

FMBA and Municipal Clinical Hospital No. 39, Moskovskoye sh. 144, Nizhny Novgorod, Russia, SPIN code: 8151-2292, e-mail: anton-yarikov@mail.ru; Morev Anton V. – neurosurgeon doctor of the Municipal Clinical Hospital No. 39, Moscowhighway, 144, Nizhny Novgorod, SPIN-code: 6756-1190; Khasyanov Marat K. – neurologist, Arzamas Municipal Hospital №1, 607223, Nizhny Novgorod region, Arzamas, st. 50 years of the Komsomol, 21, e-mail: makhas79@mail.ru; Ponomareva Alexandra I. – neurologist, Arzamas Municipal hospital №1, 607223, Nizhny Novgorod region, Arzamas, st. 50 years of the Komsomol, 21; Stolyarov Sergey I. – neurologist, Central Municipal Hospital, 607221, Nizhny Novgorod region, Arzamas, st. Zelena, d. 2, e-mail: arzamasno@gmail.com; Nesterenko Sergey P. – neurologist, Central Municipal Hospital, 607221, Nizhny Novgorod region, Arzamas, st. Zelena, 2, e-mail: s.nesterenko1111@gmail.com; Naumov Aleksey K. – neurologist, Vyaznikovsky District Hospital, 601442, Vladimir region, Vyaznikovsky district, Vyazniki, st. Kiseleva, 72, e-mail: naumak@yandex.ru; Zemlyanin Konstantin O. – neurologist, Kovrov Central Municipal Hospital, 601915, Vladimir Region, Kovrov, st. Elovaya, 5, e-mail: zemlyanikin.k@mail.ru; Slipenko Elena V. – neurologist, Pochinki Central District Hospital, 607910, Nizhny Novgorod Region, Pochinkovsky District, s. Fixes, st. Lunacharsky, 45 e-mail: a.slipenko@mail.ru; Zhukova Julia A. – neurologist, Gorokhovetsky Central District Hospital, 601482, Vladimir Region, Gorokhovetsky district, Gorokhovets, Komsomolskaya st., 23, e-mail: juliaghukova1990@yandex.ru.

© КОРОБЕНКОВ Н.О., КОЧЕТОВ С.С., ГРИГОРОВ П.А. – 2019
УДК617.57-77

DOI: 10.34673/ismu.2020.13.79.004

БИОНИЧЕСКОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ КОНЕЧНОСТИ

Коробенков Н.О.¹, Кочетов С.С.², Григоров П.А.³

¹Иркутский научный центр хирургии и травматологии, Иркутск, Россия;

²Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия;

³Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия)

