

DOI: <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2023.1.53>

Е. В. Кочина, П. А. Затолока

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИИ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

На сегодняшний день развитие 3D-технологий, распространение и усовершенствование 3D-принтеров, а также разработка и применение новых материалов для печати способствовали широкому внедрению 3D-печати в медицину. Существует множество вариантов использования 3D-технологий в хирургии, однако, одним из самых часто используемых направлений является предоперационное планирование. Современные методы визуализации являются важным компонентом предоперационного этапа в хирургической практике. Используя персонафицированную 3D-модель в качестве шаблона, врач-хирург детально и подробно отрабатывает на ней оптимальный операционный доступ, важнейшие этапы предстоящей операции, учитывая индивидуальные анатомические особенности строения заинтересованной области. Реалистичность и практическая значимость операции на 3D-модели достигается за счёт полной идентичности зоны хирургического интереса с органами пациента в масштабе 1:1. Целью данного обзора являлось представить современную информацию о возможностях и перспективах использования 3D-печати при планировании хирургических вмешательств в оториноларингологии, использовании технологий 3D-моделирования в рамках обучения студентов на кафедре болезней уха, горла, носа учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет». Таким образом, перспективы применения 3D-технологий весьма масштабны, и в ближайшем будущем они, наиболее вероятно, станут одним из самых динамичных направлений в медицине.

Ключевые слова: 3D-модель, 3D-печать, предоперационное планирование, персонафицированный подход.

E. V. Kochyna, P. A. Zatoloka

MODERN POSSIBILITIES AND DIRECTIONS OF USING 3D-MODELING IN OTORHINOLARYNGOLOGY

Today the development of 3D technologies, the spread and improvement of 3D printers, as well as the development and application of new printing materials have contributed to the widespread introduction of 3D printing in medicine. There are many options for using 3D technologies, however, one of the most commonly used areas is preoperative planning. Modern imaging techniques are an important component of the preoperative stage in surgical practice. Using a personalized 3D model the surgeon in detail works out on it the optimal surgical approach, the most important stages of the upcoming operation, taking into account the individual anatomical features of the structure of the area of interest. The realism and practical significance of the operation on a 3D model is achieved due to the complete identity of the area of surgical interest with the patient's organs on a 1:1 scale. The purpose of this review was to present up-to-date information on the possibilities and prospects of using 3D printing in planning surgical interventions in otorhinolaryngology, using 3D modeling technologies in teaching students at the Department of Ear, Nose and Throat Diseases of Belarusian State Medical University. Thus, the prospects for 3D technologies are very large-scale, and they will undoubtedly become one of the most dynamic areas in medicine in the future.

Key words: 3D model, 3D printing, preoperative planning, personalized approach.

Современные технологии 3D-моделирования и печати прочно входят в практику современного врача. В настоящее время применение этих технологий в медицине постоянно растёт. Особенно это касается специальностей хирургического профиля. Технология трёхмерной печати находит всё большее применение при планировании и осуществлении оперативных вмешательств, о чем свидетельствует рост числа публикаций за последние 10 лет по вышеуказанной тематике. Практически любой орган, фрагмент скелета или интересующая врача-специалиста область человеческого организма могут быть воспроизведены посредством 3D-печати в виде трехмерной модели. Печати подлежат не только персонифицированные анатомические модели, но и индивидуальное медицинское оборудование: имплантаты, различные хирургические устройства, аппараты внешней фиксации и др. Быстрый рост популярности 3D-печати подтверждает большой потенциал этой технологии и возможности ее применения в медицине. Внедрение вышеуказанной технологии в клиническую практику может показаться довольно сложной проблемой, требующей от врачей-специалистов дополнительных навыков работы с различными видами программного обеспечения по созданию и печати 3D-моделей. Однако междисциплинарный подход (привлечение профильных специалистов в рамках проведения научных исследований, быстрое технологическое развитие), активное обсуждение и представление собственных результатов исследований на конференциях и в печати помогут способствовать решению этой проблемы более быстро и эффективно.

