том же принципе, что и классическая двухмерная печать, и наносит небольшие шарики термопластического материала слоями, чтобы в конечном итоге построить 3D-объект.

Наконец, в струйной печати также используется печатающая головка, которая наносит термически или механически капли «материальной краски» слой за слоем для формирования объекта.

В медицине 3D-печать применяется в качестве предоперационной подготовки для отработки алгоритма оперативного вмешательства и планирования его выполне-

ния, в ортопедии и травматологии, нейро- и кардиохирургии, стоматологии, реконструктивной и пластической хирургии, челюстно-лицевой хирургии, и ряде других дисциплин.

*3D-печать в качестве предоперационной подготовки.* В ходе подготовки к выполнению оперативного вмешательства при намерении использовать 3D печать врачи наиболее часто работают с изображениями, полученными с помощью компьютерной томографии или магнитно-резонансного сканирования. Для успешного выполнения оперативного лечения от хирурга часто требуются отличные навыки визуализации для представления о характере, объеме и форме патологического процесса или образования. На основе данных, полученных в ходе описанных выше методов диагностики, осуществляется построение и 3D печать объекта исследования. Последний, помимо отработки и планирования операции, можно также использовать в научных целях для изучения сложных случаев или для обучения студентов. Планирование сложных современных хирургических операций с использованием 3D моделей позволяет избежать повреждения жизненно важных структур, уменьшает длительность операции, снижает рентгеновскую нагрузку на пациента и врача и способствует лучшему эстетическому результату. В ряде случаев такая 3D печать может исключить необходимость проведения дополнительных методов диагностики. Применение 3D печати также улучшает последующее протезирование возникших анатомических дефектов. Таким образом, именно потребность в улучшении визуализации и хирургических результатов привела к появлению напечатанных на 3D-принтере анатомических моделей, протезов или направляющих созданных для конкретного пациента [1].

Наиболее часто достижения не только 3D-печати, но и других 3D-технологий применяются в *ортопедии и травматологии*. Связано это с частым выполнением таким пациентам в ходе обследования компьютерной томографии. Созданные на компьютере 3D модели позволяют распланировать хирургическое вмешательство и лучше понять имеющуюся деформацию. В большинстве случаев этого достаточно и наличия физической модели не требуется. Однако при лечении сложных деформаций, требующих применения нестандартных имплантов, либо когда вследствие нестандартных размеров пациента до операции невозможно оценить подходят ли ему имеющиеся импланты применяют 3D печать костных структур пациента на основе компьютерного изображения. Аналогично можно создать индивидуальный имплант для конкретного пациента [7]. Распространению данного метода способствует тот факт, что большинство компьютерных программ, используемых для 3D печати бесплатны, а выполненный результат компьютерной томографии хорошо согласуется с данными программами. Несмотря на то, что в последнее десятилетие применение 3D печати стало значительно доступнее, ее использование в ортопедии еще не получило широкого распространения, и многие больницы даже не подозревают о ее существовании и возможном применении.

В *нейрохирургии* применение титана, как материала для биомедицинских имплантов (например, пластин, сеток или винтов) стало очень популярным. Успех этого материала обусловлен его биосовместимостью и инертностью к коррозии. Однако фрезировка данного металла крайне сложна из-за его особых физических свойств. Именно поэтому появление 3D печати в 90-х годах XX века постепенно стала вытеснять механическую обработку титановых пластин. На данный момент производители

медицинских изделий отдают предпочтение изготовлению имплантов на основе технологии лазерного спекания металла. Прогресс науки и техники в области 3D печати титаном в последние годы способствовал появлению и ряда других технологий: например электронно-лучевой плавке и плавлению методом наплавленного осаждения порошка. Однако следует подчеркнуть, что эффективность и безопасность использования в медицине последней, все ещё остается не доказанной.

Индивидуальные импланты, напечатанные на 3D-принтере, могут не только заменить, но и, возможно, превзойти традиционно изготавливаемые титановые импланты по частоте использования. Связано это с тем, что биобезопасность применения титановых имплантов, напечатанных на 3D принтере, и титановых имплантов, изготовленных традиционным способом, сопоставима, в то время как разница в стоимости производства весьма значительна [2].

