

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ МОДУЛЬНОГО ПРОТЕЗА: ВЫБОР ИСКУССТВЕННОЙ СТОПЫ

Смирнова Л.М.^{1,2}, Суляев В.Г.¹, Янковский В.М.¹, Фогт Е.В.^{1,2},
Синегуб А.В.¹

¹ Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им Г.А. Альбрехта,
Бестужевская ул., д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

Резюме

Введение. Существует проблема многокритериального выбора модели искусственной стопы из электронной глобальной базы протезных модулей разных производителей для синтеза модульного протеза пациенту с учётом состояния систем его организма и дополнительных факторов, влияющих на результаты медицинской реабилитации.

Цель. Целью работы является обоснование системы совместимости между показателями состояния структур и функций организма пациента и характеристиками искусственных стоп для оптимизации выбора модели стопы при персонифицированном синтезе протеза нижней конечности на основе компьютерных технологий.

Материалы и методы. В качестве методов исследования применены теоретический метод, включающий анализ, синтез и аналогию, экспертный опрос ведущих специалистов. При описании структурно-функционального состояния организма протезируемого, использовалась терминология и определители нарушений, принятые в МКФ.

Результаты. Предложена система показателей для оценки состояния пациента и система характеристик искусственных стоп, которые необходимо учитывать при персонифицированном выборе протезного модуля этого типа. В матричной форме определены соответствия между показателями, отражающими состояние протезируемого, и характеристиками искусственных стоп.

Обсуждение. Применение предложенной схемы описания структурно-функциональных нарушений организма позволит структурировать и стандартизировать описание состояния инвалида, что является необходимым этапом разработки технологии персонифицированного выбора комплектующих протеза, а также может быть полезным для обеспечения преемственности между учреждениями медицинского и социального профилей, участвующих в реабилитации инвалида.

Заключение. Разработанная система соответствия между показателями состояния структуры и функций организма пациента, с одной стороны, и характеристиками моделей искусственных стоп, с другой стороны, может быть использована разработчиками программных продуктов при создании системы управления данными электронного глобального каталога, объединяющего протезные модули разных производителей.

Ключевые слова: медицинская реабилитация, протезирование, синтез протеза, искусственная стопа, электронная база данных.

Смирнова Л.М., Суляев В.Г., Янковский В.М., Фогт Е.В., Синегуб А.В. Персонализированный синтез модульного протеза: выбор искусственной стопы // Физическая и реабилитационная медицина. — 2022. — Т. 4. — № 3. — С. 25–36. DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-3-25-36.

Smirnova LM, Suslyaev VG, Yankovskiy VM, Fogt EV, Sinegub AV. Narusheniya psihomotoriki pacientov s posledstviyami insulta mozga v pozdnem periode rehabilitacii [Personalized synthesis of module prosthesis: selection of the foot module]. Fizicheskaya i rehabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine]. 2022; 4(3):25–36. DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-3-25-36. (In Russian).

Смирнова Людмила Михайловна / Ludmila M. Smirnova; e-mail: info@diaserv.ru

PERSONALIZED SYNTHESIS OF MODULE PROSTHESIS: SELECTION OF THE FOOT MODULE

Smirnova LM^{1,2}, Suslyayev VG¹, Yankovskiy VM¹, Fogt EV^{1,2}, Sinegub AV¹

¹ Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled,
50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation

² Saint Petersburg State Electrotechnical University,
5 Professora Popova Street, 197376 St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Introduction. There is a problem of multi-criteria selection of an artificial foot model from the electronic global database of prosthetic modules from different manufacturers for the synthesis of a modular prosthesis for a patient, taking into account the state of his body systems and additional factors affecting the results of medical rehabilitation.

Aim. The aim of the work is to substantiate the system of compatibility between the indicators of the state of the structures and functions of the patient's body and the characteristics of artificial feet to optimize the choice of a foot model in the personalized synthesis of a lower limb prosthesis based on computer technology.

Materials and methods. The theoretical method, including analysis, synthesis and analogy, and an expert survey of leading specialists are used as research methods. When describing the structural and functional state of the body of the prosthetic, the terminology and determinants of violations adopted in the ICF were used.

Results. A system of indicators for assessing the patient's condition and a system of characteristics of artificial feet are proposed, which must be taken into account when choosing a personalized prosthetic module of this type. Correspondences between indicators reflecting the condition of the prosthetic and the characteristics of artificial feet are determined in matrix form.

Discussion. The application of the proposed scheme for describing structural and functional disorders of the body will allow structuring and standardizing the description of the condition of a disabled person, which is a necessary stage in the development of technology for personalized selection of prosthetic components, and may also be useful for ensuring continuity between medical and social institutions involved in the rehabilitation of a disabled person.

Conclusion. The developed system of correspondence between the indicators of the state of the structure and functions of the patient's body, on the one hand, and the characteristics of artificial foot models, on the other hand, can be used by software developers to create a data management system of an electronic global catalog combining prosthetic modules from different manufacturers.

Keywords: medical rehabilitation, prosthetics, prosthesis synthesis, artificial foot, electronic database

Publication ethics: The submitted article was not previously published.