Резюме. Проблема реабилитации пациентов после травматической ампутации конечности была актуальной с древних времён. Первые протезы были найдены в Долине Нила в результате археологических раскопок: по мнению историков, данные находки датированы 3 тыс. лет до н. э. В Позднем Средневековье появились первые сообщения о так называемых «железных руках» – первых прототипах тяговых протезов. В XX веке в результате двух мировых войн и череды революций в Европе, а также появления новых видов вооружения, процент инвалидов, лишившихся конечностей, резко увеличился, что привело к появлению и развитию концепции рабочих протезов. Данные протезы позволяли инвалидам вернуться к выполнению их привычной рабочей деятельности, а также были разработаны протезы для многих профессий. В начале XIX века развитие получили бионические протезы, которые позволили вернуть двигательную активность пострадавшим, утратившим конечность. Британская компания RSL Steerer представила в 2010 г. первый серийный бионический протез кисти руки BeBionic. В 2013 г. в результате совместной работы Cleveland Veterans Affairs Medical Center и Case Western Reserve University разработан протез, сенсоры которого напрямую были «подключены» к нервным окончаниям культи, что позволило осуществить принцип обратной связи. Главной целью работы был сбор литературы и статистических данных по теме бионического протезирования конечности для последующей разработки и внедрения бионического протеза. Актуальность темы подтверждают данные протезно-ортопедических предприятий, указывающие на низкую обеспеченность функциональными протезами конечности (менее 30 % инвалидов обеспечены необходимыми протезами). На основании данных исследования контрольной группы 316 инвалидов, проводившегося Казанским протезно-ортопедическим центром «Реабилитация инвалидов», можно подчеркнуть, что ампутации затрагивают активные работоспособные группы населения: так, на возраст 20-29 лет приходится 39,5% (125 человек), на втором месте – возрастная группа от 0 до 19 лет – 23,7% (75 человек), на третьем – возрастная группа 30-39 лет – 16,7% (53 человека). Таким образом, на долю молодого и трудоспособного населения приходится 76,2% (241 человек), что приводит к колоссальным экономическим потерям для государства вследствие стойкой утраты трудоспособности и невозможности полноценно выполнять деятельность. По структуре травматических ампутаций преобладают ампутации, полученные в результате железнодорожных травм – 34,3% (106 человек, из них производственные – 48 человек), на втором месте – дорожно-транспортные происшествия – 30% (93 человека), на третьем месте – осложнённые переломы с необходимостью в ампутации – 18% (56 человек), затем минно-взрывные и огнестрельные травмы – 10% (31 человек) и заболевания, вызвавшие необходимость ампутации – 7,7% (24 человека). Проведённый анализ литературы и статистических данных доказывает низкую обеспеченность, нуждающихся в протезах конечности, что особенно касается лиц трудоспособного возраста, которые при оптимальном уровне реабилитации могли бы вернуться на свои рабочие места. В частности, при бионическом протезировании конечности пациент полностью восполняет функционал утраченной конечности. Также были выявлены проблемы в организации системы обеспечения и мониторинга подобных пациентов, что негативно сказывается на реабилитации после оперативного лечения. В дальнейшем необходимо создание условий для сокращения времени между этапами реабилитации и условий преемственности во всех звеньях реабилитации. Одним из главных факторов решения проблемы является разработка ответственного бионического протеза и внедрение его в производство, что позволит покрыть имеющийся дефицит протезов у населения.

Ключевые слова: бионическое протезирование; реабилитация инвалидов; протезирование конечности.

BIONIC LIMB PROSTHETICS

Korobenkov N.O.¹, Kochetov S.S.², Grigorenko P.A.³

¹Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, Irkutsk, Russia;

²Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia;

³Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia)

Summary. The problem of rehabilitation of patients after limb traumatic amputation has been relevant since ancient times. The first prostheses were found in the Nile Valley as a result of archaeological excavations: according to historians, these findings are dated 3 000 years BC. In the Late Middle Ages, the first reports appeared of the so-called “iron arms” – the first prototypes of traction prostheses. In the 20th century, as a result of two world wars and a series of revolutions in Europe, as well as the emergence of new types of weapons, the percentage of disabled people who lost limbs increased sharply, which led to the development of the concept of working prostheses. These prostheses allowed people with disabilities to return

to their usual work activities, and prostheses were developed for many professions. At the beginning of the 19th century, bionic prostheses evolved, which made it possible to return motor activity to victims who had lost a limb. In 2010, the British company RSLSteeper introduced the first bionic hand prosthesis BeBionic. In 2013, as a result of the joint work of Cleveland Veterans Affairs Medical Center and Case Western Reserve University, a prosthesis was worked out, which sensors were directly connected to the nerve endings of the stump, and that allowed the feedback principle to be implemented. The main goal of the present work was to review literature data and statistics on the topic of bionic prosthetics of the limb for the subsequent development and implementation of the bionic prosthesis. The relevance of the topic is confirmed by the data of prosthetic and orthopedic enterprises, indicating a low provision with functional limb prostheses (less than 30 % of disabled people are provided with necessary prostheses). Based on the data of the study of the control group of 316 disabled people conducted by the Kazan Prosthetic and Orthopedic Center "Rehabilitation of the Disabled", it can be emphasized that amputations affect working-age population: for example, 39,5% (125 people) are 20-29 years old. The second place is taken by the age group from 0 to 19 years old – 23,7% (75 people), the third – 30-39 years old – 16,7% (53 people). Thus, the share of the young and working-age population accounts for 76,2% (241 people), which leads to enormous economic losses for the state as a result of persistent disability and the inability to carry out activities to the full potential. The structure of traumatic amputations is dominated by amputations resulting from railway injuries – 34,3% (106 people, of whom industrial traumas – 48 people), traffic accidents – 30% (93 people) – take the second place, and complicated fractures with the need for amputation – the third place – 18% (56 people). They are followed by mine-blast traumas and gunshot injuries – 10% (31 people) and diseases that caused the need for amputation – 7,7% (24 people). An analysis of the literature and statistical data proves the low availability of limb prostheses, which is especially true for people of working age who, with an optimal level of rehabilitation, could return to their jobs. In particular, with bionic prosthetics of an extremity, the patient completely replenishes the functionality of the lost limb. Also, problems were identified in the organization of a system for providing and monitoring such patients, which negatively affects rehabilitation after surgical treatment. In the future, it is necessary to create conditions for reducing the time between the stages of rehabilitation and the conditions of continuity in all stages of rehabilitation. One of the main factors for solving the problem is the development of a domestic bionic prosthesis and its introduction into production, which will cover the existing shortage of prostheses in the population.

