

УДК 616.8-089

https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/19

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ В НЕЙРОХИРУРГИИ

- ©**Яриков А. В.**, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия
©**Шпагин М. В.**, канд. мед. наук, Городская клиническая больница №39, г. Нижний Новгород, Россия
©**Горбатов Р. О.**, Приволжский исследовательский медицинский университет, ГИТО-ИННОВАЦИЯ, г. Нижний Новгород, Россия
©**Соснин А. Г.**, Приволжский окружной медицинский центр ФМБА, г. Нижний Новгород, Россия
©**Перльмуттер О. А.**, Городская клиническая больница №39, г. Нижний Новгород, Россия
©**Фраерман А. П.**, Городская клиническая больница №39, г. Нижний Новгород, Россия
©**Синегуб А. В.**, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия
©**Искровский С. В.**, Ортоинвест, г. Санкт-Петербург, Россия
©**Столяров И. И.**, Федеральный Сибирский научно-клинический центр ФМБА, г. Красноярск, Россия
©**Цыбусов С. Н.**, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия
©**Преснов Д. В.**, Приволжский исследовательский медицинский университет, г. Нижний Новгород, Россия

APPLICATION OF 3D LASER PRINTING METHODS IN NEUROSURGERY

- ©**Yarikov A.**, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia
©**Shpagin M.**, M.D., City Clinical Hospital no. 39, Nizhny Novgorod, Russia
©**Gorbatov R.**, Privolzhsky Research Medical University, GITO-INNOVATION, Nizhny Novgorod, Russia
©**Sosnin A.**, Privolzhsky Regional Medical Center under the Federal Medical Biological Agency, Nizhny Novgorod, Russia
©**Perlmutter O.**, City Clinical Hospital no. 39, Nizhny Novgorod, Russia
©**Fraerman A.**, City Clinical Hospital no. 39, Nizhny Novgorod, Russia
©**Sinegub A.**, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
©**Iskrovskii S.**, Ortoinvest, St. Petersburg, Russia
©**Stolyarov I.**, Federal Siberian Research Clinical Center under the Federal Medical Biological Agency, Krasnoyarsk, Russia
©**Tsybusov S.**, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia
©**Presnov D.**, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

Аннотация. В настоящее время 3D лазерная печать меняет современные парадигмы. Количество медицинских специальностей, в которых применяются лазерные аддитивные технологии, для лечения пациентов ежегодно возрастает. Каждый год увеличивается количество медицинских учреждений и нейрохирургов, использующих 3D-печать в практике. В статье представлены основные лазерные технологии 3D-печати, разработанные и внедренные в настоящий момент. Перечислены преимущества и недостатки каждой из технологий лазерной 3D печати. Описан опыт применения аддитивных лазерных технологий в нейрохирургии по данным современной научной литературы. Лазерные технологии 3D-

печати в нейрохирургии дают возможность создания высокоточных имплантатов, снижения времени операции и улучшения косметический эффект операции.

Abstract. Currently, 3D laser printing is changing modern paradigms. The number of medical specialties in which laser additive technologies are used to treat patients is increasing annually. Every year the number of medical institutions and neurosurgeons using 3D printing in practice increases. The article presents the main laser 3D printing technologies developed and implemented at the moment. The advantages and disadvantages of each of the 3D laser printing technologies are listed. The experience of using additive laser technologies in neurosurgery is described according to modern scientific literature. 3D laser printing technologies in neurosurgery make it possible to create high-precision implants, reduce the operation time and improve the cosmetic effect of the operation.

Ключевые слова: персонифицированная медицина, прямое лазерное спекание имплантов, лазерная стереолитография, персонализированные импланты, трехмерное моделирование.

Keywords: personalized medicine, direct laser sintering of implants, laser stereolithography, personalized implants, three-dimensional modeling.

В 1984 г. Charles W.Hull. разработал технологию послойного изготовления физических 3D объектов на основе их цифровых данных (3D-печать) и через 2 года запатентовал ее. Она получила название «лазерная стереолитография» [1–4]. Впоследствии были предложены и другие технологические решения послойного наращивания объектов, лежащие в основе работы 3D-принтера: ламинирование (Michael Feygin), селективное лазерное спекание (Carl Deckard), послойное наложение расплавленной полимерной нити (Scott Crump) [5]. 3D лазерная печать меняет промышленные парадигмы, что не может не сказываться и на медицинской отрасли [3]. Количество медицинских специальностей, в которых используются аддитивные лазерные технологии для лечения пациентов, с каждым годом возрастает. Наиболее активный рост в виде увеличения числа научных публикаций пролеченных больных с применением 3D печати за последнее время отмечается в нейрохирургии [6–8]. Чаще всего 3D-печать в данных медицинских специальностях применяется для создания [9–11]:

- макетов для обучения и предоперационного планирования;
- имплантатов, протезов, направлятелей, хирургических шаблонов, аппаратов внешней иммобилизации, ортопедических ортезов;
- одноразовых и многоразовых хирургических инструментов, компонентов для медицинского оборудования;
- тканевых и органных 3D конструкций.

С каждым годом медицинская 3D-печать становится все более доступной и дешевой. В настоящее время уже сформулированы показания для многих индивидуальных изделий медицинского назначения, изготовленных с помощью 3D лазерной печати [12–15]. С каждым годом совершенствуется и законодательная база их применения в медицине, позволяющая обеспечить эффективность использования и безопасность персонифицированных изделий для пациентов и при этом избежать правовых барьеров для развития данного направления [16].

Основные принципы

В основу лазерной 3D-печати заложены принципы создания объемного изделия путем его послойного наращивания [17, 18]. Эту технологию также называют «быстрым прототипированием», или «аддитивным производством», в отличие от так называемого субтрактивного производства, в основе которого лежит удаление части материала (фрезерование, шлифование, точение и др.) [19]. Первооткрывателями в этой области были Altschuler (1973 г.) и Swinson (1975 г.), которые объединили систему автоматического проектирования (CAD или Computer Aided Design) и систему изготовления объектов с использованием компьютерных технологий (CAM или Computer Aided Manufacture) в единое производство [18, 20]. CAD/CAM производство, на базе которого строится создание 3D-моделей для медицины, обычно состоит из следующих этапов [21–23]:

I. Сбор данных. При создании изделий медицинского назначения, как правило, используются данные, полученные при 3D-сканировании, МСКТ и/или МРТ.

II. Создание 3D-модели. Построение цифровой модели осуществляется либо «с нуля» в CAD/CAM, либо на основе результатов, полученных при 3D-сканировании, МСКТ и/или МРТ.

III. Компьютерное моделирование. На данном этапе осуществляется компьютерное моделирование 3D-модели анатомического объекта, в том числе с использованием гибридного параметрического моделирования и топологической оптимизации, создаются на ее основе различные изделия медицинского назначения (например, имплантаты, направлятели, хирургические шаблоны и др.). Затем проводится проверка 3D модели на наличие дефектов, деформаций, создается поддержка для ее 3D-печати.

