

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОРТЕЗОВ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ СУСТАВОВ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ 3D-ПЕЧАТИ

*Р.О. Горбатов<sup>1</sup>, А.А. Казаков<sup>1</sup>, А.Д. Романов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации;*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»*

Представлены результаты разработки технологии создания индивидуальных ортезов для иммобилизации суставов верхней конечности с помощью 3D-печати. Особенностью ортезов является направленность на применение у пациентов с детским церебральным параличом (ДЦП). Разработанные ортезы являются эффективным средством иммобилизации, обеспечивающим отличные как рентгенологические, так и клинические результаты лечения.

*Ключевые слова:* детский церебральный паралич, ДЦП, ортез, отведение большого пальца.

DOI 10.19163/1994-9480-2018-3(67)-124-128

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF CREATION OF INDIVIDUAL ORTHOSES FOR THE IMMOBILIZATION OF JOINTS OF THE TOP EXTREMITY BY MEANS OF THE 3D PRESS

*R.O. Gorbatov<sup>1</sup>, A.A. Kazakov<sup>1</sup>, A.D. Romanov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>FSEI HE «Privolzhsky Research Medical University» of Public Health Ministry of the Russian Federation;*

*<sup>2</sup>FSEI HE «Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev»*

Results of development of technology of creation of individual orthoses for an immobilization of joints of the top extremity by means of the 3D press are presented. Feature of orthoses is the orientation on uses for patients with the cerebral palsy. The developed orthoses are an effective remedy of an immobilization, the providing excellent both radiological, and clinical results of treatment.

*Key words:* cerebral palsy, cerebral palsy, orthosis, abduction of a thumb.

Реабилитация, как система взаимосвязанных медицинских, психологических и социальных компонентов, направленных на восстановление здоровья пациента, сохранение целостности личности и ее социального статуса, активно развивается. Она призвана вернуть человека в состояние максимально полного физического, духовного и социального благополучия, позволяющего эффективно участвовать в общественно полезном труде [1–3].

Однако значительное число неудовлетворительных результатов лечения при применении классической гипсовой повязки обусловлено вторичным смещением после спадения отека. Кроме того, ее отрицательными свойствами являются: значительный вес, ломкость при функциональных нагрузках, потери необходимых свойств при попадании воды.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка ортезов, предназначенных для консервативного лечения пациентов с патологиями кисти, в частности с отведением большого пальца.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Современные индивидуальные ортезы предназначены для коррекции структурных и функциональных нарушений расположения костей. Их изготовление и

применение базируется на достижениях клинической ортопедии, биомеханики и материаловедении [1].

В частности, одной из актуальных проблем в ортопедии является лечение детей с детским церебральным параличом (ДЦП). Однако в ряде случаев выявилась невозможность применения серийных ортезов для лечения детей с данным заболеванием, несоответствие размеров ортопедического изделия в зависимости от биометрических параметров ребенка, зачастую отсутствие возможности отвести большой палец. Имеющиеся технологии создания индивидуальных ортезов для детей с ДЦП не обеспечивают необходимой их прочности, особенно в участках повышенной нагрузки.

Положительными чертами универсального ортезирования являются доступность как для врача, так и для больного; относительно небольшая стоимость; простота в технике применения; возможность изменять форму, конфигурацию, размер изделия, не прекращая лечения; дизайн. Все это может способствовать массовости ортезирования и позволит оказать необходимую помощь пациентам не только в крупных городах, но и в небольших населенных пунктах, где нет протезно-ортопедических предприятий, а врачи поликлиник и больниц мало владеют навыками ортезотерапии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена шина для I пальца кисти Rhizomed Medi R140-2, при всех своих достоинствах обладает значительной стоимостью 6415 рублей [4] и, вследствие размера, невозможностью применения для детей. На рис. 2 приведен пример ортеза, вырезанного из листового материала, при низкой стоимости исходного материала, представляет значительную сложность подгонка по детской руке, при этом не обеспечивается необходимая прочность конечного изделия.



