

Тверской А. В., Морозов В. Н., Морозова Е. Н., Солин А. В., Петричко С. А.

ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ КОСТЕЙ СКЕЛЕТА

Цель. Поделиться опытом изготовления образцов костей человека с использованием технологий 3D-печати в Белгородском государственном университете.

Материалы и методы. Для получения образцов костей скелета использовали 3D-принтер Objet Eden500 с технологией печати PolyJet (фотополимерная печать). При помощи трехмерного сканирования кости создавалось облако точек, а затем после необходимых правок – трехмерная модель, которая печаталась на 3D-принтере.

Результаты. При анализе качества напечатанной 3D-модели атланта четко визуализируются передняя и задняя дуги атланта с соответствующими бугорками, латеральные массы, поперечные отростки с отверстиями, верхние суставные ямки. Однако, борозды позвоночных артерий и ямка зуба осевого позвонка менее выражены, чем на исходном материале. На верхней поверхности тела клиновидной кости хорошо просматривается турецкое седло, ограниченное спереди бугорком седла, а сзади – спинкой седла. Гипофизарная ямка почти не видна. В основание передних наклоненных отростков хорошо видны отверстия зрительных каналов и умеренно выраженная между ними предперекрестная борозда. На передней поверхности тела не визуализируются клиновидные раковины по бокам от клиновидного гребня. На мозговой поверхности больших крыльев клиновидной кости из 3-х отверстий видны только круглое и овальное, а остистое имеет вид узкого канала. Слабо прослеживаются пальцевидные вдавления, мозговые выступы и артериальные борозды. На крыловидном отростке клиновидной кости латеральная и медиальная пластинки выглядят практически одинаково, хотя латеральная должна быть шире и короче, а медиальная длиннее и уже и заканчиваться крыловидным крючком. У полученной 3D-модели решетчатой кости на решетчатой пластинке не были воспроизведены отверстия для обонятельных нервов, а также решетчатые ячейки лабиринтов решетчатой кости и крылья петушиного гребня.

Заключение. При анализе полученных с использованием 3D-печати костей установлено, что в целом форма, размеры и анатомические структуры костей воспроизводятся практически полностью от исходных оригиналов костей. Среди трудностей можно отметить нечеткое пропечатывание некоторых борозд, ямок, отростков и мелких отверстий, что может быть скорректировано на этапе допечатной подготовки.

Ключевые слова: 3D-печать, анатомические модели, атлант, клиновидная и решетчатая кости.

Актуальность. На протяжении многих десятков лет в учебном процессе студентов-медиков по анатомии человека использовался трупный материал. Однако, в настоящее время, во многих высших медицинских учебных заведениях ощущается нехватка натуральных препаратов для практической подготовки студентов и начинающих преподавателей. Данная ситуация связана с дороговизной содержания специального помещения на кафедре для хранения материала – трупохранилища, а также химических реагентов и расходных материалов для консервирования. Также к образовательному учреждению предъявляются строгие требования, регламентирующие условия хранения и утилизации трупного материала [3].

В связи с этим, одним из решений данной проблемы является поиск путей частично замещения трупного материала наглядными демонстрационными моделями органов и частей тела человека, в том числе полученными в результате использования технологий 3D-печати. В то же время, в рамках изучения анатомии использование реальных объектов играет ключевую роль. 3D-принтеры используются в самых различных

областях науки и техники, в том числе и медицине: стоматологии, трансплантологии, пластической хирургии, травматологии, протезировании [1, 2]. Образцы, полученные в результате 3D-печати представляют собой объемный макет определенной части или нескольких частей тела, полученные на основании 3-х мерного сканирования натуральных анатомических препаратов [4]. Данную модель можно детально изучать с различных сторон держа в руках, вращать, что позволяет сформировать у студента представление о реальных размерах, форме и структуре органа или части тела человека. Кроме этого, при помощи 3D-печати возможно изготовить те органы или части органа, которые тяжело выделить при препарировании трупа, например, глубокорасположенные мелкие сосуды и нервы.

Целью работы явилось поделиться опытом изготовления образцов костей человека с использованием технологий 3D-печати в Белгородском государственном университете.

Материалы и методы. Для получения образцов костей скелета использовали 3D-принтер Objet Eden500 (фотополимерная печать), который позволяет печатать

Tverskoi A. V., Morozov V. N., Morozova E. N., Solin A. V., Petrichko S. A.

Belgorod National Research University, Belgorod

STUDYING THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF 3D PRINTING FOR THE MANUFACTURE OF SOME BONES OF THE SKELETON

Aim. Share the experience of making human bone samples using 3D-printing technologies at Belgorod State University.

Materials and methods. To obtain skeletal bone samples, an Objet Eden500 3D printer with PolyJet printing technology (photopolymer printing) was used. Using a 3D scan of the bone, a point cloud was created, and then, after the necessary corrections, a three-dimensional model, which was printed on a 3D printer.

