



ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ КИСТИ И ПАЛЬЦЕВ

© А.В. Круглов^{1, 2}, И.В. Шведовченко³

¹ ООО Северо-Западный научно-практический центр реабилитации и протезирования «Ортетика», Санкт-Петербург;

² ООО «Сколиолоджик.ру», Санкт-Петербург;

³ ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург

Поступила: 01.03.2019

Одобрена: 27.05.2019

Принята: 06.06.2019

Обоснование. Оценка результата функционального протезирования пациентов с дефектами верхних конечностей является актуальной проблемой современного протезирования. Несмотря на развитие технологий бюджетного прототипирования и мелкосерийного производства, снабжение пациентов с беспальными кистями функциональными протезами не приобрело массового характера и относится к атипичному и экспериментальному протезированию. На фоне появления новых вариантов функциональных протезов кисти отсутствует алгоритм оценки результатов протезирования.

Цель — оценить результат функционального протезирования детей с врожденными дефектами кисти и пальцев активными протезами.

Материалы и методы. Под наблюдением находились 67 детей, имеющих врожденные дефекты кисти, из которых в группу экспериментального протезирования включены 22 ребенка. Для объективной оценки остаточной функции кисти был разработан стенд, который имитирует задания международного соревнования пользователей техническими средствами реабилитации по кибатлону (Cybathlon) и позволяет выполнять пробы, за каждую из которых начисляется определенное количество баллов. Пробы на стенде дополнены субъективной оценкой функции кисти методом анкетирования по валидизированному в России опроснику DASH. Анкетирование проводили три раза на разных этапах: до протезирования, после обучения пользованию протезом и спустя 6 мес. после начала использования.

Результаты. Наилучшая субъективная оценка эффективности снабжения активным протезом кисти отмечена у пациентов с врожденными дефектами кисти, аналогичными усечениям кисти проксимальнее пястно-фаланговых суставов. Эти дети показали удовлетворительные результаты и на стенде. Самый низкий результат функциональности активного протеза кисти получен в случаях эктродактилии и гипоплазии I–V пальцев, что связано с высокой остаточной функциональностью кисти.

Заключение. Разработанный стенд является диагностическим, так как позволяет оценивать результаты функционального протезирования у пациентов с различными уровнями дефектов верхних конечностей, в том числе и дефектов на уровне кисти и пальцев, а также выполняет учебно-тренировочные функции. Он может быть использован для обучения пользованию активным протезом, а также для тренировки навыков с целью успешного прохождения трассы кибатлона или его отечественного аналога — кибатлетики. Результаты исследования на стенде коррелируют с результатами по опроснику DASH.

Ключевые слова: врожденные дефекты кисти; протез; функциональность; кибатлетика.

EVALUATION OF THE RESULTS OF FUNCTIONAL PROSTHETICS IN CHILDREN WITH CONGENITAL DEFECTS OF THE HAND AND FINGERS

© A.V. Kruglov^{1, 2}, I.V. Shvedovchenko³

¹ North-West Scientific-Practical Center of Rehabilitation and Prosthetics “Ortetika”, Saint Petersburg, Russia;

² Prosthetic and Orthopedic Center “Scoliolologic.ru”, Saint Petersburg, Russia;

³ Federal Scientific Center of Rehabilitation of the disabled named after G.A. Albrecht of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

For citation: *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(2):33-40

Received: 01.03.2019

Revised: 27.05.2019

Accepted: 06.06.2019

Background. Evaluation of the result of functional prosthetics in patients with different upper limb defects is a topical problem of modern prosthetics. Providing patients with non-functional hand stumps with functional prostheses is not wide-scale and refers to atypical and experimental prosthetics. While new functional prosthetic hands appear, there is no algorithm for evaluating the results of prosthetics.

Aim. This study aimed to evaluate the result of functional prosthetics in children with congenital defects of the hand and fingers by active prostheses.