Возможность воссоздания физических моделей человеческого организма с использованием трехмерных медицинских изображений, а конкретно данных компьютерной томографии, впервые была предложена в 1979 году [4]. В то время еще не существовало систем 3D-печати

и возможность создания моделей опиралась на способы субтрактивного производства и традиционные методы, такие как фрезеровка и резка, при использовании которых облик изделия формируется за счет удаления лишнего материала. Процесс изготовления начинался с заготовки исходного материала, которому постепенно придавалась требуемая форма. Однако окончательная подгонка детали выполнялась вручную. Первая анатомическая модель, созданная с использованием методов медицинской визуализации, была изготовлена в том же 1979 году: это была модель таза из полистирола. Трёхмерная печать, или аддитивные технологии, – это способ производства, в котором цельные трехмерные объекты создаются путем последовательного послойного нанесения материалов. Технология 3D-печати появилась благодаря открытию американского изобретателя Чарльза Халла в 1983 году и постепенно распространилась по всем сферам производства. Свое изобретение Халл назвал стереолитографией. По словам автора, он пытался объединить термин «литография», как синоним печати, и греческое слово «стерео», что означает «объемный», «пространственный». Патент США № 4,575,330 под названием «Аппарат для создания трехмерных объектов с помощью стереолитографии» был зарегистрирован 8 августа 1984 года. В 1988 году компания 3D Systems выпустила в продажу первый 3D-принтер. Начиная с этого времени, использование 3D-печати получило широкое распространение в медицине. Стереолитография (Steriolithography Apparatus – SLA) – технология, в которой управляемый компьютером луч лазера применяется для отверждения жидкого полимера или смолы, послойно создавая требуемую структуру. Основными преимуществами этого вида производства являются скорость печати, высокая точность и построение объекта в желаемой геометрической форме. SLA стала первой доступной

технологией 3D-печати, которая была применена в биомедицине в 1994 году [6].

За последние 10 лет метод предоперационного планирования с использованием персонализированных моделей нашел свое применение в кардиохирургии, в трансплантологии, в пластической и реконструктивной хирургии, травматологии и ортопедии, урологии и во многих других областях. Так кардиохирурги Санкт-Петербургского педиатрического университета в 2016 г. прооперировали младенца с аномалией Тауссиг-Бинга – редким пороком сердца, при котором от правого желудочка отходит и аорта, и легочная артерия. Хирурги на 3D-модели уточнили структуру потока крови внутри сердца, спланировали все этапы хирургического вмешательства и отработали технику проведения операции. Китайские врачи из Sangshun в 2014 г. сообщили о проведении успешной операции на открытом сердце с использованием 3D-печати, подчеркнув при этом, что потратили в 2 раза меньше запланированного времени. Операция была с успехом проведена девятимесячному ребенку с тяжелым пороком сердца: с аномалией расположения легочных вен, не имеющих сообщения с левым предсердием, с дефектом межпредсердной перегородки. С помощью 3D-модели врачи наглядно разъяснили родителям ход сложного вмешательства. В дальнейшем модель использовалась для обучения студентов и молодых врачей. В Великобритании в 2015 г. провели успешную пересадку почки трехлетней девочке с применением 3D-планирования. Сообщается, что перед ее проведением были напечатаны точные трехмерные модели брюшной полости ребенка и пересаживаемого ей донорского органа. Это позволило врачам из больницы St Thomas' Hospital понять, как будет располагаться почка взрослого человека в теле ребенка. Хирург Pankaj Chandal, прооперировавший девочку, считает, что предварительная печать трехмерной мо-

дели сделала проведение сложной операции по трансплантации более безопасной – врачи были подготовлены и действовали по заранее разработанному плану [1].

Существует еще множество примеров успешного использования 3D-моделирования в предоперационном планировании. Используя 3D-модель в качестве шаблона, хирурги тщательно отработывают на ней важнейшие этапы предстоящей операции, с учетом индивидуальных анатомических особенностей строения органа, его типа кровоснабжения и иннервации [5, 9]. Во время проведения операции трехмерная модель служит хирургу в качестве вспомогательного средства ориентации. Эффективность операции на 3D-модели достигается за счет полной идентичности зоны хирургического интереса с органами пациента в масштабе 1:1. При этом уменьшаются временные затраты на операцию, снижается длительность наркоза. По мнению Singhal A. J. et al. 2015, время операции сокращается на 1/3 [7].

Необходимым элементом 3D-печати является наличие цифрового трехмерного изображения заинтересованной анатомической области, которое будет являться прототипом напечатанной 3D-модели. В качестве основы чаще всего используются файлы, полученные при проведении компьютерной или магнитно-резонансной томографии пациенту. Трехмерная визуализация может быть получена при помощи различных методов, однако последовательность этапов остаётся относительно неизменной:

1 этап заключается в сборе данных – проведении компьютерной или магнитно-резонансной томографии и сохранении полученных данных в файле формата DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine – цифровое изображение и коммуникации в медицине). Большинство компьютерных программ для построения 3D-моделей используют только такой формат.

2 этап состоит в получении трехмерной модели из набора двухмерных слоев,

выполняется программным обеспечением в автоматическом режиме. В основе создания 3D-модели лежит сегментирование изображения – это выделение анатомических частей на изображении, данный процесс требует от пользователя понимания анатомии конкретной области, являющейся прототипом для создания модели. Затем полученная цифровая модель экспортируется в формат STL, который поддерживается всеми доступными 3D-принтерами [8].