Таблица

СОВРЕМЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ 3D ЛАЗЕРНОЙ ПЕЧАТИ

Технология печати	Название	Механизм
Фотополимеризация	лазерная стереолитография (laser stereolithography – SLA); цифровая светодиодная проекция (digital light processing – DLP)	Применяется ультрафиолетовый лазер и подвижная платформа находящаяся в баке с материалом: лазер полимеризует материал слой за слоем по мере того, как платформа погружается глубже в бак
Порошковый	электронно-лучевая плавка (electronbeam melting – EBM); выборочная лазерная плавка (selective laser melting – SLM); выборочное лазерное спекание (selective laser sintering – SLS); прямое лазерное спекание металлов (direct laser metal sintering – DLMS)	Для спекания/сплавления мелкодисперсного термопластичного порошка в слои при помощи лазера.
Ламинирование	изготовление объектов методом ламинирования (laminated object manufacturing – LOM)	Послойное формирование объекта путем склеивания слоев материала, которые обрезаются ножом или лазером

IV. Слайсинг. Осуществляется разделение трехмерной модели готового для 3D лазерной печати объекта на слои с использованием Slicing-программ, которые переводят ее в физические инструкции для принтера. Они представляют собой последовательность

траекторий, которую пройдет печатающая головка 3D-принтера, заполняя (печатая) форму объекта.

V. Печать. Существует множество различных методов 3D печати (Таблица) [24-27].

VI. Постпечатная обработка. После завершения 3D-печати осуществляется удаление поддержек, обработка изделия в ультразвуковой камере, камере ультрафиолетового отверждения материала, термическая обработка, шлифование и др. [28, 29].

3D-принтеры, применяемые в нейрохирургии, могут стоить от 500 \$ за оборудование начального уровня (FDM), и до 150000–900000 \$ за максимально точные SLS, FDM, и SLA системы [22, 30]. SLS и SLA печать сопоставимы по точности получаемых моделей, при этом изделия в большинстве случаев превосходят по прочностным характеристикам аналоги, изготовленные на FDM 3D-принтере [31].

Краниальная нейрохирургия

Нейрохирургия представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся отраслей медицины [32]. В связи с широким использованием в нейрохирургии краниоэктомий в настоящее время актуальной является проблема реконструкции послеоперационных дефектов черепа, зачастую сложных и обширных [33–36]. Наиболее тяжелыми для замещения в силу особенностей геометрии, а также высокой функциональной и косметической нагрузки, являются дефекты лобно-глазничной локализации [37–39]. Использование аддитивных технологий способствует прецизионному планированию операции по напечатанным на 3D-принтере макетам черепа и максимально точному восстановлению утраченного его фрагмента с применением индивидуальных имплантатов [40–42]. 3D лазерная печать позволяет осуществлять реконструкцию костных дефектов различной сложности, размеров, геометрической формы и анатомической локализации [43–45]. Доступность программного обеспечения обеспечивает возможность нейрохирургам принимать непосредственное участие в моделировании имплантатов [46–48].

Существуют три основные методики изготовления краниоимплантатов с помощью 3D лазерной печати [37, 49–51]:

1. 3D-печать имплантата из биосовместимых материалов (титан, керамика и др.);
2. Изготовление имплантата с использованием индивидуального макета черепа пациента, созданного на 3D-принтере.
3. Изготовление имплантата с использованием его матрицы (пресс-формы), напечатанной на 3D-принтере.

По данным В. Zanotti et. al. В 2016 г., именно изготовленные на заказ имплантаты следует считать «золотым стандартом» краниопластики, особенно при дефектах черепа размером $>25 \text{ см}^2$, а также при их локализации в лобной области или в зоне отсутствия роста волос. При дефектах меньшей площади остается вариант традиционной краниопластики [52].

В 2020 г. Копорушко Н. А. и соавт. представили опыт проведения краниопластики у 161 больного. Все они были поделены на две группы: группа 1 (n=80 пластинами изготовленные при помощи 3D печати) и группа 2 (n=81 с применение стандартных титановых имплантатов). В группе 1 в 100% случаях получены отличные косметические результаты, в группе 2 отличный результат получен в 76 % случаев, хороший — у 9%, удовлетворительный у — 8% и неудовлетворительный у 5% лиц [53].

Братцев И. С. и соавт. в 2021 г. представили результаты лечения 50 лиц с дефектами черепа. В зависимости от методики индивидуализации краниоимплантата пациенты

разделены на 2 группы: 1 — с применением индивидуальных 3D-печатных макетов (n=32), 2 — с применением традиционного интраоперационного моделирования (n=18). Группы статистически значимо различались по продолжительности интраоперационного этапа краниопластики, степени симметрии и финансовым затратам. Не было выявлено различий по количеству предоперационных койко-дней, количеству точек фиксации имплантатов, объему интраоперационной кровопотери и качеству жизни по опроснику SF-36. В 1-й группе по сравнению со 2-й была ниже частота послеоперационных осложнений (6,3 и 16,7% соответственно). Соотношение финансовых затрат на лечение пациентов в 1-й и 2-й группах составило 1,1:1 [54].

Спинальная нейрохирургия

С каждым годом возрастает количество случаев использования аддитивных технологий 3D лазерной печати в хирургическом лечении различных патологий позвоночника [55, 56].

Большой интерес представляет исследование, проведенное специалистами Shenzhen institutes of advanced technology (China), отражающее точность напечатанных макетов позвоночника на основании сопоставления их морфометрических параметров с данными МСКТ. Были измерены 44 параметра в шейном отделе позвоночника (ШОП), 120 — в грудном (ГОП), 50 — в поясничном (ПОП). Статистически достоверных различий не было выявлено ни по одному из параметров ($p>0,05$). Межклассовый корреляционный коэффициент (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) был больше 0,8 для 88,6% параметров в ШОП, 90% — в ГОП и 94% — в ПОП. Для остальных параметров ICC был больше 0,6. Таким образом, работа продемонстрировала высокую степень соответствия напечатанных макетов позвоночника исходным параметрам МСКТ [57].

В 2018 г. А. В. Бурцев и соавт. доказали эффективность методики компьютерного моделирования и 3D-печати индивидуальных направителей для фиксации ШОП. Шаблон плотно прикладывали к дуге и остистому отростку позвонка, после чего с помощью высокоскоростного бора, а затем сверла формировали отверстие для введения транспедикулярного винта (ТПВ). В сформированное отверстие имплантировали ТПВ. На основании отработанной методики провели клиническую апробацию у 3 пациентов. По результатам МСКТ отмечена отклонение 1 ТПВ относительно заданной траектории не более чем на 2 мм, при этом мальпозиций не выявлено [56].

Р. А. Коваленко с соавт. в 2019 г. анонсировали результаты лечения 16 пациентов, которым проводили имплантацию ТПВ в субаксиальные отделы ШОП и верхний отдел ГОП с использованием индивидуальных направителей, напечатанных на 3D-принтере. Всего установлено 88 ТПВ. Средняя девиация от планируемой траектории составила $1,8\pm 0,9$ мм. Девиацию 1 степени (<2 мм) зафиксировали для 57 (64,77 %) ТПВ, 2 степени (2–4 мм) — для 29 (32,95%), 3 степени — для 2 (2,27 %). Безопасность имплантации 0 степени (ТПВ полностью находится внутри костной структуры) определена в 79 (89,77%) случаях, 1 степени (<50 % диаметра ТПВ перфорируют кость) — в 5 (5,68 %), 3 степени — в 2 (2,27%). Использование индивидуальных направителей представляется доступным и безопасным методом установки ТПВ в шейном и грудном отделах позвоночника. Метод может быть использован как альтернатива нейронавигации или интраоперационной МСКТ-навигации [58].