Materials and methods. We observed 67 children with congenital hand defects, of which 22 were included in the experimental prosthetics group. Bench test station was used for an objective assessment of the residual function of the hand. The booth imitated the tasks of an international competition for the users of Cybathlon rehabilitation equipment and allowed users to perform a series of tests, for each of which a certain number of evaluation points were awarded. Samples at the stand were supplemented with a subjective assessment of the function of the hand using the DASH questionnaire validated in Russia.

Results. The best subjective assessment of the supply of an active prosthetic hand was determined in the patients with underdeveloped hand similar to the truncation of the hand proximal to the metacarpophalangeal joints. The lowest functionality score of the active prosthetic hand was obtained in cases of ectrodactyly and hypoplasia of 1–5 fingers, which was associated with a high residual functionality of the hand.

Conclusions. In addition to training functions, the developed bench test station serves a diagnostic function as it evaluates the results of functional prosthetics in patients with upper limb defects in different levels, including defects on the hand and fingers. The results of the study on the station correlate with the results of the DASH questionnaire.

Keywords: congenital defects of the hand; prosthesis; functionality; Cybathlon.

Обоснование

Оценка результатов функционального протезирования пациентов с дефектами верхних конечностей является актуальной проблемой современного протезирования, однако общепринятый алгоритм оценки результатов протезирования отсутствует. Протезы кисти и пальцев зарубежного производства подвергаются критике из-за незначительной силы схвата и хрупкости изделия [1]. Нередко новые активные протезы не проходят должной апробации, так как их разрабатывают с применением технологий трехмерной печати и без участия врачей. Технология 3D-печати наиболее бурно развивается в последние три года [2]. За это время она стала относительно недорогой и доступной для широкого использования [3, 4]. Возможности трехмерной печати позволяют производить малыми партиями и штучно высокоточные изделия различной прочности в зависимости от выбранного материала и технологии печати [5]. Изготовленные таким путем прототипы в подавляющем большинстве случаев не подвергаются испытаниям и не тестируются.

Как правило, тесты для объективного анализа результатов протезирования основаны на взятии и высвобождении предметов различной формы и величины из разных положений и находящихся на разном расстоянии от пациента, перемещении предметов в разных направлениях, выполнении дозированных движений пальцами кисти протеза [6, 7].

Различные по трудности выполнения тесты характеризуют ту или иную степень освоения навы-

ков пользования протезами, правильность построения протеза, а в конечном счете функциональный результат протезирования [8–10]. В 2016 г. в Цюрихе под эгидой Швейцарского национального центра робототехнических исследований состоялось первое международное спортивное соревнование по кибатлону (Cybathlon) для пользователей технических средств реабилитации, применяющих бионические протезы или другие механические устройства [11]. Трасса кибатлона для пользователей функциональных протезов верхних конечностей послужила основой для создания стенда, который может одновременно решать три задачи: оценивать функциональный результат протезирования, служить комплексом для обучения пользованию протезом и тренажером с целью подготовки к соревнованию пользователей технических средств реабилитации.

Цель — оценить результат функционального протезирования детей с врожденными дефектами кисти и пальцев активными протезами.

Материалы и методы

Под наблюдением находились 67 детей с врожденными дефектами кисти, из которых в группу экспериментального протезирования включены 22 ребенка. Среди них порок развития у мальчиков и девочек встречался с частотой 44 и 56 % соответственно. Отмечалось преобладание пациентов с врожденными дефектами левой верхней конечности (69 % слева и 31 % справа).

В исследование были включены дети со следующими видами врожденных дефектов кисти:

- первая группа — редукционное недоразвитие кистей, соответствующее культям кисти проксимальнее пястно-фаланговых суставов: брахидактилия, аплазия I–V лучей — 4 случая (из них три с парным недоразвитием); брахидактилия, аплазия II–V лучей — 3 случая (из них одно с парным недоразвитием); эктродактилия, аплазия II–IV лучей — 5 случаев;
- вторая группа — редукционное недоразвитие кистей, соответствующее культям кисти и пальцев дистальнее пястно-фаланговых суставов и косым усечениям: эктродактилия, гипоплазия I–V пальцев — 8 случаев; продольная эктромелия — 2 случая.

Средний возраст детей составил $6,3 \pm 3,8$ года. Группы были эквивалентны по возрасту, полу, стороне дефекта и виду протезирования (первичное/повторное).