Conflict of interest: There is no information about a conflict of interest.

Source of financing: The study had no sponsorship.

Received: 01.04.2022

Accepted for publication: 15.09.2022

Введение / Introduction

Обычно при выборе искусственной стопы для изготовления модульного протеза пациенту специалисты пользуются информационно-рекламными каталогами разных производителей с рекомендациями по назначению представленных в них моделей протезных модулей с учётом возрастной группы и массы тела пациента, размера обуви, уровня его двигательной активности (низкой, сниженной, средней и т.д.); планируемого режима использования протеза (в процессе обычной жизнедеятельности, для плавания и пр.).

Наиболее известная система таких рекомендаций представлена как классификационная система «MOBIS» в каталогах продукции компании Ottobock SE & Co. KGaA (Германия) [1]. В данной системе дана характеристика четырём уровням двигательной активности (низкому, среднему, повышенному и высокому) и выделены четыре весовые категории пациентов — до 75 кг, до 100 кг, до

125 кг и более. Зная эти характеристики пациента, специалист подбирает соответствующие им модели узлов протеза — модулей (узлов) по каталогам, учитывая дополнительные характеристики в их описании с учётом назначения протеза, а также возможности сочленения в протезе.

Свой принцип систематизации продукции представлен в каталогах ОАО «РКК «Энергия» [2]. В них для удобства выбора модулей при комплектации протеза все функциональные модули нижних конечностей разделены на два основных класса — для детей и взрослых. В рамках каждого из этих классов проведено деление на три группы — модули для протезов голени, бедра и после вычленения бедра. И, наконец, для каждой из этих групп представлен перечень модулей, в том числе стоп, с указанием для какой из трёх групп активности протезируемого (низкой, средней, высокой) они предназначены. Отдельно для каждой модели стопы представлены в текстовом виде предельно

допустимая масса тела пациента, превышение которой является противопоказанием к назначению модели, её некоторые конструкционные и функциональные характеристики.

В каталогах других производителей протезных модулей используются иные классификации.

Объём и вид представления информации о характеристиках протезных модулей значительно отличаются в каталогах продукции разных производителей. В одних из них может быть указано для пациентов с какой двигательной активностью рекомендуется назначать какой-либо протезный модуль, но не представлены конструкционные и/или функциональные, и/или эксплуатационные характеристики, подтверждающие правомерность этих рекомендаций. В других — наоборот.

В итоге специалист часто испытывает затруднения для принятия решения по выбору нужной для пациента модели какого-либо модуля (узла), тем более среди большой номенклатуры продукции отечественных и зарубежных производителей на рынке. Ошибка же в этом случае приводит к снижению качества протезирования и эффективности реабилитации пациента, что сопровождается не полной реализацией возможностей повышения качества жизни инвалида, нерациональными финансовыми затратами на реабилитацию.

Для разрешения этой проблемы на должном уровне требуется создание инновационной компьютерной технологии персонализированного синтеза протеза нижней конечности, позволяющей повысить объективность и удобство выбора моделей протезных модулей пациенту с учётом множества показателей его состояния. Одной из задач разработки такой технологии является формирование глобального электронного каталога — базы данных (БД) протезной продукции разных производителей с информацией, систематизированной по единой схеме с учётом функциональных, эстетических, эксплуатационных характеристик, которые должны учитываться при персонализированном выборе модели пациенту. Другой задачей создания такой технологии является разработка принципа и системы выбора из каталога именно тех моделей продукции, которые соответствуют показателям состояния пациента. С этой целью требуется разработать систему совместимости между показателями состояния пациента и характеристиками протезных модулей [3].

Поскольку искусственная стопа является модулем, входящим практически в любой протез нижней конечности, и в значительной степени определяет его биомеханические свойства, именно с неё представляется целесообразным начать разработку такой системы совместимости.

Цель / Aim

Целью работы является обоснование системы совместимости между показателями состояния структур и функций организма пациента и характеристиками искусственных стоп для оптимизации выбора модели стопы при персонализированном синтезе протеза нижней конечности на основе компьютерных технологий.

Материалы и методы / Materials and methods

В качестве методов исследования применены:

- теоретический метод, включающий анализ, синтез и аналогию;
- экспертный опрос ведущих специалистов Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, обладающих теоретическими знаниями и более чем тридцатилетним практическим опытом протезирования пациентов после ампутации нижней конечности.

При описании структурно-функционального состояния организма протезируемого, там, где это было возможно, использовалась терминология и определители нарушений, принятые в Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ) [4].

Результаты / Results

Разработанная система показателей состояния протезируемого инвалида после ампутации нижней конечности включает множество базовых показателей P_b, которые используются при выборе протезных модулей по каталогам, а также множество факультативных показателей P_f, которыми можно повысить степень персонализации выбора пациенту искусственной стопы.