А. А. Снетков и соавт. в 2020 г. опубликовали результаты лечения 20 пациентов со сложной анатомией позвоночника (аномалии развития позвонков). У 9 пациентов имелись неклассифицируемые аномалии, у 11 — смешанные, у 3 — аплазия структур позвоночника.

Все пациенты были разделены на 2 группы: в 1 группе (n=10) проводили стандартную предоперационную подготовку по данным спондилограмм, МСКТ и МРТ; во 2 группе (n=10) — с использованием предварительно изготовленного 3D-печатного макета позвоночника. Значительное улучшение результатов хирургического лечения отмечено во 2 группе, где применяли аддитивные технологии (94,9% ТПВ без мальпозиции). В 1 группе только в 78,1% случаев отсутствовала мальпозиция ТПВ. Вертебрологи сделали вывод, что компьютерное моделирование и 3D-печать позволяет повысить точность установки ТПВ, снизить риск их мальпозиции, уменьшить риск повреждения невралных структур, сократить время операции и количество интраоперационных рентгеновских снимков [59].

В 2020 г. Р. А. Коваленко и соавт. проанализировали имплантации винтов в С2 по методике free hand 23 пациентам (1-я группа), которым установлено 44 ТПВ по транспедикулярной или pars траектории. Пациентам 2-й группы выполнена установка винтов с применением индивидуальных навигационных матриц, созданных по технологии 3D-печати. Во 2-ю группу включено 17 пациентов, которым установлено 34 винта. Результаты имплантации оценивали по данным МСКТ, использовали систему Screw Guide Template (SGT). Безопасность имплантации ТПВ пациентам 1 группы как степень 0 и 1 (отсутствие мальпозиции или выход менее 50% диаметра винта) зафиксирована для 29 (65,91%) ТПВ, степень 2 — для 13 (29,55%) ТПВ, степень 3 — для 2 (4,45%) ТПВ. При имплантации 4 (8,89%) ТПВ отмечены признаки интраоперационного повреждения позвоночной артерии без неврологического дефицита. Оценка степени девиации у пациентов 2-й группы показала, что 97% винтов имплантированы в соответствии с классами 1 и 2. Девиация класса 2 наблюдалась в 11 (32,35%) случаях. Средняя девиация составила $1,8 \pm 1$ мм. У пациентов 2-й группы 28 (82,35%) из 34 ТПВ полностью находились в костных образованиях (степень 0), 4 (11,76%) ТПВ прободали ножки < чем на 1/2 диаметра ТПВ (степень 1), также было по 1 случаю мальпозиции степени 2 и 3 без повреждения позвоночной артерии [60].

Р. А. Коваленко и соавт. в 2021 г. представили 3 примера хирургического лечения пациентов с гигантскими пресакральными невриномами. По данным МСКТ-ангиографии изготавливали 3D модели костей малого таза, опухоли и сосудов по технологии 3D-печати. Авторы сделали вывод, что применение индивидуальных 3D-моделей может рассматриваться как полезный инструмент операционного планирования [63].

Применение лазерной 3D печати нашло свое применение также в изготовлении индивидуальных имплантатов, позволяющих производить корригирующие операции на позвоночнике без применения остеотомий. Альтернативой для коррекции сагиттального и фронтального баланса в позвоночнике является использование индивидуальных лордозизирующих кейджей [61]. Изготовление кейджей при помощи лазерных аддитивных технологий, позволяет создавать на поверхностях контактирующих с костью ячеистые структуры. Такие структуры позволяют увеличить остеоиндукцию и площадь поверхности для остеоинтеграции, что складывается в более надежную долговременную фиксацию импланта в кости. Важным преимуществом использования индивидуальных кейджей является возможность изготовления гиперлордотических конструкций, мало представленных у серийных производителей, и также возможность адаптации изделий под любой необходимый инструмент (Рисунок).

А. А. Денисов и соавт. в 2020 г. представили опыт применения индивидуальных лордозизирующих кейджей для спондилодеза ПОП, изготовленных методом лазерной 3D печати. Больные были разделены на две группы: группа 1 состояла из 30 пациентов, которым был выполнен передний спондилодез индивидуальными лордозизирующими кейджами из

переднего доступа без задней фиксации; группа 2 — из 33 респондента, которым выполнен передний спондилодез стандартным кейджем из заднего доступа (TLIF) с проведением вертебротомий и транспедикулярной фиксации.



Рисунок. 3D-кейджи для позвоночника, изготовленные путем лазерной 3D печати, компании «3D-кейджи (POZVONOQ)»

При внутригрупповом сравнении в обеих группах послеоперационные значения сегментарного лордоза превосходили предоперационные. В межгрупповом сравнении в группе 1 наблюдалось значительное превосходство в увеличении сегментарного лордоза: L3-L4 на 8° ($p = 0,0005$); L4-L5 на 7° ($p = 0,0002$); L5-S1 на 7° ($p = 0,0001$). При сравнении лордоза ПОП в дооперационном периоде не было выявлено статистически значимой разницы между двумя группами ($p = 0,0043$). При этом в послеоперационных значениях группа 1 показала большую степень коррекции лордоза: $29,1^\circ$ в сравнении с $22,5^\circ$ соответственно ($p = 0,00005$). Это указывает, что применение индивидуальных лордозирующих кейджей позволяет значительно увеличить сегментарный и лордоз ПОП у лиц с дегенеративным сколиозом [62].

Заключение

В настоящее время в медицине отмечается большой интерес к применению лазерных аддитивных технологий. Благодаря аддитивным технологиям, появляется возможность персонификации изделий медицинского назначения и всесторонней визуализации зоны хирургического интереса. Создаваемые с помощью 3D лазерной печати имплантаты позволяют значительно улучшить результаты оперативного лечения пациентов нейрохирургического профиля. Появляющиеся новые материалы и оборудование открывают новые возможности в развитии данного инновационного направления в медицине.

Список литературы:

1. Левченко О. В. Современные методы крианиопластики // Нейрохирургия. 2010. №2. С. 5-13.