Для детей были изготовлены усовершенствованные активные протезы кисти, состоящие из вкладной гильзы из высокотемпературного (HTV) силикона и несущей ортокриловой приемной гильзы, к которой крепился блок шарнирных искусственных пальцев. Пальцы приводились в движение за счет тяг, работающих от сгибательных движений в лучезапястном суставе. Протез мог иметь и активный оппонируемый искусственный шарнирный первый палец с возможностью пассивного регулирования угла противопоставления (рис. 1). В ряде случаев, по показаниям, были созданы полностью силиконовые активные протезы с смонтированными вовнутрь металлическими элементами.

При исследовании использовали стенд, имитирующий задания международного соревно-

вания пользователей техническими средствами реабилитации кибатлона (Cybathlon), который позволял выполнить ряд проб, за каждую из которых начисляли определенное количество баллов. Оценивали следующие виды действий: выкрутить и вкрутить лампочку в светильнике — 10 баллов; провести кольцо, удерживая его за ручку, по криволинейной траектории — 10 баллов; переместить прищепки между параллельными горизонтальными и вертикальными стойками — по 2 балла за каждую прищепку (всего 5 шт.); переместить прищепки между горизонтальными и вертикальными стойками — по 4 балла за каждую прищепку (всего 5 шт.); отворачивание/заворачивание крышки бутылки — 5 баллов (рис. 2). В случае если стендовую пробу выполнял пациент с двусторонним усечением или недоразвитием кисти, результаты фиксировали отдельно для левой и правой руки.

Методика оценки заключалась в следующем: испытуемого просили последовательно произвести определенные действия протезом. Время не ограничивали, фиксировали сам факт выполнения задания. Чтобы избежать излишнего психологического давления, задания для детей имели игровую форму. Максимальное количество набранных баллов фиксировали в бланке исследования.

Объективные исследования на стенде проводили до протезирования — с целью оценки остаточной функциональности кисти, а также после первичного протезирования активным протезом кисти и обучения пользованию им — для оценки функциональных результатов протезирования.

Пробы на стенде были дополнены анкетированием по валидизированному в России опроснику The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH). Анкетирование проводили трижды: до протезирования; после обучения пользованию



Рис. 1. Активный протез кисти



Рис. 2. Стенд для оценки результатов протезирования и обучения пользованию протезом

Таблица 1

Анализ динамики показателей переменных «Стенд» и DASH для каждой группы врожденных дефектов кисти*

Показатель	Группа врожденных дефектов кисти		p
	M ± S Первая	M ± S Вторая	
Возраст	6,4 ± 3,7	6,1 ± 4,1	0,8889
«Стенд», до протезирования	12,8 ± 14,6	46,0 ± 8,8	<0,0001
«Стенд», после протезирования	40,6 ± 9,3	39,0 ± 17,1	0,4972
DASH, до протезирования	33,2 ± 10,5	16,8 ± 7,1	0,0006
DASH, после протезирования	19,4 ± 8,4	26,9 ± 9,1	0,0608
DASH, в отдаленный период	17,7 ± 7,1	31,9 ± 7,8	0,0005

Таблица 2

Анализ динамики показателя переменной «Стенд» для каждой группы врожденных дефектов кисти*

Группа врожденных дефектов кисти	M ± S, до протезирования	M ± S, после протезирования	Динамика (%) до и после протезирования	p
Первая	12,8 ± 14,6	40,6 ± 9,3	217,1	0,0010
Вторая	46,0 ± 8,8	39,0 ± 17,1	-15,2	0,0679

Таблица 3

Анализ динамики показателя переменной DASH для каждой группы врожденных дефектов кисти*

Группа врожденных дефектов кисти	M ± S (%), до протезирования	M ± S (%), после протезирования	M ± S (%), в отдаленный период	p
Первая	33,2 ± 10,5	19,4 ± 8,4 (-41,5)	17,7 ± 7,1 (-46,7)	<0,0001
Вторая	16,8 ± 7,1	26,9 ± 9,1 (60,2)	31,9 ± 7,8 (89,8)	0,0008

