

Литература

1. Пантелеенко, Ф. И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск : Технопринт, 2001. – 300 с.
2. Гринкевич, И. В. Устройство для электромагнитной наплавки наружных цилиндрических поверхностей / И. В. Гринкевич, М. П. Кульгейко, С. В. Рогов // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – № 2. – С. 100–102.
3. Кожуро, Л. М. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей машин ЭМН : дис. ... д-ра техн. наук / Л. М. Кожуро. – Минск : Белорус. аграр. техн. ун-т, 1985.
4. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск : Навукаі тэхніка, 1998.
5. Блехман, Н. И. Что может вибрация?: О «вибрационной механике» и вибрационной технике / Н. И. Блехман. – М. : Наука, 1988.
6. О вибрационном уплотнении в порошковой металлургии / В. И. Лихтман [и др.] // Докл. АН СССР. – 1960. – Т. 134, № 5. – С. 1150–1152.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. А. Кашперов, Д. А. Довгало, Д. С. Чувашов, И. А. Галушкин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ж. В. Кадолич

Показано, что симбиоз компьютерного моделирования и 3D-печати позволяет смоделировать и изготовить изделие медицинской техники с высокой точностью геометрических параметров. С помощью 3D-моделирования разработаны конструкции тотального эндопротеза височно-нижнечелюстного сустава и аноскопа, который обеспечивает максимально точное и эффективное исследование области прямой кишки, а также улучшает эргономические условия клинической практики. Сделан вывод, что 3D-печать способна конкурировать с традиционными способами изготовления изделий медицинского назначения.

Ключевые слова: эндопротезирование, проктология, 3D-моделирование, 3D-печать.

Аддитивные технологии могут быть применены во многих отраслях и в настоящее время позволяют изготавливать значительное количество медицинских изделий, которые помогают в диагностировании и лечении, преодолении последствий заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых, проктологических и других распространенных проблем со здоровьем. Следует отметить, что разработка изделий медицинской техники осуществляется, как правило, совместными усилиями специалистов естественных и технических наук. Рассмотрим несколько примеров применения аддитивных технологий, апробированных в отношении изделий медицинской техники в ходе выполнения научно-исследовательских работ на кафедре «Материаловедение в машиностроении» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого.

Эндопротезирование. На сегодняшний день эндопротезирование является одной из самых быстрорастущих отраслей медицины. Однако традиционные методы производства эндопротезов накладывают ряд ограничений на их использование. Поэтому все большее внимание специалистов направлено на реализацию преимуществ цифровых технологий, в частности, на возможность совместить компьютерное моделирование эндопротеза с его быстрым изготовлением при использовании методов 3D-печати.

Височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) – сустав, позволяющий человеку открывать и закрывать нижнюю челюсть. Сам сустав нельзя назвать простым, так как он окружен мягкими тканями, отвечающими за те или иные функции [1].

Конструкция тотального эндопротеза ВНЧС представлена на рис. 1.

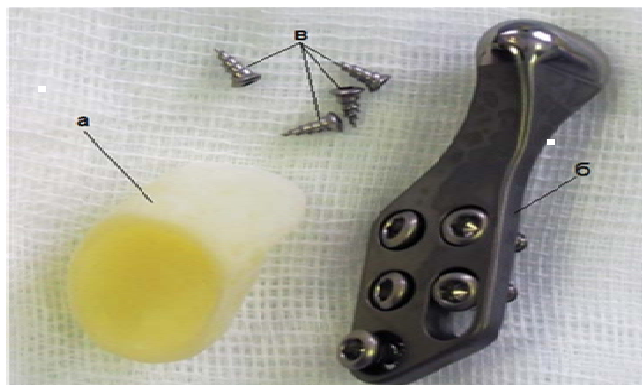


Рис. 1. Общий вид эндопротеза ВНЧС:
а – суставная ямка височной кости; б – мышечковый отросток нижней челюсти; в – элементы крепления

Цель работы – создание оптимальной геометрии эндопротеза ВНЧС для 3D-печати.

Предпосылки работ в данном направлении состоят в том, что на сегодняшний день в Республике Беларусь в медицинской практике обычно удаляют пораженные части костной структуры ВНЧС с последующим сращиванием подвижного сустава. Очевидно, что подобная методика лечения даже при условии положительного исхода операции ухудшает качество жизни пациента в целом. Трехмерная печать решает вопрос индивидуального эндопротезирования, позволяя быстро изготовить «эксклюзивный эндопротез» с помощью компактного оборудования.

Первый этап изготовления эндопротезов ВНЧС с использованием аддитивных технологий [1] – это «виртуальное» планирование предстоящего операционного вмешательства. С помощью КТ-снимков (компьютерная томография) создается 3D-модель черепа конкретного пациента, на которой хирург отмечает зону удаления какой-либо части деформированных костных структур. Второй этап – моделирование структурных частей эндопротеза. Третий этап – 3D-печать индивидуальных эндопротезов ВНЧС.