2. Иванов О. В., Семичев Е. В., Шнякин П. Г., Собакаръ Е. Г. Пластика дефектов черепа: от аутокости к современным биоматериалам (обзор литературы) // Медицинская наука и образование Урала. 2018. Т. 19. №3 (95). С. 143-149.
3. Мишинов С. В., Копорушко Н. А., Ларионов П. М., Мухамадияров Р. А., Зайдман А. М., Базлов В. А., Ступак В. В. Морфологическая характеристика реакций мягких тканей при имплантации титановых имплантатов для краниопластики. Экспериментальное исследование // Современные проблемы науки и образования. 2020. №4. С. 109.
4. Лялюцкая М. Ю. Анализ рынка 3D-печати в Красноярске // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 3. №13. С. 54-56.
5. Нагибович О. А., Свистов Д. В., Пелешок С. А., Коровин А. Е., Городков Е. В. Применение технологии 3D-печати в медицине // Клиническая патофизиология. 2017. Т. 23. №3. С. 14-22.
6. Коваленко Р. А., Пташников Д. А., Черebilло В. Ю., Руденко В. В., Кашин В. А. Применение индивидуальных 3D моделей в хирургии позвоночника - обзор литературы и первый опыт использования // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2018. Т. 10. №3-4. С. 43-48.
7. Кулешов А. А., Ветрилэ М. С., Шкарубо А. Н., Доценко В. В., Еськин Н. А., Лисянский И. Н., Макаров С. Н. Аддитивные технологии в хирургии деформаций позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2018. №3-4. С. 19-29.
8. Аввакумова Т. Д., Зиновьева Е. И., Лаптева М. Е. Дефекты костей черепа. Применение краниопластики. Технология 3D-прототипирования // Новые технологии - нефтегазовому региону: Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 2020. С. 194-196.
9. Радкевич А. А., Гюнтер В. Э., Каспаров Э. В., Мамедов Р. Х., Синюк И. В. Реконструкция костных дефектов свода черепа с использованием имплантатов на основе никелида титана // Актуальные вопросы современной хирургии: Сборник научно-практических работ. Новосибирск, 2018. С. 225-229.
10. Сафонов М. Г., Строгий В. В. Применение 3D-печати в медицине // Международный студенческий научный вестник. 2015. №3-3. С. 394-395.
11. Бывальцев В. А., Калинин А. А., Малков Ф. С., Очкал С. В., Полькин Р. А. Перспективы применения технологий 3D печати в Байкальском регионе // Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе: Сборник тезисов международной научной конференции. 2019. С. 11-12.
12. Лялюцкая М. Ю. Состояние и перспективы развития аддитивных технологий в России // Стимулирование инновационного развития общества в стратегическом периоде: Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 158-163.
13. Лялюцкая М. Ю. Формирование кластера аддитивных технологий в регионе // Инновационное развитие как фактор конкурентоспособности национальных экономик: Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 73-79.
14. Семенов В. В., Верхозина Ю. А. 3D-принтеры - основа нашего будущего // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. №4. С. 1.
15. Холодилов А. А., Яковлева А. В. Применение аддитивных технологий в социальной адаптации слабовидящих людей // Современные научные исследования и разработки. 2019. №1 (30). С. 1085-1089.
16. Мишинов С. В., Ступак В. В., Мамонова Н. В., Панченко А. А., Красовский И. Б.,

Лазуренко Д. В. Методы трехмерного прототипирования и печати в реконструктивной нейрохирургии // Медицинская техника. 2017. №2 (302). С. 22-26.

17. Павлова Я. Р., Гриф А. М. Разработка наукоемкого программного обеспечения для моделирования имплантатов, используемых в нейрохирургических операциях // Вестник науки. 2020. Т. 2. №7 (28). С. 111-114.

18. Гаврилова Л. О., Мишинов С. В., Аронов А. М., Мамонова Е. В., Мамонова Н. В., Гриф А. М. Разработка автоматизированной информационной системы проектирования и моделирования индивидуальных имплантатов, получаемых аддитивными методами, на примере замещения дефектов черепа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. №11-2. С. 209-213.

19. Приходько А. А., Виноградов К. А., Вахрушев С. Г. Меры по развитию медицинских аддитивных технологий в Российской Федерации // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2019. №2 (36). С. 10-15.

20. Мишинов С. В., Ступак В. В., Панченко А. А., Красовский И. Б. Реконструкция лобно-скуло-орбитальной зоны с использованием индивидуального титанового имплантата, созданного методом прямого лазерного спекания на 3D принтере. Клинический случай // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2017. Т. 9. №1. С. 80-82.

21. Гриф А. М., Мишинов С. В. Технология формирования конфигурации индивидуальных имплантатов для проведения реконструктивных нейрохирургических операций // Цивьяновские чтения: Сборник статей научно-практической конференции. 2016. С. 939-942.

22. Николаенко А. Н. Применение 3D-моделирования и трехмерной печати в хирургии (обзор литературы) // Российский биомедицинский журнал. 2018. Т. 19. №1. С. 20-44.

23. Демчук О. В., Чичиков С. А. Анализ программных средств для 3D – принтера // Технические науки: проблемы и решения: Материалы III-IV международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 41-47.

24. Бощенко Т. В., Чепур П. В. Опыт внедрения технологий прототипирования изделий на основе 3D печати в образовательный процесс высшего учебного заведения // Современные проблемы науки и образования. 2015. №5. С. 546.

25. Высоцкий А. А. SLM-печать в двигателестроении // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 1. №12. С. 188-189.

26. Мишинов С. В., Ступак В. В., Копорушко Н. А., Панченко А. А., Красовский И. Б., Десятых И. В. Трехмерное моделирование и печать в нейрохирургии // Материалы VIII Всероссийского съезда нейрохирургов. М., 2018. С. 169.

27. Мишинов С. В., Ступак В. В., Копорушко Н. А., Самохин А. Г., Панченко А. А., Красовский И. Б., Десятых И. В., Киселев А. С. Реконструктивные нейрохирургические вмешательства с использованием индивидуальных титановых имплантатов // Медицинская техника. 2018. №3 (309). С. 5-7.

28. Соломонов И. А., Панков Д. Э., Терин А. М., Тутушкин А. К. Метод высокоскоростной обработки как способ улучшения шероховатости при работе с алюминием // Молодой ученый. 2020. №30 (320). С. 78-80.

29. Панченко А. А., Мишинов С. В. Патент на изобретение RU 2644275. Способ изготовления индивидуального имплантата для замещения дефектов костей черепа. опубл. 08.02.2018, Бюл. № 4.

30. Демчук О. В., Чичиков С. А. Интерпретация и визуализация файлов

стереолитографии с помощью OPENGL // Инновационные подходы в современной науке: Материалы VII международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 78-81.

31. Панков Д. Э., Соломонов И. А., Терин А. М., Тутушкин А. К. Лазерная стереолитография (SLA): технология 3D-печати // Молодой ученый. 2020. №48 (338). С. 48-49.

32. Рынков И. П., Древаль О. Н., Тетюхин Д. В., Козлов Е. Н. Патент на полезную модель RU 44045. Устройство для эндопротезирования дефектов черепа. опубл. 27.02.2005, Бюл. №6.

33. Нестеренко Т. С. Полимеры и 3D печать в ортопедии // Интеллектуальный и научный потенциал XXI века: материалы Международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 111-116.

34. Ступак В. В., Копорушко Н. А., Мишинов С. В., Гузев А. К., Астраков С. В., Вардосанидзе В. К., Голобоков А. В., Бобылев А. Г. Эпидемиологические данные приобретенных дефектов черепа у больных, перенесших черепно- мозговую травму, на примере крупного промышленного города (Новосибирска) // Политравма. 2019. №1. С. 6-10.

35. Колядин С. В., Тетюхин Д. В., Маринич Г. Г., Егоренкова Ю. И. Патент на изобретение RU 2638894. Имплантат для протезирования костей черепа и способ изготовления имплантата для протезирования костей черепа. Опубл. 18.12.2017, Бюл. № 35.

36. Колядин С. В., Тетюхин Д. В. Патент на полезную модель RU 81890. Формоизменяемый сеточный имплантат для фиксации и иммобилизации костных фрагментов и перекрытия костных дефектов или промежутков на одном или более местах пациента. опубл. 10.04.2009 Бюл. № 10.