Таблица 4

Результаты анализа апостериорного критерия Дункана для сравнения показателей первой и второй групп по переменной «Стенд» (только уровни статистической значимости)*

Группа врожденных дефектов кисти	Период	{1}	{2}	{3}	{4}
Первая	До протезирования		0,000065	0,000055	0,000125
Первая	После протезирования	0,000065		0,302873	0,754001
Вторая	До протезирования	0,000055	0,302873		0,081904
Вторая	После протезирования	0,000125	0,754001	0,081904	

Таблица 5

Результаты анализа апостериорного критерия Дункана для сравнения показателей первой и второй групп по переменной DASH (только уровни статистической значимости)*

Группа врожденных дефектов кисти	Период	{1}	{2}	{3}	{4}		
Первая	До протезирования		0,000056	0,000033	0,000073	0,089370	0,705667
Первая	После протезирования	0,000056		0,469156	0,477114	0,034086	0,001025
Первая	В отдаленный период	0,000033	0,469156		0,800311	0,013114	0,000305
Вторая	До протезирования	0,000073	0,477114	0,800311		0,000246	0,000033
Вторая	После протезирования	0,089370	0,034086	0,013114	0,000246		0,043270
Вторая	В отдаленный период	0,705667	0,001025	0,000305	0,000033	0,043270	

Примечание. * Ячейки, выделенные серым цветом, отображают статистически значимые данные.

активным протезом кисти лично с пациентом, а также спустя полгода использования протеза на основании телефонного разговора. При тестировании детей в возрасте до 9 лет анкету заполняли с учетом мнения родителей.

Выполнен статистический анализ динамики для переменных «Стенд» и DASH. Переменную «Стенд» измеряли два раза, поэтому ее значения обозначали «Измерение 1» (до протезирования) и «Измерение 2» (после обучения пользованию активным протезом). Переменную DASH измеряли три раза, поэтому ее значения обозначали «Измерение 1», «Измерение 2» и «Измерение 3» (в отдаленный период — спустя 6 мес. пользования протезом). Кроме традиционной статистической обработки полученных данных для анализа различий в динамике переменных «Стенд» и DASH выполнен двухфакторный дисперсионный анализ для смешанной экспериментальной схемы с определением апостериорного критерия Дункана. Один фактор (группа врожденного дефекта кисти) был межгрупповой переменной, второй фактор (измерение) — внутригрупповой переменной.

Результаты

В табл. 1 представлены результаты статистического анализа сравнения различных значений переменной «Группа врожденных дефектов кисти» по количественным переменным.

На основании анализа данных табл. 1 можно сделать вывод, что значения переменной «Стенд» были существенно выше во 2-й группе при первом измерении ($p < 0,0001$), а при втором измерении эти значения в группах уже не отличались ($p = 0,4972$). При первом измерении значе-

ния переменной DASH были существенно выше в 1-й группе ($p = 0,0006$), при повторном измерении значения этой переменной стали одинаковыми в обеих группах ($p = 0,0608$), а при третьем измерении значения во 2-й группе уже превосходили значения в 1-й группе ($p = 0,0005$).

Такая динамика показателей свидетельствует о положительных результатах применения экспериментального активного протеза в 1-й группе, что также подтверждают показатели переменной DASH при анализе спустя 6 мес. пользования протезом, при этом использование протеза во 2-й группе только ухудшало функцию кисти, что подтверждалось как объективно, так и субъективно.

В табл. 2 приведены результаты статистического анализа изменения переменной «Стенд» отдельно для каждой из групп врожденных дефектов кисти.

Данные табл. 2 подтверждают ранее сформулированный вывод, что в 1-й группе значения переменной «Стенд» достоверно значимо ($p = 0,0010$) увеличивались при втором измерении, то есть благодаря использованию активного протеза кисти у пациентов данной группы значительно улучшилась функция кисти. Во 2-й группе существенных изменений показателей не происходило ($p = 0,0679$), пациенты этой группы до протезирования объективно показывали высокую остаточную функциональность кисти, снабжение активными протезами не улучшало стендовую пробу, а в ряде случаев даже ухудшало ее результаты.