В качестве P_b приняты:

- тип протезирования (первичное или повторное);
- целевое назначение изготавливаемого протеза (для повседневного использования, купания, занятий АФК или определённым видом спорта);
- возрастная группа, к которой относится пациент;
- пол (мужской или женский);
- масса тела (кг);
- размер сохранной стопы (см);
- уровень двигательной активности (нулевой, низкий, сниженный, средний, высокий).

Из этого перечня сложно определить только уровень двигательной активности. Для этой цели применяют различные методы, в том числе со слов самого пациента и с использованием предиктора мобильности, который позволяет оценить уровень мобильных функций по результатам выполнения

пациентом двигательных тестов с протезом и/или без него. Обычно при оценке двигательной активности применяют три градации её уровня («низкий», «средний», «высокий») [2, 5] или четыре (добавляется «повышенный» уровень) [1, 6]. На наш взгляд, необходимо учитывать пять градаций этого уровня, включая «нулевой», понимая под ним невозможность пациента передвигаться на протезе даже со средствами дополнительной опоры. Это будет способствовать реализации права таких пациентов на снабжение их протезом, играющим преимущественно эстетическую (косметическую) функцию, но в некоторых случаях и биомеханическую — направленную на помощь обслуживающему персоналу, например, при необходимости переместить пациента с кресла-коляски на театральное кресло и т.п.

Факультативные показатели состояния протезируемого в предлагаемой системе разделены на четыре группы, каждая из которых содержит множество однородных показателей, от которых зависит выбор искусственной стопы:

- S — показатели состояния структур организма протезируемого;
- B — показатели состояния функций организма протезируемого;
- D — показатели активности и участия протезируемого;

– E — факторы окружающей среды, в которой планируется использовать протез.

Данные показатели целесообразно представлять в терминах МКФ, заимствованных из перечня категорий соответствующих разделов этой классификации: «b» — «функции организма»; «s» — «структуры организма»; «d» — «активность и участие»; «e» — «факторы окружающей среды», учитывая, что понятийный язык МКФ планируется как обязательный для внедрения его в области реабилитации с целью облегчения общения специалистов мультидисциплинарных бригад и обеспечения преемственности между ними [7–10].

Анализ МКФ был проведён для того, чтобы в свете указанного в ней перечня показателей здоровья и связанных с ним факторов не упустить те, которые могут относиться к протезируемому пациенту, а уже из них определить факторы, которые целесообразно учитывать при выборе искусственной стопы.

Из раздела «s» МКФ («Структуры организма») актуальными для рассмотрения факторами при выборе искусственной стопы являются только структура лодыжки и стопы (s7502) и структура голени (s7501), точнее — кости голени (s75010). Таким образом в группу S вошли только два показателя (табл. 1). Здесь и далее в скобках используется кодировка МКФ: буква указывает на раздел

Таблица 1 / Table 1

Система рекомендаций к выбору стопы с учётом показателей нарушения структур протезируемой конечности / Recommendation system of foot selection taking into account structure violations of amputated limb

Характеристики искусственной стопы / Parameters of artificial foot		Показатели и варианты оценок состояния протезируемого / Indicators and status assessment options of amputant					
характеристики / Parameters	варианты исполнения / Existing types	s7502 структура стопы / structure of foot	s7501 структура голени / structure of lower leg				
			s75010 кости голени / bones of lower leg				
Профиль / Profile	Обычный / Normal	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1
	Сниженный / Reduced	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1
Шарнир / Joint	Отсутствует / Absent	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1
	Одноосный / Uniaxial	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1
	Сферический / Spherical	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1
	Псевдошарнир / Pseudejoint	3.2	4.1	0	3.2.7	3.2.6	4.1

Обозначения в ячейках сетки: ■ — назначение варианта исполнения невозможно; ■ — не рекомендуется; ■ — допускается; ■ — рекомендуется.

Designations in grid cells: ■ — assignment of a variant is not possible; ■ — not recommended; ■ — allowed; ■ — recommended.

МКФ, цифры за ней до первой точки — место категории в иерархической системе доменов, цифры после точки — определители для оценки нарушений структур организма (например, s75010.3.2.7). Цифровой код первого уровня характеризует выраженность нарушения: «0» — нет нарушений (0–4 %); «1» — лёгкие (5–24 %); «2» — умеренные (25–49 %); «3» — тяжёлые (50–95 %); «4» — абсолютные (96–100 %); «8» — не определено; «9» — не применимо). Код второго уровня — характер нарушения (десять вариантов оценки, из которых при выборе модуля стопы целесообразно использовать только два: «0» — «нет изменения структуры», «1» — «полное отсутствие», «2» — «частичное отсутствие»). Код третьего уровня обозначает регион нарушения структуры (десять вариантов, из которых для выбора модели стопы актуальными являются только два: «6» — проксимальный и «7» — дистальный). Пример кодировки такой оценки состояния структуры голени: 3.2.7 — тяжёлое нарушение структуры в виде частичного отсутствия дистальной части голени.