Рис 1. Шина для I пальца кисти Rhizomed Medi R140-2



Рис 2. Ортез из листового материала

Однако в тех случаях, когда из-за анатомо-физиологических особенностей поврежденного сегмента невозможно применять серийные изделия, осуществляется индивидуальное экспресс ортезирование. Новые технологии в изготовлении ортопедических аппаратов позволяют получить индивидуальное приспособление в тот же день или, в крайнем случае, через один или два дня от момента назначения. Экспресс ортезирование осуществляется при наличии специально разработанных полуфабрикатов и современных материалов, позволяющих осуществить моделирование индивидуального ортеза и максимально приблизить его конфигурацию к анатомической форме сегмента тела. Изготовленный таким образом

аппарат обеспечивает адекватную иммобилизацию места повреждения.

На рис. 3 приведен пример индивидуального ортеза, производимого компанией Здравпринт [5]; развертка заготовки на плоскость и локальные усиления позволяют надежно закрепить 2–5 палец, однако для отведения большого пальца данные ортезы малоприспособны. Кроме того, затруднительно создать развертку изделия на плоскость для детской руки, имеющей небольшие размеры (рис. 4).



Рис 3. Индивидуальный ортез компании Здравпринт



Рис. 4. Пример измерения детской кисти

В настоящее время получили широкое распространение системы сквозного цифрового проектирования (ССЦП), которые включают в себя как технологии компьютерного моделирования, так и прототипирования с быстрой реализацией конструкторских и технологических решений. В соответствии с современной концепцией ССЦП выполнение всех проектных и технологических работ проводится в едином информационном пространстве. Однако при внедрении сквозного проектирования в клиническую работу лечебного учреждения зачастую возникает дефицит высококвалифицированных специалистов, владеющих технологиями компьютерного моделирования и имеющих медицинское образование.

Необходимо отметить, что, с точки зрения нагрузки на персонал, существуют два принципиально разных подхода в построении изделия: с использованием лицензионного программного обеспечения, например Siemens NX, и с использованием бесплатных 3D-программ, например Meshmixer.

- Возможности профессиональных лицензионных CAD/CAM/CAE систем избыточны для построения детали типа ортеза, к тому же стоимость данных систем значительна и требует подготовки персонала.

- Возможности бесплатных CAD программ позволяют построить «деталь типа ортез», но использование библиотеки стандартных элементов программ значительно увеличивает время построения, к тому же сильно отражается на точности.

Поэтому было применено комбинированное решение. Библиотека элементов детали ортеза создается в NX, а «сборка» / комбинирование элементов осуществляется в Meshmixer.

Использование технологии создания ортезов с применением сквозного цифрового проектирования и 3D-печати позволило устранить недостатки, имеющиеся у других иммобилизирующих изделий. Ключевым этапом в используемой технологии и технологическом оборудовании стало создание трехмерной компьютерной модели будущего изделия. Данный этап позволяет с минимальными затратами на ресурсы и небольшой трудоемкостью процесса создать трехмерную модель изделия, оценить эргономику, провести компьютерный анализ прочностных характеристик, а также при необходимости внести корректирующие изменения в конструкцию, нацеленные на увеличение функциональности рабочей модели.

Методика включает в себя измерение биометрических параметров области, необходимой для иммобилизации, создание по этим данным трехмерной модели ортеза и последующее его изготовление на FDM 3D-принтере. Особенностью является применение библиотеки стандартных элементов, что позволяет уменьшить нагрузку на персонал при разработке изделия и сократить время проектирования. В библиотеку входят все плоские элементы ортеза, применяющиеся «серийно». К ним относятся: основа, усиливающий кант по периметру, локальные усиления вдоль лучевой кости в месте сгиба ортеза, элементы крепления ленты и др. На рис. 5 и 6 представлены варианты подготовленных для 3D-моделей.

