

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА

*Довыденкова В.П., к.т.н., доц., Гришаев А.Н., ст. преп., Лупач В.В., студ.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрена возможность использования аддитивных технологий для посттравматической реабилитации лучезапястного сустава. Приведена последовательность разработки 3D-ортезов (лонгет), примеры цифровых моделей различных вариантов ортезов, результаты апробации напечатанных натуральных образцов.

Ключевые слова: 3D-печать, лучезапястный сустав, твердотельная модель, сканер, PLA-пластик, натуральный образец.

Технологии 3D-печати активно набирают популярность среди крупных производителей пластиковых изделий и простых обывателей, так как обладают рядом преимуществ перед традиционными технологиями создания различных изделий из пластика. 3D-печать (также известная как аддитивное производство) – это процесс создания твердых трёхмерных объектов любой формы из цифровой компьютерной модели [1].

Технологии аддитивного производства уже являются альтернативой традиционным технологиям при изготовлении деталей малого размера с высокими требованиями к точности. Также появляются области промышленности, создающие изделия только с помощью аддитивных технологий. 3D-печать находит широкое применение в изготовлении архитектурных макетов зданий, строительстве, мелкосерийном производстве эксклюзивных изделий [2].

Лучезапястный сустав является достаточно подвижным и принимает на себя различные силовые нагрузки, поэтому подвержен частому травмированию. В настоящее время для посттравматической иммобилизации используются преимущественно устаревшие технологии накладывания гипсовых повязок, хотя существующие инновационные технологии 3D-сканирования и печати позволяют изготавливать устройства, конфигурация которых должна копировать антропометрические особенности строения отдельных участков тела человека. Для посттравматической реабилитации лучезапястного сустава осуществлена разработка твердотельной модели 3D-ортеза (лонгеты) лучезапястного сустава для ее изготовления методом FDM печати.

На начальном этапе работы были рассмотрены особенности наложения традиционных гипсовых повязок, самофиксирующегося бинта, изучены современные полимерные материалы, применяемые для экспесс-ортезирования [3].

Установлено, гипсовые повязки, являясь недорогим, доступным материалом, достаточно надежно и жестко фиксирующим в неподвижном положении травмированную конечность, обладают рядом существенных недостатков:

- громоздкостью;
- большим весом;
- бинтовая повязка быстро пачкается;
- невозможностью совмещать с одеждой или обувью;
- материал намокает, из-за этого деформируется, что приводит к неплотному прилеганию и некачественной фиксации;
- двигательная активность ограничена, пациенту неудобно передвигаться;
- гипсовая повязка натирает, кожа под ней потеет, раздражается;
- с загипсованной конечностью невозможно производить медицинские манипуляции. За время ношения гипс полностью блокирует движения, при длительном лечении мышцы атрофируются. Его не снимают во время лечения.

С появлением новых видов материалов и технологий 3D-печати имеется возможность гипсовые повязки заменить пластиковыми 3D-ортезами (лонгетами), которые обладают следующими преимуществами:

- малый вес. Они намного легче гипсовых повязок;
- эстетичность: 3D-ортезы выглядят аккуратно, их можно закрыть одеждой;

– прочность. Современные материалы устойчивы к влаге, коррозиям, механическим воздействиям, они не рвутся, практически не ломаются, обеспечивая надежную защиту поврежденной части тела;

– влагостойкость. 3D-ортезы из пластика не намокают, тканевые прокладки можно сушить феном. Фиксирующие свойства при этом не снижаются;

– комфорт. Носить 3D-ортезы вместо гипса намного удобнее. Наличие тканевой подкладки под пластиком обеспечивает мягкое прилегание, свободный воздухообмен. 3D-ортез фиксируется на конечности ремешками, для косточек есть специальные подушечки;

– возможность снятия, регулирования и повторной фиксации. Пациент сам может снимать и надевать 3D-ортез, не прибегая к помощи других.

Недостатком можно назвать только высокую стоимость, которая компенсируется перечисленными выше достоинствами 3D-ортезов.

Анализ этапов и особенностей лечения повреждений верхних и нижних конечностей, а также конструктивного решения известных вариантов 3D-ортезов (лонгет), позволил установить основные требования к проектируемому 3D-ортезу:

– конструкция 3D-ортеза для лучезапястного сустава должна иметь высоту в диапазоне 150÷250 мм;

– предпочтительным является использование двух вариантов конструктивного решения 3D-ортезов: разборного – для посттравматической иммобилизации лучезапястного сустава и неразборного – для фиксации в неподвижном положении участка руки «кисть – предплечье» при лечении хронических заболеваний лучезапястного сустава;

– топография размещения и размеры ячеек 3D-ортеза должны учитывать наличие подкожных жировых отложений для исключения отечности участка кисти и предплечья;

– лонгета должна фиксировать поврежденные участки в неподвижном состоянии, не передавливая сосуды;

– конструкция лонгеты должна обеспечивать возможность ее беспрепятственного снятия, регулирования и повторной фиксации лучезапястного сустава.