При выборе модуля стопы состояние структуры нижней конечности влияет, прежде всего, на требования к её профилю и шарниру. Рассмотрим случай отсутствия нарушения структуры голени протезируемой конечности (код по МКФ — s75010.0), что соответствует вычленению стопы (s7502.4.1 — абсолютное нарушение структуры стопы в виде её отсутствия) или ампутации на уровне стопы (s7502.3.2 — тяжёлое нарушение структуры стопы в виде её частичного отсутствия). Эти нарушения сопряжены с дефицитом расстояния по вертикальной оси для размещения протеза. Разрешением проблемы является назначение моделей со сниженным профилем без шарнира или с псевдошарниром (т.е. без шарнира, но с функцией наклона в сагиттальной и фронтальной плоскостях за счёт вязко-упругих свойств материала, например, пластины из композитного материала). Причём при частичном отсутствии нарушения структуры стопы (s7502.3.2) даже такая конструкция модуля может быть противопоказана, и пациенту потребуются изготавливать не протез стопы, а вкладной башмачок.

В случае ампутации на уровне дистальной части голени (s75010.3.2.7) чаще приходится использовать низкопрофильные стопы, безшарнирные или с псевдошарниром, но не исключается возможность применения и других вариантов конструкции, если будет достаточно места для их расположения.

При ампутации на проксимальном уровне голени (s75010.3.2.6) или после вычленения костей голени (s75010.4.1) нет необходимости применения низкопрофильных стоп. В этом случае используются конструкции с обычным профилем, пре-

имущественно с шарниром или псевдошарниром, но могут назначаться и безшарнирные модели.

Множество показателей В, отражающих состояние функций организма протезируемого, разделено на четыре группы В1, В2, В4, В7. Их обозначение соответствует обозначению доменов b1, b2, b4, b7 МКФ, так как отражает часть перечня функций — факторы здоровья, представленных в этих доменах.

Группа показателей В7 включает показатели из домена b7 МКФ — «Нейромышечные, скелетные и связанные с движением функции» (табл. 2).

При нормальной подвижности в коленном суставе (КС) (b710.0_{КС}) требования к наличию и типу шарнира в искусственной стопе не выдвигаются. При лёгких нарушениях (b710.1_{КС}) рекомендуются стопы с одноосным шарниром, но также допускается назначение стоп с другим типом шарнира или бесшарнирных. В случае умеренных, тяжёлых и абсолютных нарушений рекомендуются только одноосные стопы.

В случае умеренного, выраженного или абсолютного нарушения подвижности в КС (b710.2_{КС}; b710.3_{КС} или b710.0_{КС}) для обеспечения подкосовой устойчивости протеза нельзя назначать стопы с «мягкой пяткой» — с выраженным демпфированием нагрузки переднего толчка (при опоре на пятку в начале шага). Как альтернатива, в первом из этих случаев допускается назначение конструкции с регулируемым демпфированием.

При выраженном и абсолютном нарушениях подвижности в КС (b710.3_{КС} и b710.4_{КС}) не рекомендовано назначение стоп без возможности регулировки их подвижности в сагиттальной плоскости.

Во многом схожие требования к характеристикам стопы предъявляются и при нарушениях подвижности в ТБС. При умеренном, выраженном или абсолютном нарушении этой функции (b710.2_{ТБС}, b710.3_{ТБС} и b710.4_{ТБС}) предпочтительны модели стопы с низкой упругостью в фазу заднего толчка («с мягким носком») и не рекомендуются с повышенной. При любой подвижности в суставе хорошим выбором является конструкция с регулируемой упругостью заднего толчка.

Выраженное и абсолютное нарушение подвижности ТБС (b710.3_{ТБС} и b710.4_{ТБС}) является ограничением для назначения стоп без возможности регулировки подвижности стопы в сагиттальной и фронтальной плоскостях

Выраженное и, тем более, абсолютное нарушение стабильности КС (b715.3_{КС} и b715.4_{КС}) является противопоказанием к назначению моделей стоп с шарниром; невыраженным демпфированием переднего толчка («жёсткая пятка») и даже с регулируемым демпфированием; низкой или повышенной упругостью заднего толчка; нормальной или повышенной рекуперацией энергии при перекате через стопу.

Таблица 2 / Table 2
Система рекомендаций к выбору стопы с учётом показателей нарушения нейромышечных, скелетных и связанных с движением функций протезируемого / Recommendations system of foot selection taking into account neuromuscular, skeletal and movement related violations indicators of amputee

Характеристики искусственной стопы / Parameters of artificial foot		Показатели и варианты оценок состояния протезируемого / Indicators and status assessment options of amputant																									
		функции подвижности сустава / Mobility of joint functions (b710)						функции стабильности сустава / Stability of joint functions (b715)						двигательные функции / Movement functions b7500, b7501, b755, b7600, b7601, b7602, b7603, b7650, b7653													
		коленного / Кnee		тазобедренного / Hip		коленного / Кnee		тазобедренного / Hip		коленного / Кnee		тазобедренного / Hip															
Шарнир / Joint	варианты исполнения / Existing types	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4	0	1	2	3	4					
Микропроцессор / Microprocessor	Отсутствует / Absent	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Одноосный / Uniaxial	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Сферический / Spherical	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Псевдошарнир / Pseudojoint	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
Демпфирование переднего толчка / Front push damping	Отсутствует / Absent												0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Имеется / Exist												0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Невыраженное / Unexpressed	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Выраженное / Expressed	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
Упругость заднего толчка / Rear thrust elasticity	Регулируемое / Adjustable	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Низкая / Low	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Нормальная / Normal	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
	Повышенная / Increased	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4
Регулируемая	0	1	2	3	4							0	1	2	3	4						0	1	2	3	4	

Также и для ТБС выраженное и абсолютное нарушение стабильности (b715.3_{ТБС} и b715.4_{ТБС}) является противопоказанием к назначению стоп с невыраженным демпфированием переднего толчка (с «жесткой» пяткой) или регулируемым, низкой или повышенной упругостью заднего толчка.