Results. When analyzing the quality of the obtained 3D-model of the atlas, the anterior and posterior arches of the atlas with the corresponding tubercles, lateral masses, transverse processes with foramina, and superior articular fossae are clearly visualized. However, the grooves for vertebral arteries and the fossa for dens of axis are less pronounced than in the initial material. On the superior surface of the body of the sphenoid bone, the sella turcica is clearly visible, bounded in front by the tuberculum sellae of the saddle, and behind by the dorsum sellae. The hypophyseal fossa is almost invisible. At the base of the anterior clinoid processes, the openings of the optic canals and a moderately pronounced prechiasmatic groove between them are clearly visible. On the anterior surface of the body, the sphenoidal conchae are not visualized on the sides of the sphenoidal crest. On the cerebral surface of the greater wings of the sphenoid bone, from 3 foramina, only foramen rotundum and foramen ovale are visible, and the foramen spinosum one looks like a narrow canal. Faintly traced impressions for cerebral gyri, juga cerebralia and groove for arteries. On the pterygoid process of the sphenoid bone, the lateral and medial plates look almost the same, although the lateral one should be wider and shorter, and the medial one is longer and narrower and end with a pterygoid hamulus. The resulting 3D-model of the ethmoid bone on the cribriform plate did not reproduce the holes for the olfactory nerves, as well as the ethmoid cells of the ethmoid labyrinths and the alae of crista galli.

Conclusion. When analyzing the bones obtained using 3D-printing, it was found that, in general, the shape, size and anatomical structures of the bones are reproduced almost completely from the original bones. Among the difficulties, one can note the fuzzy printing of some grooves, fossae, processes and small foramina, which can be corrected at the stage of prepress.

Keywords: 3D-printing, anatomical models, atlas, sphenoid and ethmoid bones.

как миниатюрные модели, так и крупные модели размером до 490 × 390 × 200 мм (МИП ООО «Контрольные и измерительные приборы БелГУ» Технопарк «Высокие технологии НИУ «БелГУ»). Разрешение печати по оси X – 600 dpi (42 мкм), по оси Y – 600 dpi (42 мкм), а по оси Z – 1600 dpi (16 мкм). При помощи трехмерного сканирования кости создавалось облако точек, а затем после необходимых правок – трехмерная модель, которая печаталась на 3D-принтере.

Результаты и их обсуждение. В качестве костей для изготовления образцов на 3D-принтере были выбраны первый шейный позвонок (атлант), клиновидная и решетчатая кости. Выбор последних 2-х костей был обусловлен значительной трудоемкостью выделения данных костей из черепа, хрупкостью решетчатой кости и соответственно малой их доступностью в качестве натурального материала для учебного процесса.

В качестве исходного материала для изготовления 3D-модели атланта был выбран натуральный анатомический препарат первого шейного позвонка. При анализе качества 3D-печати образца атланта выявлено, что форма, размеры модели полностью соотносятся с исходным образцом. При рассмотрении 3D-модели сверху четко визуализируются передняя и задняя дуги атланта с соответствующими бугорками, латеральные массы, поперечные отростки с отверстиями, верхние суставные ямки. Однако, борозды позвоночных артерий и ямка зуба осевого позвонка менее выражены,

чем на исходном материале. При изучении 3D-модели атланта снизу хорошо просматриваются нижние суставные поверхности на латеральных массах (рисунок 1).

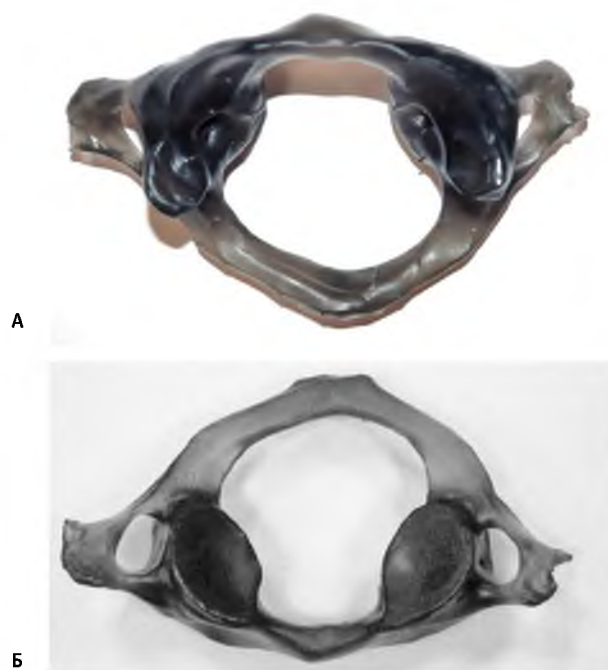


Рисунок 1 – 3D-модель атланта (А – вид сверху, Б – вид снизу)

При изучении полученного образца клиновидной кости установлено, что на верхней поверхности тела хорошо визуализируется турецкое седло, ограниченное спереди бугорком седла, а сзади – спинкой седла. Гипофизарная ямка почти не просматривается. В основании передних наклоненных отростков хорошо видны отверстия зрительных каналов и умеренно выраженная между ними предперекрестная борозда. На передней поверхности тела не визуализируются клиновидные раковины по бокам от клиновидного гребня.