В табл. 3 представлены результаты статистического анализа изменения переменной DASH отдельно для каждой из групп врожденных дефектов кисти.

В 1-й группе показатель DASH снижался на 41,5 % при втором и на 46,7 % при третьем измерении, что указывало на субъективное улучшение

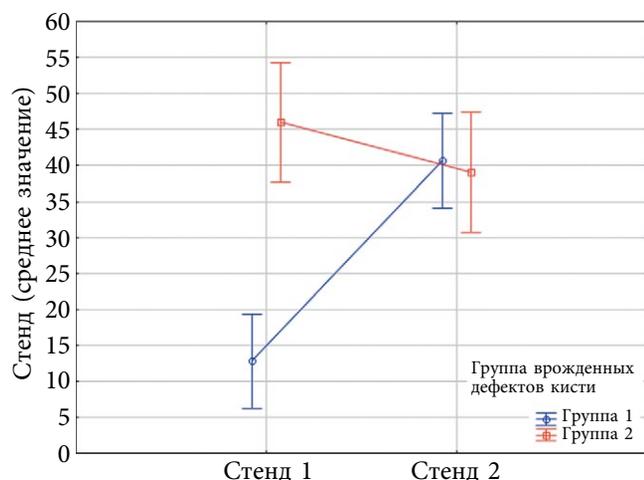


Рис. 3. Динамика показателя переменной «Стенд» для первой и второй групп при первом и втором измерениях

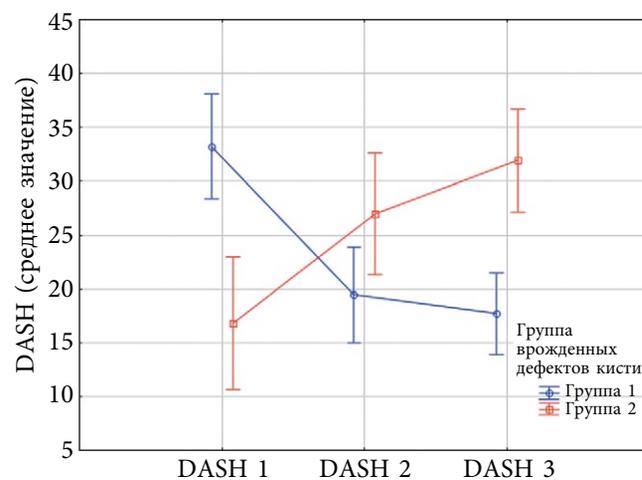


Рис. 4. Динамика показателя переменной DASH для первой и второй групп при первом, втором и третьем измерениях

ние функции кисти сразу после протезирования и спустя 6 мес. пользования активным протезом. Во 2-й группе показатель DASH увеличивался, что субъективно подтверждало ухудшение функционального состояния кисти в результате использования активных протезов.

Анализ апостериорного критерия Дункана (табл. 4) позволил установить, что при первом измерении показатели по переменной «Стенд» в 1-й группе существенно отличались от показателей во 2-й группе ($p < 0,0001$), а при втором измерении они сравнялись ($p = 0,7540$) (рис. 3).

Результаты анализа апостериорного критерия Дункана при сравнении 1-й и 2-й групп по переменной DASH (табл. 5) свидетельствовали, что при первом измерении показатели 1-й группы существенно превосходили показатели 2-й группы ($p < 0,0001$), а при втором измерении, наоборот, показатели во 2-й группе стали существенно превосходить показатели в 1-й ($p = 0,0341$). Такие же различия сохранились и при третьем измерении ($p = 0,0003$) (рис. 4).

Таким образом, результаты объективного анализа остаточной функции кисти на основании стендовой пробы и субъективного восприятия пациентами своего состояния касательно дефекта кисти коррелируют между собой.