Если при выраженном нарушении стабильности КС (b715.3_{КС}) наличие микропроцессора в протезе может компенсировать утрату её управлением, то при абсолютном отсутствии стабильности (b715.4_{КС}) его назначение не способно решить эту проблему и не целесообразно. То же касается и нестабильности ТБС.

При нестабильности КС или ТБС не целесообразно назначать дорогостоящие высокотехнологичные модели стоп, предназначенные для использования пациентами с высокой двигательной активностью.

К двигательным функциям, от которых зависит выбор модели стопы, относятся:

- моторно-рефлекторные (b750): двигательный рефлекс растяжения (b7500), рефлексы на повреждающий стимул (b7501);

- функции произвольной двигательной реакции (b755): поструральных реакций, выравнивания положения, приспособительных, реакций равновесия, поддержания позы);

- контроль произвольных двигательных функций (b760): простых произвольных движений (b7600), сложных произвольных движений (b7601), координация произвольных движений (b7602), опорные функции руки или ноги (b7603);

- произвольные двигательные функции (b765): произвольные сокращения мышц (b7650), стереотипные и двигательные персеверации (b7653) (генерализованные или локализованные в одной или нескольких частях тела, в дерматоме, схваткообразная боль, жгучая, тупая, ноющая; нарушения, такие как миалгия, аналгезия, гипералгезия).

При выраженном и абсолютном нарушении этих функций рекомендованы бесшарнирные стопы. Допускаются также стопы с одноосным шарниром, но не сферическим или псевдошарниром. Кроме того, не рекомендовано назначать конструкции с невыраженным демпфированием переднего толчка («жесткая пятка») или регулируемым; низкой упругостью заднего толчка («мягкий носок»). Не целесообразно использовать стопы, предназначенные для высокой двигательной активности, с микропроцессором. В этих случаях лучше применять модели без шарнира, микропроцессора, с регулируемой упругостью заднего толчка.

При нормальном состоянии указанных двигательных функций или легких нарушениях назначение стоп с низкой или регулируемой упругостью заднего толчка приоритетно по сравнению с нормальной и повышенной.

Группа показателей В2 включает показатели из домена b2 МКФ — «Сенсорные функции и боль», а именно:

- функцию остроты зрения (b2100);

- вестибулярные функции — функцию пространственного положения (b2350), равновесия (b2351), передвижения (b2352);

- дополнительные сенсорные функции: проприоцептивную (b260) и осязания (b265) — статестезии и кинестезии.

При выраженном нарушении остроты зрения (b2100.3) или абсолютном его отсутствии (b2100.4) не целесообразно назначать протез с микропроцессором, выраженным демпфированием переднего толчка, в то время как при нормальной остроте зрения (b2100.0) или незначительно сниженной (b2100.1) приоритетным является назначение стоп с выраженным демпфированием. Стопа с регулированием демпфирования является хорошим выбором при любом качестве зрения.

Выраженное нарушение вестибулярных функций (b2350.3, b2351.3 или b2352.3), и тем более абсолютное (b2350.4, b2351.4 или b2352.4), является ограничением к назначению протеза для высокой двигательной активности, с микропроцессором, со сферическим или псевдошарниром. В этом случае допускается одноосный шарнир, но приоритет остаётся за бесшарнирной стопой. При таких нарушениях не рекомендуются также стопы с невыраженным демпфированием переднего толчка («с жесткой пяткой» и даже с возможностью его регулировки). В отличие от этого, регулируемая упругость заднего толчка приветствуется. Допускается также повышенная или нормальная упругость, но не низкая.

Регулируемая упругость заднего толчка рекомендуется при любом состоянии вестибулярных функций, но при лёгком нарушении этих функций (b2350.1, b2351.1, b2352.1), как и в норме (b2350.0, b2351.0, b2352.0), также хорошим вариантом является и низкая упругость стопы в эту фазу шага.

При выраженном и абсолютном нарушении проприоцептивной функции (b260.3 и b260.4) и функции осязания (b265.3 и b265.4) должны назначаться бесшарнирные стопы и не показаны стопы с любым типом шарнира. Рекомендуется выраженное демпфирование переднего толчка («мягкая пятка») и повышенная упругость заднего («жесткий носок»). Допускается также использование стоп с регулируемым демпфированием переднего толчка, нормальной или регулируемой упругостью заднего толчка. Рекомендуется использование стоп с возможностью регулировки подвижности в сагиттальной и фронтальной плоскостях, но допускается и без этой функции.