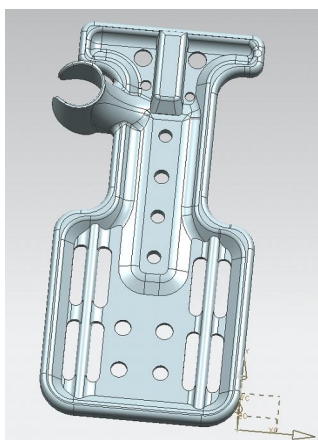


Рис. 5. Пример ортеза простой формы

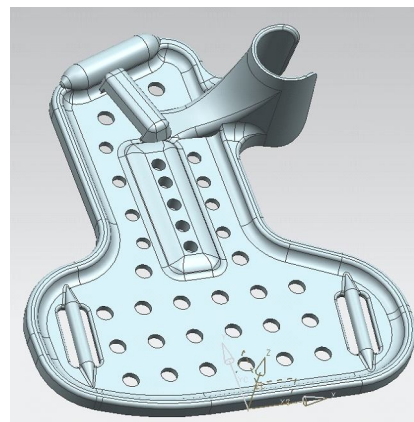


Рис. 6. Пример ортеза сложной формы

При этом наиболее сложным элементом является «система отведения большого пальца», так как она каждый раз выполняется индивидуально. На рис. 7 показана исходная модель, в которой основными задаваемыми параметрами являются: диаметр основания пальца, диаметр окончания пальца, длина пальца, расстояние между осью пальца и осью кисти, угол отклонения оси большого пальца относительно оси кисти. На рис. 8 показан пример задания радиуса скругления системы отведения большого пальца.

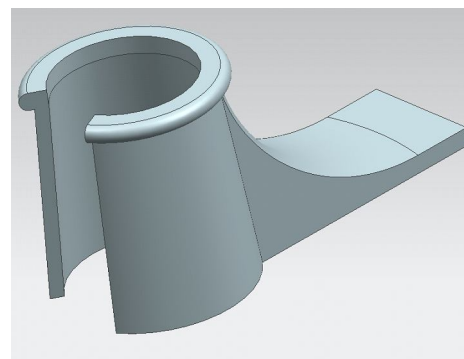


Рис. 7. Исходная 3D-модель системы отведения большого пальца с кантом для крепления бинта

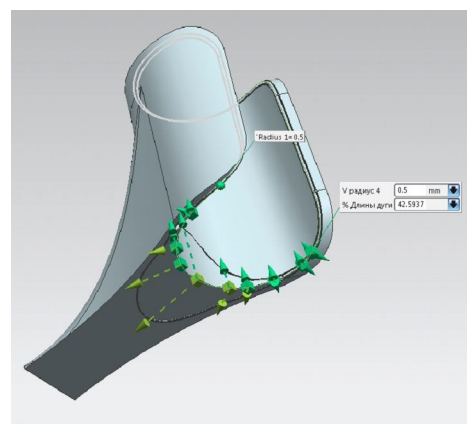


Рис. 8. Пример задания радиуса скругления системы отведения большого пальца

После 3D-печати ортеза проводится термоформовка, в результате которой он приобретает форму, соответствующую всем анатомическим особенностям области для иммобилизации конкретного пациента (рис. 9, 10).



Рис. 9. Пример наложения ортеза на ребенка с ДЦП



Рис. 10. Пример наложения ортеза на взрослого

Существенно отличие данного типа ортеза от существующих, формирующихся из листовых заготовок, как напечатанных на 3D-принтере, так и вырезаемых из листов. В данном случае фактически термоформовка происходит относительно элемента, отводящего большой палец, так как он обладает значительно большей прочностью, чем элементы остальной конструкция. Это конструктивная особенность позволяет применять ортез для детей, которые во время игр часто повреждают ортез, что приводит к разрушению конструкции и может вызвать повреждение кисти.

На рис. 11 и 12 приведены примеры испытания изделий из PLA пластика с разной толщиной стенки и степенью заполнения на маятниковом копре МК-30а. В частности, на рис. 12 приведены четыре наиболее характерных примера.

Разрушение образца на рис. 11 носит безопасный характер, причем наступает оно при большей на-

грузке. В данном случае имеет место характер разрушения как у боковых стен автомобиля, при разрушении которых образуются «безопасные осколки», вероятность травмирования которыми снижена. На рис. 12 крайний правый образец при разрушении образует множественные осколки с острыми краями, вероятность травмирования которыми велика.