Для преобразования КТ-снимков в работе использовали программу *3DSlicer*. При ее запуске импортируются данные пациента, полученные при КТ челюсти. Файлы должны иметь расширение *dcm*. С помощью вкладки *Segmentations–Exporttofiles* полученную модель сохраняли в формате *stl* и загружали в программу *Meshmixer*. С помощью инструментов выделения и удаления оставляли только нужную часть и получали модель ВНЧС, с помощью которой можно начинать разработку эндопротеза ВНЧС. Следует отметить, что перед началом работы необходимо иметь данные о приблизительных размерах ВНЧС. Для этого полученную ранее 3D-модель загружали в программу *3DSlicer* и с помощью инструмента *Ruler* проводили необходимые измерения. По полученным размерным параметрам в программе *Fusion 360* создавали 3D-модели структурных частей эндопротеза ВНЧС. Важно, что «эксклюзивные эндопротезы» всегда имеют разную форму в зависимости от индивидуальных особенностей человека, ввиду чего результаты моделирования должны быть обязательно согласованы с врачом, проводящим операцию [2].

Далее проверяли совместимость эндопротеза с костной структурой. Для этого в программе *3DSlicer* проводили виртуальную резекцию фрагмента кости. Далее в программу загружали модель эндопротеза ВНЧС, которая далее устанавливается на место удаленного фрагмента (рис. 2).

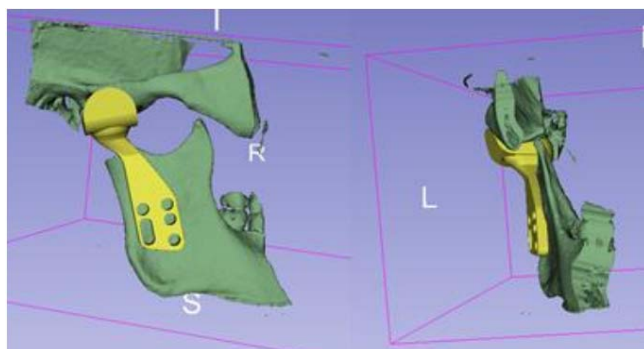


Рис. 2. Костная структура, совмещенная с эндопротезом ВНЧС

Полученную конструкцию подвергали топологической оптимизации в программе *Fusion 360*, по результатам которой в качестве экспериментального материала для изготовления мышечкового отростка нижней челюсти рекомендовано использовать титановый сплав *Ti6Al4V*, а для суставной ямки височной кости – сверхвысокомолекулярный полиэтилен либо композит на его основе. Кроме того, с помощью *Fusion 360* узнали, что масса мышечкового отростка в нашем случае составила 18,699 г, а на изготовление суставной ямки височной кости уйдет 2,85 мл фотополимера.

Завершающий этап работы – 3D-печать оптимизированной модели – достаточно тривиальная задача, которая технически реализуется специальными принтерами на основе соответствующих компьютерных файлов: *SLM*-печать для мышечкового отростка нижней челюсти и *FDM*-печать для суставной ямки височной кости [3].

Следует отметить, что описанный в работе способ производства эндопротезов ВНЧС не лишен проблемных моментов [1, 2]. В частности, внедрение трехмерных технологий в медицину в масштабах Республики Беларусь апробировано лишь на единичных примерах. Однако тот факт, что с 2016 г. в нашей стране началось бурное развитие работ в области 3D-печати [4], позволяет надеяться, что данный способ производства индивидуальных эндопротезов, в том числе ВНЧС, со временем займет свою нишу.

Проктология. Сидячий, малоподвижный образ жизни, неправильное питание, инфекции, травмы, плохая генетика и экология, влияние производственных факторов – все это может послужить появлению у человека очень распространенных в настоящее время заболеваний проктологического характера (геморрой, анальная трещина, проктит, пролапс и т. д.) [5]. Лечение таких заболеваний, в зависимости от их тяжести, может включать в себя не только изменение образа жизни, но и медикаментозную терапию или хирургическое вмешательство. Следует отметить, что используемый проктологический медицинский инструментарий имеет ряд функциональных и эргономических недостатков. Поэтому совершенствование конструкций, дизайна проктологических инструментов с целью придания им специализированных функций и возможности производства на территории нашей страны – актуальная задача, ускорить решение которой возможно при условии привлечения специалистов технического профиля, владеющих в том числе знаниями в области аддитивных технологий.

Цель работы – усовершенствование конструкции и дизайна пластикового операционного ректального аноскопа для приобретения им новых функций и возможностей. Для достижения поставленной цели проктологом были сформулированы следующие задачи: закрыть переднее отверстие в аноскопе и убрать ручку для освобождения руки врача.