Группа показателей В4 включает показатели из домена b4 МКФ — «Функции сердечно-сосудистой, крови, иммунной и дыхательной систем»:

- сердца (b410) — темп сердечных сокращений (b4100) и ритм (b4101), сократительную силу миокарда желудочков (b4102), кровоснабжение сердца (b4103);

- кровеносных сосудов (b415) — функции артерий (b4150), капилляров (b4151), вен (b4152);

- артериального давления (b420) — его повышения (b4200), снижения (b4201), поддержания (b4202);

- толерантности к физической нагрузке (b455) — общая физическая выносливость (b4550), аэробный резерв (b4551), утомляемость (b4552).

При выраженном нарушении функции сердца (b410.3), кровеносных сосудов (b415.3), артериального давления (b420.3), толерантности к физической нагрузке (b455.3) не целесообразно назначать стопы с микропроцессором или со сферическим шарниром, псевдошарниром, а при абсолютном нарушении (b410.4, b415.4, b420.4 или b455.3) не рекомендуются конструкции и с одноосным шарниром. В данных случаях рекомендовано использовать бесшарнирные стопы, со сниженной массой — облегчённые модели.

При умеренном нарушении этих функций (b410.2, b415.2, b420.2, b455.2) допускается использование стоп с нормальной, повышенной или регулируемой упругостью заднего толчка, но не низкой («мягким носком»), а при их выраженном (b410.3, b415.3, b420.3, b455.3) — приоритет отдаётся низкой упругости стопы в эту фазу шага («мягкому носку»), допускается также нормальная упругость, но не повышенная (не «жёсткий носок») и не регулируемая.

Что касается требований к заднему толчку, то при умеренных и выраженных нарушениях этих функций (b410.2 и b410.3, b415.2 и b415.3, b420.2 и b420.3, b455.2 и b455.3) рекомендуется выраженное демпфирование переднего толчка («мягкая пятка»), допускается также регулируемое демпфирование, но не рекомендуется невыраженное («жёсткий носок»). А при абсолютных нарушениях (b410.4, b415.4, b420.4, b455.4) требования к упругости заднего толчка и рекуперации энергии при перекате через стопу не рассматриваются, так как в этом случае не предусматривается использование протеза для ходьбы.

Для пациентов без нарушений функций сердца (b410.0), кровеносных сосудов (b415.0), артериального давления (b420.0), толерантности к физической нагрузке (b455.0) допускается назначение стоп с любым уровнем рекуперации энергии при перекате, но рекомендуются — с нормальным и повышенным уровнем. При выраженных нарушениях этих функций (b410.3, b415.3, b420.3, b455.3)

не предполагается возможность быстрой ходьбы, и поэтому такое свойство стопы не требуется и может даже затруднять передвижение. В данных случаях выбор делают из моделей с низким и нормальным уровнем рекуперации энергии. Также при таких нарушениях не назначают модели, предназначенные для высокой двигательной активности, а при абсолютных нарушениях даже не рассматриваются.

Группа В5 относится к разделу b5 МКФ — «Функции пищеварительной, эндокринной систем и метаболизма» и в неё входит только один показатель, значимый для выбора модуля стопы, а именно — функция сохранения массы тела (b530), т.е. стабильности массы тела протезируемого.

При выраженных нарушениях этой функции (b530.3) требуется наличие в стопе функции регуляции её подвижности, а также регулируемой упругости переднего и заднего толчков. При абсолютном нарушении (b530.4) это не имеет значение, т.к. в этом случае не предполагается, что пациент будет пользоваться протезом так активно, что эти свойства протеза могут быть востребованы.

Группа показателей В1 включает часть показателей из домена b1 МКФ — «Умственные функции»:

- b130 — волевые и побудительные функции — волевой уровень (b1300), мотивация (b1301);

- функции внимания (b140) — устойчивость внимания (b1400), переключение (b1401), разделение (b1402), сосредоточение (b1403);

- b144 — функции памяти — кратковременная память (b1440), долговременная (b1441), воспроизведение хранящегося в памяти (b1442);

- функции эмоций (b152) — адекватность эмоций (b1520), регуляция эмоций (b1521), диапазон эмоций (b1522);

- функции восприятия (b156) — тактильное восприятие (b1564), визуально-пространственное восприятие (b1565).

При выраженных и абсолютных нарушениях волевых и побудительных функций (b130.3 и b130.4) протезируемого пациента целесообразно назначать стопы без микропроцессора, так как потенциальные возможности дорогостоящих моделей с этим компонентом вряд ли могут быть реализованы. При нормальном состоянии этих функций, лёгких или умеренных нарушениях (b130.0, b130.1 или b130.2), если нет противопоказаний со стороны других систем, т.е. имеется хороший прогноз по использованию протеза в достаточно активном режиме, предпочтительно назначать стопы с выраженным демпфированием переднего толчка («с мягкой пяткой»), повышенной упругостью заднего толчка, повышенной рекуперацией энергии в перекате. Но в случае выраженного и, тем более,

абсолютного нарушения этих функций (b130.3 и, тем более b130.4) наличие этих свойств в протезе уже не является столь необходимым из-за прогноза низкой двигательной активности на протезе.