3 этап заключается в обработке 3D модели (упрощение файла для повышения эффективности печати, проверка на наличие пересекающихся поверхностей, их коррекция) и ее печать.

В настоящее время научно-технический прогресс оказывает значительное влияние на систему здравоохранения, в том числе, и на систему медицинского образования. Это, в свою очередь, приводит к необходимости совершенствования существующих методов обучения и внедрения в учебный процесс новых инновационных приёмов. Для популяризации и повышения интереса обучающихся к учебному материалу, приближению образовательных навыков к применению их в практическом здравоохранении необходимо использовать в медицинском образовании современные компьютерные технологии и инновационные проекты, которые будут являться залогом развития высшей медицинской школы.

На сегодняшний день цифровые 3D-модели полости носа и околоносовых пазух активно используются в учебном процессе на кафедре болезней уха, горла, носа учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет». Визуализируя различные варианты патологии полости носа и околоносовых пазух, такие как искривление перегородки носа, хронический ринит, доброкачественные и злокачественные опухоли, инородные тела, процесс обучения проходит интереснее и доступнее, повышается мотивация студентов в изучении дополнительного материала, расширяется их клинический кругозор и мышление. Студенты имеют возможность сравнить рентгенологические методы диагностики заболеваний полости носа и околоносовых пазух и метод 3D-моделирования на примере одного и того же пациента, оценить их достоинства и недостатки. Такой комплексный подход в изучении учебного материала позволяет улучшить пространственное восприятие анатомии лицевого скелета, учитывает индивидуальные анатомические особенности пациентов, улучшает понимание основ патогенеза заболеваний данной анатомической области, облегчает изучение хода оперативных вмешательств при данной патологии [2].

Одним из перспективных направлений использования 3D-моделей в оториноларингологии является предоперационное планирование с определением минимально допустимого для выполнения успешного оперативного вмешательства размера костного дефекта передней стенки верхнечелюстной пазухи при использовании наружного доступа. Такой принцип позволит учитывать индивидуальные анатомические особенности строения лицевого скелета пациента, индивидуальные размеры пазух и локализацию патологического процесса. При планировании оперативных вмешательств у пациентов с аномалиями строения околоносовых пазух, таких как «синдром молчащего синуса», остеофиброзная дисплазия, персонифицированно подобранный операционный доступ повысит безопасность и эффективность оперативного вмешательства. Предоперационное 3D-моделирование при вмешательствах на околоносовых пазухах у детей с использованием наружного доступа повышает уверенность хирурга, сокращает время операции, учитывая различные варианты развития и аэрации околоносовых пазух у детей. Еще одним направлением

использования 3D-моделей в предоперационном планировании является оценка необходимости коррекции структур перегородки носа в связи с анатомическими особенностями пациента, что необходимо для выполнения успешной эндоскопической операции. Такой подход позволит более детально и доступно для пациента объяснить ход операции и информировать о необходимости дополнительного вмешательства.

Если говорить об опыте применения 3D моделирования в оториноларингологии, следует упомянуть о методике создания трёхмерных моделей полостей околоносовых пазух на примере верхнечелюстных пазух. Анализируя полученные результаты [3], авторы пришли к выводу, что большинство параметров пазух с признаками хронического синусита практически не отличалось от таковых в норме, за исключением расстояния от наиболее выступающей точки места перехода медиальной стенки пазухи в ее дно до наиболее удаленной точки задней стенки скуловой бухты. Это позволяет предположить, что при хроническом процессе давление измененной слизистой на костные стенки приводит к некоторому увеличению размера пазухи, в том числе и за счет скуловой бухты. Авторы также занимались изучением антропометрических параметров верхнечелюстных пазух, что может быть полезно при изучении индивидуальных, групповых и возрастных особенностей, процессов роста, развития и пневматизации лицевых костей.

При проведения планируемого исследования по оптимизации экстраназального доступа дополнительный этап будет заключаться в изучении анатомических особенностей верхнечелюстных пазух, локализации патологического процесса, который является причиной проведения хирургического вмешательства, и определении зоны трепанации передней стенки верх-

нечелюстной пазухи. После печати 3D-модели зоны хирургического интереса планируется выполнение тренировочного этапа хирургического вмешательства, который позволит убедиться в правильности выбранного размера и локализации костного дефекта передней стенки верхнечелюстной пазухи. Успешная ревизия самых труднодоступных карманов и бухт верхнечелюстных пазух при помощи хирургического инструментария из созданного на 3D-модели дефекта передней стенки пазухи послужит подтверждением эффективного предоперационного планирования.