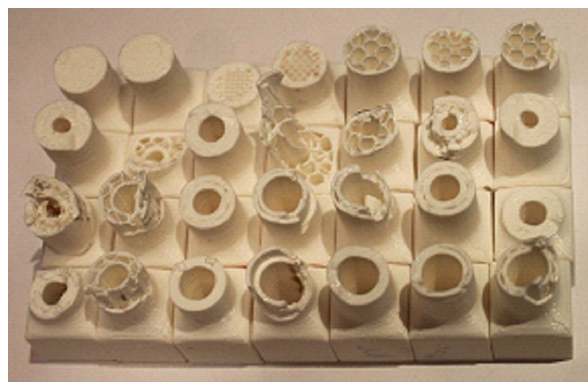


Рис. 11. Примеры разрушения элементов из PLA пластика



Рис. 12. Примеры разрушения элементов из PLA пластика

При этом повышенный расход пластика происходит только в месте системы отведения большого пальца, что незначительно сказывается на массе (5–10 г) и времени печати ортеза в целом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клинические данные позволили объективно определить эффективность индивидуального ортезирования. Разработанные ортезы являются эффективным средством иммобилизации при различных патологиях кисти, обеспечивающие отличные как рентгенологические, так и клинические результаты лечения.

Созданные ортезы обладают следующими преимуществами: персонафицированность в зависимости от биометрических параметров пациента и вида патологии, малый вес, быстрая процедура наложения, влагостойкость, возможность теплообмена между поврежденной областью и окружающей средой.

Способ и технология изготовления индивидуального ортеза могут быть рекомендованы для широкого применения в практическом здравоохранении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин С.Е. Опыт применения современных технологий в создании нового поколения ортезов // Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии. – 2011. – № 3. – С. 59–65.
2. Щеколова Н.Б., Зиновьев А.М. Возможности консервативной ортопедической коррекции постинсультной спастичности верхней конечности // Пермский медицинский журнал. – 2017. – Т. 34. – № 2. – С. 15–19.
3. Щеколова Н.Б., Бронников В.А., Зиновьев А.М., Складная К.А. Эффективность ортопедической реабилитации постинсультных больных // Пермский медицинский журнал. – 2016. – № 33 (1). – С. 35–41.
4. Шина для I-го пальца кисти Rhizomed Medi R140-2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ortomag24.ru/products/shina-dlya-i-go-palca-kisti-rhizomed.html>
5. Индивидуальный ортез, производимый компанией Здравпринт [Электронный ресурс]. URL: <http://zdravprint.ru>

## REFERENCES

1. Nikitin S.E. Opyt primenenija sovremennyh tehnologij v sozdanii novogo pokolenija ortezov Vestnik Vserossijskogo obshhestva specialistov po mediko-social'noj jekspertize, reabilitacii i reabilitacionnoj industrii [Experience of use of

modern technologies in creation of new generation of orthoses]. *Vestnik Vserossijskogo obshhestva specialistov po mediko-social'noj jekspertize, reabilitacii i reabilitacionnoj industrii*. [Bulletin of the Russian society of specialists in medico-social examination, rehabilitation and rehabilitation industry], 2011, no. 3, pp. 59–65. (In Russ.; abstr. in Engl.).

2. Shhekolova N.B., Zinov'ev A.M. Vozmozhnosti konservativnoj ortopedicheskoj korrekcii postinsul'tnoj spastichnosti verhnej konechnosti [Possibilities of conservative orthopedic correction of a postinsultny spastichnost of the top extremity]. *Permskij medicinskij zhurnal* [Perm medical magazine], 2017, no. 2(34), pp. 15–19. (In Russ.; abstr. in Engl.).

3. Shhekolova N.B., Bronnikov V.A., Zinov'ev A.M., Skljannaja K.A. Jefferktivnost' ortopedicheskoj reabilitacii postinsul'tnyh bol'nyh [Effektivnost of orthopedic rehabilitation the postinsultnykh of patients]. *Permskij medicinskij zhurnal* [Perm medical magazine], 2016, no. 1 (33), pp. 35–41. (In Russ.; abstr. in Engl.).

4. Shina dlja I-go pal'ca kisti Rhizomed Medi R140-2 [The tire for the first finger of the brush Rhizomed Medi R140-2] [Jelektronnyj resurs]. Available at: <http://www.ortomag24.ru/products/shina-dlya-i-go-palca-kisti-rhizomed.html>.

5. Individual'nyj ortez, proizvodimyj kompaniej Zdravprint [Individual orthosis produced by Zdravprint] [Jelektronnyj resurs]. Available at: <http://zdravprint.ru>.

## Контактная информация

**Горбатов Роман Олегович** – врач травматолог-ортопед первой категории, руководитель лаборатории аддитивных технологий, Приволжский исследовательский медицинский университет министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород, e-mail: [gorbатов.ro@yandex.ru](mailto:gorbатов.ro@yandex.ru)