Использование 3D печати в нейрохирургии не ограничивается созданием имплантов из титана. Как пример можно рассмотреть применение данного метода для печати модели кости, которую в последующем можно использовать в создании литевой формы для изготовления протеза данной кости из полиметилметакрилата [4].

В *кардиохирургии* 3D печать нашла свое применение в создании анатомических моделей для тестирования на этапе разработки различных применяемых устройств. К примеру, можно создать модели сосудов, обеспечить по ним непрерывный поток жидкости с давлением выше нормального для человека значением и осуществлять тестирование различных устройств или методов визуализации [3]. Помимо этого применение 3D печати позволяет создавать модели, которые обладают биомеханическими показателями, сходными с тканями организма человека. Созданные анатомические модели могут имитировать такие патологические состояния, как например кальциноз брюшной аорты. При этом для удобства в работе и визуализации 3D печать возможна разными цветами и даже жесткостью материала. Это позволяет не только увидеть патологию, но и отработать алгоритм хирургической операции, что в конечном счете улучшает результат лечения.

Помимо перечисленных областей 3D печать также успешно применяется в челюстно-лицевой хирургии, герниопластике – создание динамического регенерирующего каркаса, замещения мягких тканей, создании инструментов применяемых в ходе оперативного вмешательства и многих других [5, 6]. Одной из областей, в которой ожидается революция в 3D-печати является производство имплантируемых биорезорбируемых каркасов (стендов) с лекарственным покрытием [8].

Благодаря высокому разрешению струйная печать в настоящее время считается наиболее подходящей техникой для «*биопечати*», которая применяется в регенеративной медицине для изготовления тканей и органов. Биопечать в настоящее время является наиболее быстро развивающимся и перспективным направлением 3D печати. Она представляет собой огромный шаг вперед в тканевой инженерии и, вероятно, в обозримом будущем, что позволит исправить анатомические дефекты и реконструировать сложные органы.

**Выводы:** таким образом, выполненный анализ показал, что 3D печать является очень перспективным направлением в современной медицине. Традиционный консерватизм медицинских наук и огромные успехи в применяемых технологиях 3D

печати способствовали тому, что между возможным применением и тем что выполнено имеется значительный пробел. В будущем при правильном применении имеющихся знаний в этой области возможен огромный прорыв, который не только значительно улучшит результаты лечения пациентов, но и, не исключено, будет способствовать возникновению новых научных областей.

### Литература

- 1) 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review / P. Tack [et al.] // *BioMedical Engineering OnLine*. – 2016. – Vol. 15. – P. 115.
- 2) Benefits and biosafety of use of 3D-printing technology for titanium biomedical implants: a pilot study in the rabbit model / S. L. Ng [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – Vol. 22, № 16. – P. 8480.
- 3) Compliant vascular models 3D printed with the Stratasys J750: a direct characterization of model distensibility using intravascular ultrasound / A. J. Sparks [et al.] // *3D Printing in medicine*. – 2021. – Vol. 7. – P. 28.
- 4) Customized cost-effective polymethyl-methacrylate cranioplasty implant using three-dimensional printer / S. Dabadi [et al.] // *Asian journal of neurosurgery*. – 2021. – Vol. 16, № 1. – P. 150–154.
- 5) Inguinal hernia: defect obliteration with the 3D dynamic regenerative scaffold proflor / G. Amato [et al.] // *Surg Technol Int*. – 2021. – Vol. 38. – P. 199–205.
- 6) Instant in-situ tissue repair by biodegradable PLA/gelatin nanofibrous membrane using a 3D printed handheld electrospinning device / H. Chen [et al.] // *Front Bioeng Biotechnol*. – 2021. – Vol. 9. – P. 684105.
- 7) Three-dimensional printing in orthopedics: where we stand and where we are heading / L. Eijnisman [et al.] // *Acta Ortop Bras*. – 2021. Vol. 29, № 4. – P. 223–227.
- 8) Topete, A. Intraocular lenses as drug delivery devices / A. Topete, B. Saramago, A. P. Serro // *Int J Pharm*. – 2021. – Vol. 602. – P. 120613.