При выраженных и абсолютных нарушениях функции внимания и памяти (b140.3, b140.4 и b144.4, b144.4) не рекомендовано назначение искусственных стоп с микропроцессором и энергозависимых — требующих перезарядки аккумулятора.

Стопы с микропроцессором не целесообразно также назначать и при выраженном или абсолютном нарушении функций эмоций (b152.3, b152.4). В этих случаях могут возникать проблемы и при использовании стоп с регулировкой под высоту каблука.

При выраженных и абсолютных нарушениях функции восприятия (b156.3, b156.4) рекомендуется назначение бесшарнирных стоп, с выраженным демпфированием переднего толчка («мягкая пятка») и повышенной упругостью заднего («жёсткий носок»). Предпочтительно назначение стоп с регулируемой подвижностью.

Обсуждение / Discussion

Применение предложенной схемы описания структурно-функциональных нарушений организма позволит структурировать и стандартизировать описание состояния инвалида, что является необходимым этапом разработки технологии персонализированного выбора комплектующих протеза, а также может быть полезным для обеспечения преемственности между учреждениями медицинского и социального профилей, участвующих в реабилитации инвалида.

Однако наибольший практический эффект от внедрения системы формирования категориального профиля протезируемого может быть достигнут в случае разработки правил соответствия между критериальными оценками используемых в нём факторов, с одной стороны, и рекомендуемыми характеристиками протезных модулей, с другой.

Кодирование нарушения функций и структур организма в категориальном профиле протезируемого инвалида может быть полезным для обеспечения преемственности между участвующими в реабилитации инвалидов учреждениями медицинского и социального профилей на основе перехода на цифровую платформу.

Заключение / Conclusion

Разработанная система соответствия между показателями состояния структуры и функций организма пациента, с одной стороны, и характеристиками моделей искусственных стоп, с другой стороны, может быть использована разработчика-

ми программных продуктов при создании системы управления данными электронного глобального каталога, объединяющего протезные модули разных производителей.

Представленные в таблицах приоритеты и ограничения к назначению моделей искусственных стоп с определёнными характеристиками могут быть использованы в качестве логических фильтров для создания выборок именно тех моделей из глобального электронного каталога, которые соответствуют состоянию протезируемого.

Использование понятийного языка МКФ при описании показателей и факторов, влияющих на выбор протезных модулей, будет способствовать взаимопониманию и преемственности специалистов и внедрению цифровизации в область реабилитации.

Этика публикации. Представленная статья ранее опубликована не была, все заимствования корректны.

Конфликт интересов. Информация о конфликте интересов отсутствует.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Обзор продукции. Протезы нижних конечностей. Доступен по: <https://www.ottobock.ru/prosthetics/lower-limb-prosthetics/solution-overview>. (дата обращения: 20.12.2021).
2. РКК «Энергия» им. С.П. Королёва. Доступен по: <https://www.energia.ru/ru> (дата обращения: 20.12.2021).
3. Smirnova LM, Skrebenkov EA. Software implementation of the analytic hierarchy process method to justify the plan of biomechanical examination of patients with a prosthesis. SIBIRCON 2019:631-635. doi: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958321.
4. International Classification of Functioning, Disability, and Health. Available at: <https://icd.who.int/dev11/1-icf/en>. (accessed 25.03.2022)
5. Trautmann, L. (2018). Development of a prosthetic control to support the rehabilitation process (Doctoral dissertation, Wien).
6. Ekinci Y, Yaşaroğlu ÖF, Düger T. Content comparison of four commonly used amputee mobility assessment scales in the literature by linking to the International Classification of Functioning, Disability, and Health. Prosthet Orthot Int. 2021 Dec 1;45(6):544-552. doi: 10.1097/PXR.000000000000052.
7. Clarke L, Ridgewell E, Dillon MP. Identifying and linking prosthetic outcomes to the ICF framework: a step to inform the benefits measured in prosthetic health economic evaluations. Disabil Rehabil. 2022 Mar 17:1-11. doi: 10.1080/09638288.2022.2049902.
8. Ekinci Y, Yaşaroğlu ÖF, Düger T. Content comparison of four commonly used amputee mobility assessment scales in the literature by linking to the International Classification of Functioning, Disability, and Health. Prosthet Orthot Int. 2021 Dec 1;45(6):544-552. doi: 10.1097/PXR.000000000000052.