Для 3D-моделирования в работе использовали программу *SolidWorks 2020*, которая позволяет создавать точные индивидуальные модели, в том числе медицинских изделий, а также проводить их виртуальное тестирование. Из четырех рабочих вариантов 3D-моделей объекта проектирования окончательный выбор был сделан в пользу конструкции с «язычками» (рис. 3), поскольку в этом случае, используя медицинский пластырь, возможно приклеить аноскоп за «язычки» к коже пациента, чтобы таким образом освободить руку врача. Целесообразным было также добавить освещение. Для этой цели рекомендована диодная LED-лампочка белого холодного света и три щелочные батарейки-таблетки LR626. Светодиод расположен таким образом, чтобы часть светового потока поступала в объем материала и посредством преломления света освещала аноскоп изнутри, тем самым позволяя диагностировать различные аномалии. Вторая часть светового потока проходит через материал и освещает непосредственно область операции, способствуя большей освещенности. Поскольку освещение осуществляется через корпус, в перспективе – провести анализ светового преломления с целью оценки эффективности решения по наличию осветительных устройств.

Результатом моделирования стало готовое изделие весом 43 г, время 3D-печати которого при условии использования FDM-технологии и ABS-пластика в качестве материала для 3D-принтера составило 2 ч 45 мин. В числе критериев выбора материала значился факт необходимости проведения стерилизации изделия на финише производственного процесса. Кроме того, ABS устойчив к воздействию на него таких веществ, как щелочь, соль, кислоты, выдерживает механические нагрузки, а также растворяется в ацетоне [6], что позволяет полировать изделие и корректировать при необходимости его некоторые геометрические параметры.

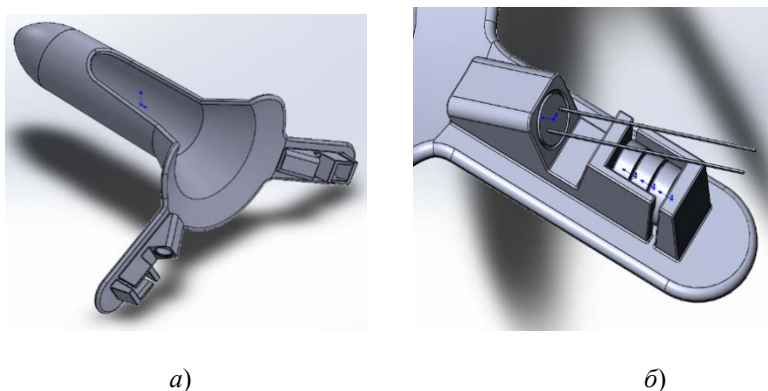


Рис. 3. 3D-модель модернизированного одноразового операционного аноскопа с «язычками» (а) и сборка осветительной части (б)

Предложенный вариант одноразового операционного аноскопа обеспечивает максимально точное и эффективное исследование области прямой кишки, минимизирует риск травмы внутренних органов, а также улучшает эргономические условия клинической практики. Невысокая стоимость готового изделия позволяет надеяться

на перспективность данной работы с точки зрения практического внедрения, а рост внимания к 3D-моделированию и 3D-печати медицинских изделий способны кардинально решить актуальную проблему импортозамещения в области медицины.

Л и т е р а т у р а

1. Епифанов, С. А. Протезирование височно-нижнечелюстного сустава / С. А. Епифанов, А. П. Поляков, В. Д. Скуредин // Вестн. Нац. мед.-хирург. центра им. Н. И. Пирогова. – 2014. – № 4. – С. 17–22.
2. Особенности трехмерного моделирования анатомических структур человека для повышения эффективности оперативного лечения в ортопедии и нейрохирургии / Е. В. Ковалев [и др.] // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. : в 2 ч. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – Ч. 1. – С. 125–127.
3. Применение трехмерных технологий для индивидуального эндопротезирования височно-нижнечелюстного сустава / Ж. В. Кадолич [и др.] // Полимер. материалы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 68–77.
4. Опыт разработки материалов и изделий медицинского и технического назначения с использованием аддитивных технологий / В. В. Дубровский [и др.] // Полимер. материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 78–85.
5. Алексеев, С. А. Основы колопроктологии: учеб. пособие / С. А. Алексеев, В. А. Гинюк. – Минск : Выш. шк., 2019. – 160 с.
6. Поздняков, Е.П. Материалы аддитивного синтеза : пособие / Е. П. Поздняков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 283 с.

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16CrMnS5

А. Д. Лёвкина, Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Д. В. Куис

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Т. И. Сидоренко, А. М. Коротцов

Открытое акционерное общество «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин

А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев

Рудненский индустриальный институт, Казахстан

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Приведены результаты исследований влияния длительности цементации с последующей термической обработкой на структурообразование и микротвердость поверхностных слоев, сформированных на стали 18ХГТ и ее зарубежного аналога 16CrMnS5. Установлено, что слои стали 18ХГТ имеют более развитую карбидную фазу по отношению к аналогичным слоям стали 16CrMnS5.

Ключевые слова: цементация, конструкционная сталь, карбиды, морфология, микроструктура, микротвердость.

Для повышения срока службы различных деталей, работающих в условиях усталостного изнашивания, используют методы термодиффузионного упрочнения