Key words: bionic prosthetics; rehabilitation of disabled people; limb prosthetics.

Введение

Стойкая потеря трудоспособности активного работоспособного населения является острой проблемой современности и приносит значительный экономический вред государству. На долю травм, по данным Росстата за 2017 год, среди причин первичной инвалидности приходится 13,2%, и до последнего времени травмы занимают третье место, уступая только сердечно-сосудистым и онкологическим заболеваниям [40]. В ряде регионов России инвалидность вследствие травм выходит на первое-второе места [22]. В структуре травм ампутации конечностей занимают 0,7% от общего количества травмированного населения [33]. Ампутации приводят к нарушению двигательной активности пострадавшего и стойкой утрате трудоспособности, что в последующем приводит к инвалидности [33]. На основании данных исследования контрольной группы 316 инвалидов, проводившегося Казанским протезно-ортопедическим центром «Реабилитация инвалидов», можно подчеркнуть, что ампутации затрагивают активные работоспособные группы населения: так, на возраст 20-29 лет приходится 39,5% (125 человек), на втором месте возрастная группа от 0 до 19 лет – 23,7% (75 человек), третье место занимает возрастная группа 30-39 лет – 16,7% (53 человека). Таким образом, на долю молодого и трудоспособного населения приходится 76,2% (241 человек), что приводит к колоссальным экономическим потерям для государства вследствие стойкой утраты трудоспособности и невозможности полноценно выполнять деятельность. Также в ходе исследования было выявлено, что на долю ампутации верхней конечности приходится 3,8% (12 человек, в т.ч. врождённые аномалии развития конечности) [33]. По структуре травматических ампутаций преобладают ампутации, полученные в результате железнодорожных травм – 34,3% (106 человек, из них производственные – 48 человек), на втором месте дорожно-транспортные происшествия – 30% (93 человека), на третьем месте – осложнённые переломы с необходимостью в ампутации – 18% (56 человек), затем минно-взрывные и огнестрельные травмы – 10% (31 человек) и заболевания, вызвавшие необходимость ампутации, – 7,7% (24 человека) [3]. К 2010 г. на учёте в ПрОП (протезно-ортопедических предприятиях) в России состояло 948532 пациента, испытывавших необходимость в протезно-ортопедической помощи, из которых инвалидами являлись 80,7% [34]. В протезировании культей конечностей всего нуждались 17,9% пациентов

(170063 человека). Было изготовлено 46800 протезов, включая первичное протезирование, что составило менее 30% от общего числа пациентов [34].