Разработка 3D-ортеза лучезапястного сустава выполнялась в следующей последовательности:

– получение цифровой модели участка руки «кисть – предплечье» с использованием 3D-сканера метрологической точности для производственных отраслей Artec Space Spider;

– постобработка цифровой модели участка руки «предплечье-кисть» с использованием программного обеспечения Artec Studio 11;

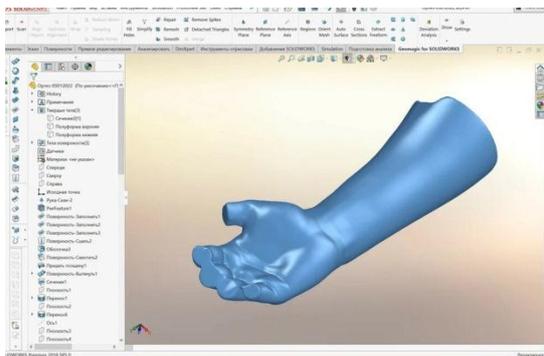
– преобразование оцифрованной поверхности участка руки «предплечье-кисть» в твердотельную модель с использованием программного обеспечения SolidWorks;

– разработка твердотельных моделей разборного и неразборного вариантов 3D-ортезов в SolidWorks;

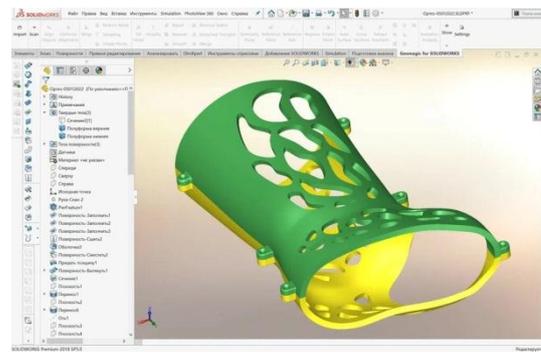
– FDM печать ортезов с использованием 3D-принтера Flashforge Finder

Внешний вид твердотельной цифровой модели участка руки «предплечье-кисть», полученной с использованием программы SolidWorks, а также принятые для печати варианты разборного и неразборного 3D-ортезов представлены на рисунке 1.

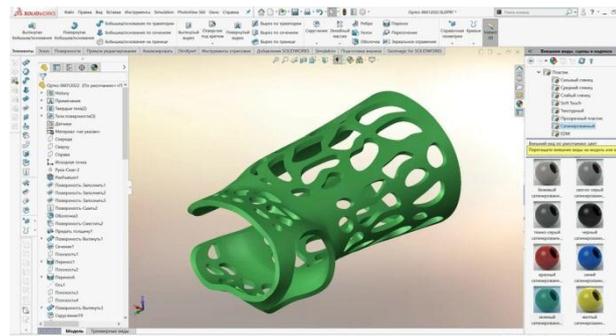
В качестве наиболее рационального варианта для печати 3-D ортеза был выбран пластик PLA, т. к. он не требует создания дополнительных условий при печати, экологически безопасен, обладает биосовместимостью, обладает высоким модулем упругости при изгибе (2,35 ГПА), что обеспечит возможность надежной фиксации лучезапястного сустава при достаточно низкой стоимости сырья.



твердотельная цифровая модель участка руки  
«предплечье-кость»



разборный вариант 3D-ортеза, принятый для  
печати



неразборный вариант 3D-ортеза, принятый для печати

Рисунок 1 – Твердотельная цифровая модель участка руки и варианты 3D-ортезов,  
принятые для 3D-печати

Для оценки целесообразности использования аддитивных технологий при изготовлении пластиковых 3D-ортезов лучезапястного сустава напечатанные натурные образцы были представлены специалистам РУП «Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр» (г. Минск) и УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» (г. Витебск). В результате их органолептической оценки специалистами данных организаций отмечено, что напечатанные образцы полностью функциональны, соответствуют анатомическому строению руки человека, способны к иммобилизации лучезапястного сустава и обеспечивают достаточную фиксацию и правильную консолидацию костных обломков.

#### Список использованных источников

1. Аддитивные технологии. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Аддитивные\\_технологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Аддитивные_технологии). – Дата доступа: 23.11.2021 г.
2. 3D-принтер. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>. – Дата доступа: 23.11.2021.
3. Turbocast или гипс [Электронный ресурс]; 2021. – Режим доступа: <https://ortopediya.livejournal.com/47539.html>. – Дата доступа: 02.12.2021.