37. Левченко О. В., Шалумов А. З., Крылов В. В. Использование безрамной навигации для пластического устранения костных дефектов лобно-глазничной локализации // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. 2011. №3. С. 30-36.

38. Давыдов Д. В., Левченко О. В., Дробышев А. Ю., Михайлюков В. М. Безрамная навигация в хирургическом лечении посттравматических деформаций и дефектов глазницы // Практическая медицина. 2012. №4-2 (59). С. 187-191.

39. Левченко О. В., Михайлюков В. М., Давыдов Д. В. Безрамная навигация в хирургии посттравматических дефектов и деформаций краниоорбитальной области // Нейрохирургия. 2013. №3. С. 9-14.

40. Иванов О. В., Семичев Е. В., Собакаръ Е. Е., Дрянных А. А., Шнякин П. Е., Милехина И. Е. Опыт пластики обширных дефектов черепа титановыми имплантатами // Современные технологии лечения пациентов с травмой опорно-двигательного аппарата и центральной нервной системы: Сборник статей. М., 2019. С. 97-102.

41. Иванов О. В., Семичев Е. В., Собакаръ Е. Г., Дрянных А. А., Шнякин П. Г., Милехина И. Е. Опыт пластики дефектов черепа титановыми сетчатыми имплантатами в Сибирском научно-клиническом центре ФМБА России // Актуальные вопросы современной хирургии: сборник работ. Новосибирск, 2018. С. 285-289.

42. Холодилов А. А., Яковлева А. В. Инновационное применение аддитивных технологий в медицине // Молодой ученый. 2019. №5 (243). С. 35-38.

43. Левченко О. В., Шалумов А. З., Крылов В. В. Пластика дефектов лобно-глазничной локализации с использованием безрамной навигации // Нейрохирургия. 2010. №3. С. 30-35.

44. Копорушко Н. А., Ступак В. В., Мишинов С. В., Орлов К. Ю., Астраков С. В., Вардосанидзе В. К., Голобоков А. В., Бобылев А. Г. Этиология и эпидемиология приобретенных дефектов костей черепа, полученных при различной патологии центральной

нервной системы, и число больных, нуждающихся в их закрытии, на примере крупного промышленного города // *Современные проблемы науки и образования*. 2019. №2. С. 120.

45. Копорушко Н. А., Ступак В. В., Мишинов С. В. Эпидемиология больных с приобретенными дефектами костей черепа, полученными при черепно-мозговой травме и число больных, нуждающихся в их закрытии на примере крупного промышленного города // *Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. 2018. С. 120-121.

46. Мишинов С. В., Ступак В. В., Копорушко Н. А. Реконструктивные нейрохирургические вмешательства на костях черепа с применением индивидуальных титановых имплантатов // *3D-технологии в медицине: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции*. Нижний Новгород, 2020. С. 33-35.

47. Копорушко Н. А., Мишинов С. В., Ступак В. В. Клинические результаты реконструктивных нейрохирургических вмешательств на черепе с использованием компьютерного моделирования и трехмерной печати // *Политравма*. 2020. №3. С. 54-64.

48. Копорушко Н. А., Ступак В. В., Мишинов С. В. Черепно-мозговая травма и число больных, нуждающихся в закрытии приобретенных дефектов черепа, на примере крупного промышленного города // *Материалы VIII Всероссийского съезда нейрохирургов*. М., 2018. С. 125-126.

49. Мишинов С. В., Ступак В. В., Мамонова Н. В., Копорушко Н. А., Панченко А. А., Красовский И. Б. Методы трехмерного прототипирования и печати в реконструктивной нейрохирургии // *Цивьяновские чтения: Сборник статей*. 2016. С. 945-949.

50. Мишинов С. В., Пендюрин И. В., Короткин А. А. Пятилетний опыт применения трехмерной печати в нейрохирургии // *Opinion Leader*. 2021. Т. 1. №7 (48). С. 46-51.

51. Копорушко Н. А., Ступак В. В., Мишинов С. В., Орлов К. Ю., Астраков С. В., Вардосанидзе В. К., Голобоков А. В., Бобылев А. Г. Эпидемиология и пидемиология и этиология приобретенных дефектов костей черепа на примере крупного промышленного города // *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2019. Т. 11. №5. С. 209-210.

52. Zanotti V. Cranioplasty: review of materials // *Journal of Craniofacial Surgery*. 2016. V. 27. №8. P. 2061-2072. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000003025>

53. Копорушко Н. А., Мишинов С. В., Кангельдиев А. Э., Ступак В. В. Косметические результаты реконструктивных нейрохирургических вмешательств на черепе // *Политравма*. 2020. №1. С. 47-55

54. Братцев И. С., Сметанина О. В., Яшин К. С., Горбатов Р. О., Ермолаев А. Ю., Морев А. В., Яриков А. В., Медяник И. А., Карякин Н. Н. Краниопластика посттравматических дефектов черепа с применением аддитивных технологий 3D-печати // *Нейрохирургия*. 2021. Т. 23. №2. С. 34-43.

55. Бурцев А. В., Губин А. В., Рябых С. О., Сергиенко О. М. Применение 3D-моделирования и печати при задней стабилизации шейного отдела позвоночника винтовыми конструкциями // *3D-технологии в медицине: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*. 2019. С. 10-11.

56. Бурцев А. В., Павлова О. М., Рябых С. О., Губин А. В. Компьютерное 3D-моделирование с изготовлением индивидуальных лекал для навигирования введения винтов в шейном отделе позвоночника // *Хирургия позвоночника*. 2018. Т. 15. №2. С. 33-38.

57. Wu A-M, Shao Z-X, Wang J-S, Yang X-D, Weng W-Q, Wang X-Y, et al. The accuracy of

a method for printing three-dimensional spinal models // PLoS One. 2015. V. 10. №4. P. e0124291. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124291>

58. Коваленко Р. А., Руденко В. В., Кашин В. А., Черebilло В. Ю., Пташников Д. А. Применение индивидуальных 3D-навигационных матриц для транспедикулярной фиксации субаксиальных шейных и верхнегрудных позвонков // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16. №2. С. 35-41.

59. Снетков А. А., Горбатюк Д. С., Пантелеев А. А., Еськин Н. А., Колесов С. В. Анализ применения 3D-прототипирования при хирургической коррекции врожденных кифосколиозов // Хирургия позвоночника. 2020. Т. 17. №1. С. 42-53.

60. Коваленко Р. А., Руденко В. В., Кашин В. А., Черebilло В. Ю., Пташников Д. А. Оценка безопасности и точности имплантации винтов в С2 позвонок с применением индивидуальных 3D-навигационных матриц // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2020. Т. 84. №2. С. 42-50.

61. Михайлов Д. А., Пташников Д. А. Патент на полезную модель RU 176259. Имплантат для переднего спондилодеза позвоночника в поясничном отделе. опубл. 12.01.2018 Бюл. № 2.

62. Денисов А. А., Пташников Д. А., Михайлов Д. А., Масевнин С. В., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С. Рентгенологическая оценка коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза при применении индивидуальных лордозизирующих межтеловых имплантатов у пациентов с дегенеративным сколиозом // Травматология и ортопедия России. 2020. Т. 26. №2. С. 71-78.