Подводя некоторый итог вышеприведенной информации, следует отметить, что частота применения 3D-печати в медицине в последнее время значительно возросла. Основными направлениями использования этой технологии являются изготовление 3D-моделей анатомических областей, изготовление индивидуальных имплантатов и протезов, а также производство хирургических инструментов. Изготовленные персонализированные 3D-модели анатомических областей используются в основном в предоперационном планировании и обучении молодых специалистов. Трёхмерная печать оказала значительное влияние на процесс предоперационного планирования. Напечатанные модели можно использовать для демонстрации важных анатомических структур, симуляции оперативного вмешательства, предварительного подбора формы хирургических инструментов или их испытания. Планируемое исследование позволит расширить возможности использования 3D-моделирования в оториноларингологии, оптимизировать размер и форму интраоперационного костного дефекта передней стенки верхнечелюстной пазухи, что позволит сократить время операции, повысить эффективность хирургического лечения, снизить риск и число послеоперационных осложнений.

Литература

1. Багатурия, Г.О. Перспективы использования 3D-печати при планировании хирургических операций / Г.О. Багатурия // Медицина: теория и практика. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 26–35.

2. Кочина, Е. В. Современные подходы к вопросам пластики костных дефектов околоносовых пазух / Е.В. Кочина, П.А. Затолока // Медицинский журнал. – 2022. – № 2. – С. 12–16.

3. Сергеев, С. В. Методика создания трехмерных моделей полостей околоносовых пазух на примере верхнечелюстной пазухи и ее практическое применение / С. В. Сергеев, Е. С. Григорькина, С. Д. Зиновьев, О. А. Калмина, А. А. Григорькин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2013. – № 4 (28). – С. 44–52.

4. Alberti, C. Three-dimensional CT and structure models / C. Alberti // The British Journal of Radiology. – 1980. – Vol. 53. – № 627. – P. 261–262.

5. Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. / D. N. Silva [et al.] // Craniomaxillofac Surg. 2008; 36:443–449.

6. Frame, M. Rapid Prototyping in Orthopedic Surgery: A User's Guide / M. Frame, J.S. Huntley // The Scientific World Journal. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1–7.

7. Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: a Case Study. / A. J. Singhal [et al.] // Indian J Surg. 2016;78 (2):100–4.

8. Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery / S.N. Kurenov [et al.] // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2015. – Vol. 149. – № 4. – P. 973–979.e1.

9. Using 3D Physical Modeling to Plan Surgical Corrections of Complex Congenital Heart Defects. / J. Vodiskar [et al.] // Thorac Cardiovasc Surg. 2016 May 13. DOI:10.1055/s-0036–1584136

References

1. Bagaturiya, G.O. Perspektivy ispol'zovaniya 3D-pechati pri planirovanii hirurgicheskikh operacij / G.O. Bagaturiya // Medicina: teoriya i praktika. – 2016. – Т. 1, № 1. – S. 26–35.

2. Kochina, E. V. Sovremennye podhody k voprosam plastiki kostnyh defektov okolonosovyh pazuh / E.V. Kochina, P.A. Zatoloka // Medicinskij zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 12–16.

3. Sergeev, S. V. Metodika sozdaniya trekhmernyh modelej polostej okolonosovyh pazuh na primere verhnechelyustnoj pazuhi i ee prakticheskoe primeneniye / S. V. Sergeev, E. S. Grigor'kina, S. D. Zinov'ev, O. A. Kalmina, A. A. Grigor'kin // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Medicinskie nauki. – 2013. – № 4 (28). – S. 44–52.

4. Alberti, C. Three-dimensional CT and structure models / C. Alberti // The British Journal of Radiology. – 1980. – Vol. 53. – № 627. – P. 261–262.

5. Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. / D. N. Silva [et al.] // Craniomaxillofac Surg. 2008; 36:443–449.

6. Frame, M. Rapid Prototyping in Orthopedic Surgery: A User's Guide / M. Frame, J.S. Huntley // The Scientific World Journal. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1–7.

7. Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: a Case Study. / A. J. Singhal [et al.] // Indian J Surg. 2016;78 (2):100–4.

8. Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery / S.N. Kurenov [et al.] // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2015. – Vol. 149. – № 4. – P. 973–979.e1.

9. Using 3D Physical Modeling to Plan Surgical Corrections of Complex Congenital Heart Defects. / J. Vodiskar [et al.] // Thorac Cardiovasc Surg. 2016 May 13. DOI:10.1055/s-0036–1584136

Поступила 27.10.2022 г.