На мозговой поверхности больших крыльев клиновидной кости из 3-х отверстий видны только круглое и овальное, а остистое имеет вид узкого канала. Слабо прослеживаются пальцевидные вдавления, мозговые выступы и артериальные борозды.

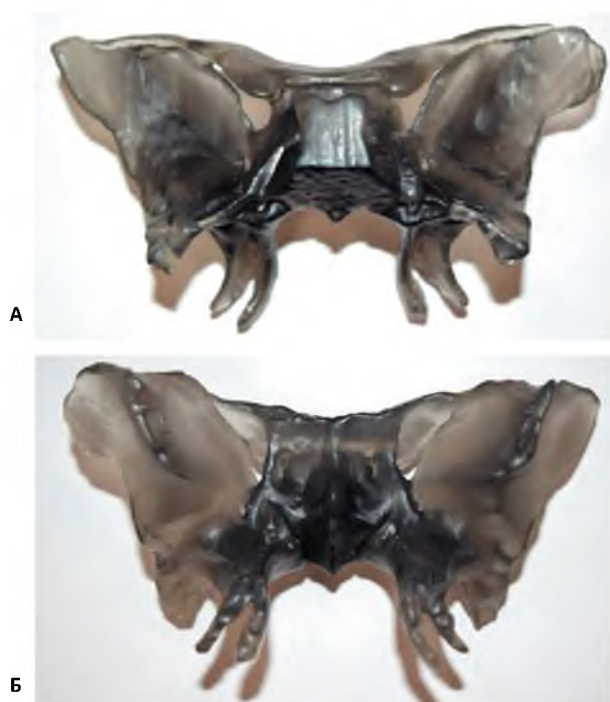


Рисунок 2 – 3D-модель клиновидной кости (А – вид сверху, Б – вид спереди)



Рисунок 3 – 3D модель решетчатой кости (вид сверху)

На крыловидном отростке клиновидной кости латеральная и медиальная пластинки выглядят практически одинаково, хотя латеральная должна быть шире и короче, а медиальная длиннее и уже и заканчиваться крыловидным крючком (рисунок 2).

Изучение полученной 3D-модели решетчатой кости показало, что на решетчатой пластинке не были воспроизведены отверстия для обонятельных нервов, а также решетчатые ячейки лабиринтов решетчатой кости и крылья петушиного гребня. В остальном, размеры, форма и структуры сходны с исходным образцом решетчатой кости (рисунок 3).

Заключение. Таким образом, полученный опыт применения 3D-печати некоторых костей скелета показывает, что в целом их форма, размеры и анатомические структуры воспроизводятся практически полностью от исходных оригиналов костей. Среди трудностей можно отметить нечеткое пропечатывание некоторых борозд, ямок, отростков и мелких отверстий. Это указывает на то, что необходима дополнительная работа персонала, владеющего знаниями в области анатомии человека с электронными моделями костей до момента 3D-печати для корректировки данных недостатков, а также апробация других техник 3D-печати.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калагова А. В. Применение современных технологий 3D-печати в медицине // Молодой ученый. 2019. 2 (240). С. 54-56. URL: <https://moluch.ru/archive/240/55584/> (дата обращения: 15.12.2021).
2. Aïmar A. Palermo A., Bernardo I. The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art // Journal of Healthcare Engineering. 2019. Article ID 5340616, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>.
3. Qing-Yun L., Qi Z., Chun Y., Ye H., Mukuze P., Fang L., Ai-Hua P. Evaluating phone camera and cloud service-based 3D imaging and printing of human bones for anatomical education // BMJ Open. 2020. 10: e034900. doi:10.1136/bmjopen-2019-034900.
4. Ventola C. L. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses // P T. 2014. 39 (10). P. 704-711.

Контактная информация и сведения об авторах

E-mail: morozov_v@bsu.edu.ru.

Тверской Алексей Владимирович, к. м. н., доцент, и. о. заведующего кафедрой анатомии и гистологии человека ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород.

Морозов Виталий Николаевич, к. м. н., доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород.

Морозова Елена Николаевна, к. м. н., доцент кафедры анатомии и гистологии человека ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород.

Солин Алексей Владимирович, д. м. н., профессор кафедры анатомии и гистологии человека ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород.

Петричко Светлана Александровна, к. м. н., доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека ФГАОУ ВО НИУ БелГУ, г. Белгород.