Обсуждение

При анализе динамики переменной «Стенд» выявлены существенные изменения показателей этой переменной в группе пациентов с врожденными дефектами кисти, соответствующими культям кисти проксимальнее пястно-фаланговых суставов: значения переменной «Стенд» в этой группе были намного больше при втором измерении, то есть после протезирования активными протезами кисти. В то же время во 2-й группе пациентов с культями кисти и пальцев дистальнее пястно-фаланговых суставов и косым усечением никаких существенных изменений не происходило. Пациенты этой группы до протезирования объективно показывали высокую остаточную функцию кисти, а снабжение активными протезами не улучшало стендовую пробу, а в ряде случаев даже ухудшало ее результаты.

Выраженная положительная динамика в 1-й группе по показателям переменной «Стенд» после протезирования, а также снижение показателей по переменной DASH, выявленное во втором измерении и сохранившееся спустя 6 мес., говорят об эффективности активного протеза кисти представленной конструкции у пациентов с редукционными недоразвитиями кистей, со-

ответствующими культям кисти проксимальнее пястно-фаланговых суставов.

Таким образом, показаниями к назначению данного протеза следует считать следующие врожденные дефекты кисти: брахидактилию, аплазию I–V лучей; брахидактилию, аплазию II–V лучей; эктродактилию, аплазию II–IV лучей.

При назначении активного протеза кисти пациентам с перечисленными дефектами нельзя забывать об оценке функции лучезапястного сустава, объем движений в котором должен быть не менее 30°, а также о силе мышц сгибателей и разгибателей кисти и пальцев, так как их усилие прямо пропорционально силе схвата искусственных пальцев протеза.

Отсутствие положительной динамики во 2-й группе обусловлено высоким уровнем остаточной функции кисти пациентов данной категории, что отражают данные как стендовой пробы, так и анкетирования. Протезирование активными протезами таких культей кисти приводит к скользянию остаточных движений культеприемной гильзой, что нередко только ухудшает ситуацию. Кроме того, в таких случаях сделать протез, не выступающий за габариты нормальной кисти, практически невозможно. Таким образом, противопоказаниями к назначению активного протеза кисти представленной конструкции следует считать врожденные дефекты кисти, аналогичные усечениям на уровне пальцев, от головок проксимальных фаланг и дистальнее.

Заключение

Проведенное исследование позволило оценить функциональный результат протезирования активными протезами кисти у детей, а также уточнить показания к их назначению.

Доказано, что наилучшая субъективная оценка снабжения активным протезом кисти наблюдается у пациентов с недоразвитиями кисти, соответствующими усечениям проксимальнее пястно-фаланговых суставов. Это подтверждает динамика показателей опросника DASH — $26,1 \pm 8,0$ ($p < 0,0001$) на фоне удовлетворительных результатов стендовой пробы. Следует отметить, что дети субъективно позитивнее реагируют на пользование активным протезом кисти, несмотря на более низкие показатели стендовой пробы. При врожденных дефектах кисти, соответствующих усечениям проксимальнее костей запястья, предпочтение следует отдавать протезам с внешним источником энергии вследствие низкого потенциала компенсаторных движений остаточного сегмента кисти пациента.

Самый низкий результат функциональности активного протеза кисти получен при эктродактилии и гипоплазии I–V пальцев. В этом случае сохраняется достаточно высокая остаточная функция кисти и назначение активного протеза не дает ожидаемого повышения ее функциональности.

Стенд, представленный в данном исследовании, является диагностическим, так как позволяет оценивать остаточную функцию кисти, результаты функционального протезирования у пациентов с различными уровнями дефектов верхних конечностей, в том числе и дефектов на уровне кисти и пальцев, а также выполняет учебно-тренировочные функции. Он может быть использован для обучения пользованию активным протезом, для тренировки навыков с целью успешного прохождения трассы кибатлона. Результаты исследования на стенде совпадают с результатами по опроснику DASH.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Без финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Родители всех пациентов, как законные представители, дали свое письменное согласие на участие в этом исследовании, на обработку и публикацию персональных данных. Опубликование статьи разрешено комитетом по этике Северо-Западного научно-практического центра реабилитации и протезирования «Ортетика» в соответствии с принципами Хельсинской медицинской декларации (протокол № 1 от 15 февраля 2019 г.). В статье приведены результаты исследований без идентификации личности пациентов, которые не противоречат этическим стандартам Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и Правилам клинической практики в Российской Федерации, утвержденным Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 № 266. Участники исследования и их законные представители были информированы о целях, методах, ожидаемой пользе исследования и сопряженных с участием в исследовании риске и неудобствах.