63. Коваленко Р. А., Кашин В. А., Черebilло В. Ю., Руденко В. В., Данилов И. Н., Чернов А. В., Митрофанова Л. Б. Удаление гигантских пресакральных нейрогенных опухолей с применением индивидуальных 3d-моделей: анализ серии случаев и обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 2. С. 73-82.

References:

1. Levchenko, O. V. (2010). Sovremennyye metody kranioplastiki. *Neirokhirurgiya*, (2), 5-13. (in Russian).

2. Ivanov, O. V., Semichev, E. V., Shnyakin, P. G., & Sobakar', E. G. (2018). Plastika defektov cherepa: ot autokosti k sovremennym biomaterialam (obzor literatury). *Meditinskaya nauka i obrazovanie Urala*, 19(3 (95)), 143-149. (in Russian).

3. Mishinov, S. V., Koporushko, N. A., Larionov, P. M., Mukhamadiyarov, R. A., Zaidman, A. M., Bazlov, V. A., & Stupak, V. V. (2020). Morfologicheskaya kharakteristika reaktsii myagkikh tkanei pri implantatsii titanovykh implantatov dlya kranioplastiki. *Eksperimental'noe issledovanie. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, (4), 109. (in Russian).

4. Lyalyutskaya, M. Yu. (2017). Analiz rynka 3D-pechati v Krasnoyarske. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 3(13), 54-56. (in Russian).

5. Nagibovich, O. A., Svistov, D. V., Peleshok, S. A., Korovin, A. E., & Gorodkov, E. V. (2017). Primenenie tekhnologii 3D-pechati v meditsine. *Klinicheskaya patofiziologiya*, 23(3), 14-22. (in Russian).

6. Kovalenko, R. A., Ptashnikov, D. A., Cherebillo, V. Yu., Rudenko, V. V., & Kashin, V. A. (2018). Primenenie individual'nykh 3D modelei v khirurgii pozvonochnika - obzor literatury i pervyi opyt ispol'zovaniya. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal im. professora A.L. Polenova*, 10(3-4), 43-48. (in Russian).

7. Kuleshov, A. A., Vetrile, M. S., Shkarubo, A. N., Dotsenko, V. V., Es'kin, N. A., Lisyanskii, I. N., & Makarov, S. N. (2018). Additivnye tekhnologii v khirurgii deformatsii pozvonochnika. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*, (3-4), 19-29. (in Russian).
8. Avvakumova, T. D., Zinov'eva, E. I., & Lapteva, M. E. (2020). Defekty kostei cherepa. Primenenie kranioplastiki. Tekhnologiya 3D-prototipirovaniya. In *Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*, Tyumen', 194-196. (in Russian).
9. Radkevich, A. A., Gyunter, V. E., Kasparov, E. V., Mamedov, R. Kh., & Siniyuk, I. V. (2018). Rekonstruktsiya kostnykh defektov svoda cherepa s ispol'zovaniem implantatov na osnove nikelida titana. In *Aktual'nye voprosy sovremennoi khirurgii: Sbornik nauchno-prakticheskikh rabot*, Novosibirsk, 225-229. (in Russian).
10. Safonov, M. G., & Strogii, V. V. (2015). Primenenie 3D-pechati v meditsine. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik*, (3-3), 394-395. (in Russian).
11. Byvaltsev, V. A., Kalinin, A. A., Malkov, F. S., Ochkal, S. V., & Pol'kin, R. A. (2019). Perspektivy primeneniya tekhnologii 3D pečati v Baikal'skom regione. In *Perspektivy razvitiya biomeditsinskikh tekhnologii v Baikal'skom regione: Sbornik tezisov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, 11-12. (in Russian).
12. Lyalyutskaya, M. Yu. (2018). Sostoyanie i perspektivy razvitiya additivnykh tekhnologii v Rossii. In *Stimulirovanie innovatsionnogo razvitiya obshchestva v strategicheskom periode: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 158-163. (in Russian).
13. Lyalyutskaya, M. Yu. (2018). Formirovanie klastera additivnykh tekhnologii v regione. In *Innovatsionnoe razvitie kak faktor konkurentosposobnosti natsional'nykh ekonomik: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 73-79. (in Russian).
14. Semenov, V. V., & Verkhovina, Yu. A. (2017). 3D-printery - osnova nashego budushchego. *Molodezhnyi vestnik IrGTU*, (4), 1. (in Russian).
15. Kholodilov, A. A., & Yakovleva, A. V. (2019). Primenenie additivnykh tekhnologii v sotsial'noi adaptatsii slabovidyashchikh lyudei. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, (1 (30)), 1085-1089. (in Russian).
16. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., Mamonova, N. V., Panchenko, A. A., Krasovskii, I. B., & Lazurenko, D. V. (2017). Metody trekhmernogo prototipirovaniya i pečati v rekonstruktivnoi neirokhirurgii. *Meditsinskaya tekhnika*, (2 (302)), 22-26. (in Russian).
17. Pavlova, Ya. R., & Grif, A. M. (2020). Razrabotka naukoemkogo programmno obespecheniya dlya modelirovaniya implantatov, ispol'zuemykh v neirokhirurgicheskikh operatsiyakh. *Vestnik nauki*, 2(7 (28)), 111-114. (in Russian).
18. Gavrilova, L. O., Mishinov, S. V., Aronov, A. M., Mamonova, E. V., Mamonova, N. V., & Grif, A. M. (2017). Razrabotka avtomatizirovannoi informatsionnoi sistemy proektirovaniya i modelirovaniya individual'nykh implantatov, poluchaemykh additivnymi metodami, na primere zameshcheniya defektov cherepa. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, (11-2), 209-213. (in Russian).
19. Prikhodko, A. A., Vinogradov, K. A., & Vakhrushev, S. G. (2019). Mery po razvitiyu meditsinskikh additivnykh tekhnologii v Rossiiskoi Federatsii. *Meditsinskie tekhnologii. Otsenka i vybor*, (2 (36)), 10-15. (in Russian).
20. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., Panchenko, A. A., & Krasovskii, I. B. (2017). Rekonstruktsiya lobno-skulo-orbital'noi zony s ispol'zovaniem individual'nogo titanovogo implantata, sozdannogo metodom pryamogo lazernogo spekaniya na 3D printere. *Klinicheskii sluchai. Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal im. professora A.L. Polenova*, 9(1), 80-82. (in Russian).

Russian).

21. Grif, A. M., & Mishinov, S. V. (2016). Tekhnologiya formirovaniya konfiguratsii individual'nykh implantatov dlya provedeniya rekonstruktivnykh neirokhirurgicheskikh operatsii. In *Tsiv'yanovskie chteniya: Sbornik statei nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 939-942. (in Russian).

22. Nikolaenko, A. N. (2018). Primenenie 3D-modelirovaniya i trekhmernoi pechati v khirurgii (obzor literatury). *Rossiiskii biomeditsinskii zhurnal*, 19(1), 20-44. (in Russian).

23. Demchuk, O. V., & Chichikov, S. A. (2017). Analiz programmnykh sredstv dlya 3D – printera. In *Tekhnicheskie nauki: problemy i resheniya: Materialy III-IV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow, 41-47. (in Russian).

24. Boshchenko, T. V., & Chepur, P. V. (2015). Opyt vnedreniya tekhnologii prototipirovaniya izdelii na osnove 3D pechati v obrazovatel'nyi protsess vysshego uchebnogo zavedeniya. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, (5), 546. (in Russian).