9. Ишутина И.С., Кантемирова Р.К., Шабанова О.А. Международная классификация функционирования: оценка ограничений жизнедеятельности у инвалидов с бронхиальной астмой // Физическая и реабилитационная медицина. — 2020. — Т. 2. — № 1. — С. 34-44. doi: 10.26211/2658-4522-2020-2-1-34-44.
10. Gailey R, Clemens S, Sorensen J, Kirk-Sanchez N, Gaunaud I, Raya M, Klute G, Pasquina P. Variables that Influence Basic Prosthetic Mobility in People With Non-Vascular Lower Limb Amputation. *PM R.* 2020 Feb;12(2):130-139. doi: 10.1002/pmrj.12223.
6. Ekinci Y, Yaşaroğlu ÖF, Düger T. Content comparison of four commonly used amputee mobility assessment scales in the literature by linking to the International Classification of Functioning, Disability, and Health. *Prosthet Orthot Int.* 2021 Dec 1;45(6):544-552. doi: 10.1097/PXR.0000000000000052.
7. Clarke L, Ridgewell E, Dillon MP. Identifying and linking prosthetic outcomes to the ICF framework: a step to inform the benefits measured in prosthetic health economic evaluations. *Disabil Rehabil.* 2022 Mar 17:1-11. doi: 10.1080/09638288.2022.2049902.
8. Ekinci Y, Yaşaroğlu ÖF, Düger T. Content comparison of four commonly used amputee mobility assessment scales in the literature by linking to the International Classification of Functioning, Disability, and Health. *Prosthet Orthot Int.* 2021 Dec 1;45(6):544-552. doi: 10.1097/PXR.0000000000000052.
9. Ishutina IS, Kantemirova RK, Shabanova OA. [International Classification of Functioning: Assessment of Life Restrictions in Disabled with Bronchial Asthma. *Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine].* 2020;2(1):34-44. doi: 10.26211/2658-4522-2020-2-1-34-44. (In Russian)
10. Gailey R, Clemens S, Sorensen J, Kirk-Sanchez N, Gaunaud I, Raya M, Klute G, Pasquina P. Variables that Influence Basic Prosthetic Mobility in People With Non-Vascular Lower Limb Amputation. *PM R.* 2020 Feb;12(2):130-139. doi: 10.1002/pmrj.12223.

References

1. Protezy nizhnih konechnostej [Lower limb prosthesis]. Available at: <https://www.ottobock.com/ru-ru/category/32334>. (accessed 20.12.2021). (In Russian).
2. S. P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. Available at: <https://www.energia.ru/english/index.html> (accessed 20.12.2021).
3. Smirnova LM, Skrebenkov EA. Software implementation of the analytic hierarchy process method to justify the plan of biomechanical examination of patients with a prosthesis. *SIBIRCON 2019*:631-635. doi: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958321.
4. International Classification of Functioning, Disability, and Health. Available at: <https://icd.who.int/dev11/icf/en>. (accessed 25.03.2022)
5. Trautmann L. (2018). Development of a prosthetic control to support the rehabilitation process (Doctoral dissertation, Wien).

Поступила: 01.04.2022

Принята в печать: 15.09.2022

Авторы

Смирнова Людмила Михайловна — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела биомеханических исследований ОДС Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация; профессор кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5, 197376, Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>; e-mail: info@diaserv.ru.

Сусяев Вадим Геннадиевич — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0651-5497>; e-mail: vadims1964@yandex.ru.

Янковский Владимир Михайлович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская улица, д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4258-920X>; e-mail: yankovsky.vladimir@yandex.ru.

Фогт Елизавета Владимировна — руководитель отдела биомеханических исследований ОДС Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская улица, д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация; аспирант кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5, 197376, Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1017-6179>; e-mail: fogtlisbet11@yandex.ru.

Синегуб Андрей Владимирович — младший научный сотрудник отдела биомеханических исследований ОДС Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская улица, д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>; e-mail: a.sinegub@yandex.ru.

Authors

Ludmila M. Smirnova, Grand PhD in Engineering sciences, Leading researcher of the Department of Biomechanical Studies of the Musculoskeletal System of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, Bestuzhevskaya Street, 50, 195067, Saint Petersburg, Russian Federation; Professor of Department of Biomedical Engineering, Saint Petersburg Electrotechnical University, Professora Popova Street, 5, 197376, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>; e-mail: info@diaserv.ru.

Vadim G. Suslyayev, PhD in Medical Science, leading researcher of Department of innovative technology for technical means of rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, Bestuzhevskaya Street, 50, 195067, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0651-5497>; e-mail: vadims1964@yandex.ru.

Vladimir M. Yankovskiy, PhD in Medical Science, leading researcher of Department of innovative technology for technical means of rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, Bestuzhevskaya Street, 50, 195067, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4258-920X>; e-mail: yankovsky.vladimir@yandex.ru.

Elizaveta V. Fogt, Head of the Department of Biomechanical Studies of the Musculoskeletal System of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, Bestuzhevskaya Street, 50, 195067, Saint Petersburg, Russian Federation; postgraduate student of Department of Biomedical Engineering, Saint Petersburg Electrotechnical University, Professora Popova Street, 5, 197376, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1017-6179>; e-mail: fogtllisbet11@yandex.ru.

Andrey V. Sinegub, junior researcher of the Department of Biomechanical Studies of the Musculoskeletal System of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, Bestuzhevskaya Street, 50, 195067, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>; e-mail: a.sinegub@yandex.ru.