Вклад авторов

А.В. Круглов — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста.

И.В. Шведовченко — концепция и дизайн исследования, редактирование текста.

Литература

- Xu K, Liu H, Zhang Z, Zhu X. Wrist-powered partial hand prosthesis using a continuum whiffle tree mechanism: A case study. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2018;26(3):609-618. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2800162>.
- Ibrahim AM, Jose RR, Rabie AN, et al. Three-dimensional printing in developing countries. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2015;3(7):e443. <https://doi.org/10.1097/GOX.000000000000298>.
- Hoy MB. 3D printing: making things at the library. *Med Ref Serv Q.* 2013;32(1):94-99. <https://doi.org/10.1080/02763869.2013.749139>.
- Gerstle TL, Ibrahim AM, Kim PS, et al. A plastic surgery application in evolution: three-dimensional printing. *Plast Reconstr Surg.* 2014;133(2):446-451. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000436844.92623.d3>.
- Агейкин А.В. 3D-моделирование и 3D-принтинг как новый этап в развитии сосудистого протезирования // *Огарев-Online.* – 2017. – № 7. – С. 3. [Ageykin AV. 3D modeling and 3D printing as a new stage in the development of vascular prosthetics. *Ogarrev-online.* 2017;(7):3. (In Russ.)]
- Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, et al. Cyborg beast: a low-cost 3D-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Res Notes.* 2015;8:10. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-0971-9>.
- thingiverse.com [Internet]. Zuniga JM. Cyborg Beast [cited 2019 May 20]. Available from: <http://www.thingiverse.com/thing:261462>.
- Руководство по протезированию и ортезированию / Под ред. М.А. Дымочки, А.И. Суховеровой, Б.Г. Спивака. – 3-е изд. – М., 2016. [Rukovodstvo po protezirovaniyu i ortezirovaniyu. Ed. by M.A. Dymochka, A.I. Suhoverova, B.G. Spivak. 3rd ed. Moscow; 2016. (In Russ.)]
- Физическая и реабилитационная медицина: национальное руководство / Под ред. Г.Н. Пономаренко. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. [Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina: natsional'noe rukovodstvo. Ed. by G.N. Ponomarenko. Moscow: GEOTAR-Media; 2016. (In Russ.)]
- Gordon AM, Magill RA. Motor learning: Application of principles to pediatric rehabilitation. In: *Physical therapy for children.* Ed. by S.K. Campbell. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 2011. P. 157.
- bbc.com [Internet]. Lewington L. Cybathlon: Battle of the bionic athletes [cited 2019 May 20]. Available from: <http://www.bbc.com/news/technology-37605984>.

Сведения об авторах

Антон Вячеславович Круглов — врач травматолог-ортопед ООО «Северо-Западный научно-практический центр реабилитации и протезирования „Ортетика“»; руководитель отдела перспективных технологий ООО «Протезно-ортопедический центр „Сколиолоджик.ру“», Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3811-5773>; eLibrary SPIN: 3312-5350. E-mail: kruglov@scoliologic.ru.

Игорь Владимирович Шведовченко — д-р мед. наук, профессор, научный руководитель ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>; eLibrary SPIN: 3326-0488. E-mail: schwed.i@mail.ru.

Anton V. Kruglov — MD, Orthopedic and Trauma Surgeon, North-West Scientific-Practical Center of Rehabilitation and Prosthetics “Ortetika”; the Head of Upper Limb Prosthetic Department, Prosthetic and Orthopedic Center “Scoliologic.ru”, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3811-5773>; eLibrary SPIN: 3312-5350. E-mail: kruglov@scoliologic.ru.

Igor V. Shvedovchenko — MD, PhD, D.Sc., Professor, Scientific supervisor of Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>; eLibrary SPIN: 3326-0488. E-mail: schwed.i@mail.ru.