25. Vysotskii, A. A. (2016). SLM-pechat' v dvigatelestroenii. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 1(12), 188-189. (in Russian).

26. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., Koporushko, N. A., Panchenko, A. A., Krasovskii, I. B., & Desyatykh, I. V. (2018). Trekhmernoe modelirovanie i pechat' v neirokhirurgii. In *Materialy VIII Vserossiiskogo s"ezda neirokhirurgov*, Moscow, 169. (in Russian).

27. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., Koporushko, N. A., Samokhin, A. G., Panchenko, A. A., Krasovskii, I. B., Desyatykh, I. V., & Kiselev, A. S. (2018). Rekonstruktivnye neirokhirurgicheskie vmeshatel'stva s ispol'zovaniem individual'nykh titanovykh implantatov. *Meditsinskaya tekhnika*, (3 (309)), 5-7. (in Russian).

28. Solomonov, I. A., Pankov, D. E., Terin, A. M., & Tutushkin, A. K. (2020). Metod vysokoskorostnoi obrabotki kak sposob uluchsheniya sherokhovatosti pri rabote s alyuminiem. *Molodoi uchenyi*, (30 (320)), 78-80. (in Russian).

29. Panchenko, A. A., & Mishinov, S. V. (2018). Patent na izobretenie RU 2644275. Sposob izgotovleniya individual'nogo implantata dlya zameshcheniya defektov kostei cherepa. opubl. 08.02.2018, Byul. №4. (in Russian).

30. Demchuk, O. V., & Chichikov, S. A. (2017). Interpretatsiya i vizualizatsiya failov stereolitografii s pomoshch'yu OPENGL. In *Innovatsionnye podkhody v sovremennoi nauke: Materialy VII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow. 78-81. (in Russian).

31. Pankov, D. E., Solomonov, I. A., Terin, A. M., & Tutushkin, A. K. (2020). Lazernaya stereolitografiya (SLA): tekhnologiya 3D-pechati. *Molodoi uchenyi*, (48 (338)), 48-49. (in Russian).

32. Rynkov, I. P., Dreval', O. N., Tetyukhin, D. V., & Kozlov, E. N. (2005). Patent na poleznuyu model' RU 44045. Ustroistvo dlya endoprotezirovaniya defektov cherepa. opubl. 27.02.2005, Byul. №6. (in Russian).

33. Nesterenko, T. S. (2017). Polimery i 3D pechat' v ortopedii. In *Intellektual'nyi i nauchnyi potentsial XXI veka: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow. 111-116. (in Russian).

34. Ctupak, V. V., Koporushko, N. A., Mishinov, S. V., Guzev, A. K., Astrakov, S. V., Vardosanidze, V. K., Golobokov, A. V., & Bobylev, A. G. (2019). Epidemiologicheskie dannye priobretennykh defektov cherepa u bol'nykh, perenesshikh cherepno- mozgovuyu travmu, na primere krupnogo promyshlennogo goroda (Novosibirsk). *Politravma*, (1), 6-10. (in Russian).

35. Kolyadin, S. V., Tetyukhin, D. V., Marinich, G. G., & Egorenkova, Yu. I. (2017). Patent na izobretenie RU 2638894. Implantat dlya protezirovaniya kostei cherepa i sposob izgotovleniya implantata dlya protezirovaniya kostei cherepa. Opubl. 18.12.2017, Byul. № 35. (in Russian).

36. Kolyadin, S. V., & Tetyukhin, D. V. (2009). Patent na poleznuyu model' RU 81890.

Formoizmenyaemyi setochnyi implantant dlya fiksatsii i immobilizatsii kostnykh fragmentov i perekryvaniya kostnykh defektov ili promezhutkov na odnom ili bolee mestakh patsienta. opubl. 10.04.2009 Byul. № 10. (in Russian).

37. Levchenko, O. V., Shalumov, A. Z., & Krylov, V. V. (2011). Ispol'zovanie bezramnoi navigatsii dlya plasticheskogo ustraneniya kostnykh defektov lobno-glaznichnoi lokalizatsii. *Annaly plasticheskoi, rekonstruktivnoi i esteticheskoi khirurgii*, (3), 30-36. (in Russian).

38. Davydov, D. V., Levchenko, O. V., Drobyshev, A. Yu., & Mikhailyukov, V. M. (2012). Bezramnaya navigatsiya v khirurgicheskom lechenii posttravmaticheskikh deformatsii i defektov glaznitsy. *Prakticheskaya meditsina*, (4-2 (59)), 187-191. (in Russian).

39. Levchenko, O. V., Mikhailyukov, V. M., & Davydov, D. V. (2013). Bezramnaya navigatsiya v khirurgii posttravmaticheskikh defektov i deformatsii kranioorbital'noi oblasti. *Neirokhirurgiya*, (3), 9-14. (in Russian).

40. Ivanov, O. V., Semichev, E. V., Sobakar', E. E., Dryannykh, A. A., Shnyakin, P. E., & Milekhina, I. E. (2019). Opyt plastiki obshirnykh defektov cherepa titanovymi implantatami. In *Sovremennye tekhnologii lecheniya patsientov s travmoi oporno-dvigatel'nogo apparata i tsentral'noi nervnoi sistemy: Sbornik statei*, Moscow, 97-102. (in Russian).

41. Ivanov, O. V., Semichev, E. V., Sobakar', E. G., Dryannykh, A. A., Shnyakin, P. G., & Milekhina, I. E. (2018). Opyt plastiki defektov cherepa titanovymi setchatymi implantatami v Sibirskom nauchno-klinicheskom tsentre FMBA Rossii. In *Aktual'nye voprosy sovremennoi khirurgii: sbornik rabot*, Novosibirsk, 285-289. (in Russian).

42. Kholodilov, A. A., & Yakovleva, A. V. (2019). Innovatsionnoe primenenie additivnykh tekhnologii v meditsine. *Molodoi uchenyi*, (5 (243)), 35-38. (in Russian).

43. Levchenko, O. V., Shalumov, A. Z., & Krylov, V. V. (2010). Plastika defektov lobno-glaznichnoi lokalizatsii s ispol'zovaniem bezramnoi navigatsii. *Neirokhirurgiya*, (3), 30-35. (in Russian).

44. Koporushko, N. A., Stupak, V. V., Mishinov, S. V., Orlov, K. Yu., Astrakov, S. V., Vardosanidze, V. K., Golobokov, A. V., & Bobylev, A. G. (2019). Etiologiya i epidemiologiya priobretennykh defektov kostei cherepa, poluchennykh pri razlichnoi patologii tsentral'noi nervnoi sistemy, i chislo bol'nykh, nuzhdayushchikhsya v ikh zakrytii, na primere krupnogo promyshlennogo goroda. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, (2), 120. (in Russian).

45. Koporushko, N. A., Stupak, V. V., & Mishinov, S. V. (2018). Epidemiologiya bol'nykh s priobretennymi defektami kostei cherepa, poluchennymi pri cherepno-mozgovoi travme i chislo bol'nykh, nuzhdayushchikhsya v ikh zakrytii na primere krupnogo promyshlennogo goroda. In *Tekhnologicheskie innovatsii v travmatologii, ortopedii i neirokhirurgii: integratsiya nauki i praktiki: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, 120-121. (in Russian).

46. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., & Koporushko, N. A. (2020). Rekonstruktivnye neirokhirurgicheskie vmeshatel'stva na kostyakh cherepa s primeneniem individual'nykh titanovykh implantatov. In *3D-tekhnologii v meditsine: Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Nizhnii Novgorod*, 33-35. (in Russian).

47. Koporushko, N. A., Mishinov, S. V., & Stupak, V. V. (2020). Klinicheskie rezul'taty rekonstruktivnykh neirokhirurgicheskikh vmeshatel'stv na cherepe s ispol'zovaniem komp'yuternogo modelirovaniya i trekhmernoi pechati. *Politravma*, (3), 54-64. (in Russian).

48. Koporushko, N. A., Stupak, V. V., & Mishinov, S. V. (2018). Cherepno-mozgovaya travma i chislo bol'nykh, nuzhdayushchikhsya v zakrytii priobretennykh defektov cherepa, na primere krupnogo promyshlennogo goroda. In *Materialy VIII Vserossiiskogo s'ezda neirokhirurgov*,

Moscow, 125-126. (in Russian).

49. Mishinov, S. V., Stupak, V. V., Mamonova, N. V., Koporushko, N. A., Panchenko, A. A., & Krasovskii, I. B. (2016). Metody trekhmernogo prototipirovaniya i pečati v rekonstruktivnoi neirokhirurgii. In Tsiv'yanovskie chteniya: *Sbornik statei*, 945-949. (in Russian).

50. Mishinov, S. V., Pentyurin, I. V., & Korytkin, A. A. (2021). Pyatiletnii opyt primeneniya trekhmernoi pečati v neirokhirurgii. *Opinion Leader*, 1(7 (48)), 46-51. (in Russian).

51. Koporushko, N. A., Stupak, V. V., Mishinov, S. V., Orlov, K. Yu., Astrakov, S. V., Vardosanidze, V. K., Golobokov, A. V., & Bobylev, A. G. (2019). Epidemiologiya i pidemiologiya i etiologiya priobretennykh defektov kostei cherepa na primere krupnogo promyshlennogo goroda. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal im. professora A.L. Polenova*, 11(S), 209-210. (in Russian).

52. Zanotti, B. (2016). Cranioplasty: review of materials. *Journal of Craniofacial Surgery*, 27(8), 2061-2072. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000003025>

53. Koporushko, N. A., Mishinov, S. V., Kangel'diev, A. E., & Stupak, V. V. (2020). Kosmeticheskie rezul'taty rekonstruktivnykh neirokhirurgicheskikh vmeshatel'stv na cherepe. *Politravma*, (1), 47-55. (in Russian).

54. Brattsev, I. S., Smetanina, O. V., Yashin, K. S., Gorbatov, R. O., Ermolaev, A. Yu., Morev, A. V., Yarikov, A. V., Medyanik, I. A., & Karyakin, N. N. (2021). Kranioplastika posttrepanatsionnykh defektov cherepa s primeneniem additivnykh tekhnologii 3D-peçati. *Neirokhirurgiya*, 23(2), 34-43. (in Russian).

55. Burtsev, A. V., Gubin, A. V., Ryabykh, S. O., & Sergienko, O. M. (2019). Primenenie 3D-modelirovaniya i pečati pri zadnei stabilizatsii sheinogo otdela pozvonochnika vintovymi konstruktsiyami. In *3D-tekhnologii v meditsine: Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 10-11. (in Russian).

56. Burtsev, A. V., Pavlova, O. M., Ryabykh, S. O., & Gubin, A. V. (2018). Komp'yuternoe 3D-modelirovanie s izgotovleniem individual'nykh lekal dlya navigirovaniya vvedeniya vintov v sheinom otdele pozvonochnika. *Khirurgiya pozvonochnika*, 15(2), 33-38. (in Russian).

57. Wu, A. M., Shao, Z. X., Wang, J. S., Yang, X. D., Weng, W. Q., Wang, X. Y., ... & Lin, Z. K. (2015). The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS One*, 10(4), e0124291. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124291>

58. Kovalenko, R. A., Rudenko, V. V., Kashin, V. A., Cherebillo, V. Yu., & Ptashnikov, D. A. (2019). Primenenie individual'nykh 3D-navigatsionnykh matrits dlya transpedikulyarnoi fiksatsii subaksial'nykh sheinykh i verkhnegrudnykh pozvonkov. *Khirurgiya pozvonochnika*, 16(2), 35-41. (in Russian).

59. Snetkov, A. A., Gorbatyuk, D. S., Panteleev, A. A., Es'kin, N. A., & Kolesov, S. V. (2020). Analiz primeneniya 3D-prototipirovaniya pri khirurgicheskoi korrektsii vrozhdennykh kifoskoliozov. *Khirurgiya pozvonochnika*, 17(1), 42-53. (in Russian).

60. Kovalenko, R. A., Rudenko, V. V., Kashin, V. A., Cherebillo, V. Yu., & Ptashnikov, D. A. (2020). Otsenka bezopasnosti i tochnosti implantatsii vintov v S2 pozvonok s primeneniem individual'nykh 3D-navigatsionnykh matrits. *Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko*, 84(2), 42-50. (in Russian).

61. Mikhailov, D. A., & Ptashnikov, D. A. (2018). Patent na poleznuyu model' RU 176259. Implantat dlya pered(in Russian). nego spondilodeza pozvonochnika v poyasnichnom otdele. opubl. 12.01.2018 Byul. № 2.

62. Denisov, A. A., Ptashnikov, D. A., Mikhailov, D. A., Masevnin, S. V., Smekalenkov, O. A., & Zaborovskii, N. S. (2020). Rentgenologicheskaya otsenka korrektsii segmentarnogo i obshchego poyasnichnogo lordoza pri primenenii individual'nykh lordoziruyushchikh mezhtelovykh

implantatov u patsientov s degenerativnym skoliozom. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*, 26(2), 71-78. (in Russian).

63. Kovalenko, R. A., Kashin, V. A., Cherebillo, V. Yu., Rudenko, V. V., Danilov, I. N., Chernov, A. V., & Mitrofanova, L. B. (2021). Udalenie gigantskikh presakral'nykh neirogennykh opukholei s primeneniem individual'nykh 3d-modelei: analiz serii sluchaev i obzor literatury. *Khirurgiya pozvonochnika*, 18(2), 73-82. (in Russian).

Работа поступила
в редакцию 12.02.2022 г.

Принята к публикации
18.02.2022 г.

Ссылка для цитирования:

Яриков А. В., Шпагин М. В., Горбатов Р. О., Соснин А. Г., Перльмуттер О. А., Фраерман А. П., Синегуб А. В., Искровский С. В., Столяров И. И., Цыбусов С. Н., Преснов Д. В. Применение лазерных методов 3D-печати в нейрохирургии // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. №3. С. 174-190. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/19>

Cite as (APA):

Yarikov, A., Shpagin, M., Gorbatov, R., Sosnin, A., Perlmutter, O., Fraerman, A., Sinegub, A., Iskrovskii, S., Stolyarov, I., Tsybusov, S., & Presnov, D. (2022). Application of 3D Laser Printing Methods in Neurosurgery. *Bulletin of Science and Practice*, 8(3), 174-190. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/19>