История вопроса

Проблема после ампутационного протезирования конечности была актуальной ещё на заре цивилизации. Так, появление первых известных исторической науке функциональных протезов было зафиксировано в Древнем Египте около 3 тыс. лет до н. э. [20]. В Каирском историческом музее хранятся остатки протеза правой руки, сделанного для неизвестного высокопоставленного египтянина в эпоху династии фараона Джосера в конце XXVII века до н. э. [20]. В новое время, на рубеже XVII-XVIII столетий ввиду постоянства войн и низкого уровня медицины получила популярность особая форма протезирования руки – так называемые «железные руки», которые посредством тросиков позволяли владельцам брать и удерживать предметы, это были первые прототипы тяговых протезов, получивших в дальнейшем распространённость [19]. В России первый протез был спроектирован и изготовлен изобретателем Иваном Петровичем Кулибиным в 1791 году, но проект не попал в серийное производство. Как отрасль протезирование в России появилось только в конце XIX века [30]. В 1883 году в Санкт-Петербурге был открыт «Мариинский приют для ампутированных и увечных воинов», где инвалиды получали первые протезы рук с рабочими приспособлениями [30]. В 1919 году был открыт Петроградский институт протезирования (в будущем Ленинградский научно-исследовательский институт протезирования) на базе бывшего Мариинского приюта, директором которого стал травматолог-ортопед, профессор Герман Александрович Альбрехт — основоположник протезирования в Российской Империи и СССР, изобретатель первых в отечественной практике активных механических протезов верхних конечностей [30].

В 20 веке в результате двух мировых войн и чреды революции в Европе, а также появления новых видов вооружения, процент инвалидов, лишившихся конечностей резко увеличился, это привело к появлению и развитию концепции рабочих протезов [18]. Данные протезы позволяли инвалидам вернуться к выполнению их привычной рабочей деятельности, были разработаны протезы для многих профессии [18].

В начале 21 века развитие получили бионические

протезы, данные протезы позволили вернуть двигательную активность пострадавшим, утратившим конечность. Британская компания RSLSteeper представила в 2010 году первый серийный бионический протез кисти руки VeBionic [27]. На тот момент протез имел четыре функциональных захвата, что позволяло выполнять большой спектр простых функциональных действий (удерживать предметы, выполнять простые манипуляции) [27]. В 2014 году в госпитале Университета Джона Хопкинса (Балтимор, США) был представлен протез обеих рук с функциональными плечевым, локтевым, лучезапястным суставами и кистью. Для функционирования данного протеза используется стандартный тип управления – за счёт ЭМГ система считывала сигналы с грудных мышц [27].

В 2013 году в результате совместной работы Cleveland Veterans Affairs Medical Center (Кливлендский медицинский центр ветеранов) и Case Western Reserve University (Кейсовский университет Западного резервного района) разработан протез, сенсоры которого напрямую были «подключены» к нервным окончаниям культы, что позволило осуществить принцип обратной связи [27].

DARPA (Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США) в середине 2013 года разработала протез с обратной связью в рамках программы RE-NET (Reliable Neural-Interface Technology). Агентство собиралось работать по данному проекту до 2016 года. О результатах программы пока не сообщалось [17].

Одной из самых больших проблем современного протезостроения является дороговизна подобных изделий из-за большой стоимости материалов и отсутствия принципа конвейера сборки. Данную проблему решили распространение и развитие 3D-моделирования и 3D-печати. Ряд западных компаний уже разработал бионические протезы, в основе которых лежит принцип 3D-печати, что позволило снизить себестоимость подобных изделий.

В России на данный момент протезированием занимаются Федеральные Государственные Унитарные «Протезно-ортопедические предприятия», осуществляющие помощь населению. В 2015 году в России была открыта компания «Моторика», производящая разработку тяговых протезов, в 2017 году компания представила первый российский бионический протез [38].

Классификация

На данный момент существует следующая классификация протезов конечностей (по ГОСТу Р 56138-2014, разработанному Санкт-Петербургским научно-практическим центром медико-социальной экспертизы, протезирования и реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта):

1) *в зависимости от уровня ампутации и/или врождённого недоразвития:*

- протезы пальцев и кисти;
- протезы предплечья;
- протезы плеча;
- протезы после вычленения плеча

2) *по способу управления:*

- косметические;
- функционально-косметические;
- активные;

3) *в зависимости от механизмов управления:*

- рабочие
- тяговые (активные, механические)
- миоэлектрические (биоэлектрические, бионические) [5].

Остановимся на основных видах протезов, существующих в настоящее время.

Косметические протезы – пассивные протезы, выполняющие декоративную функцию восполнения утраченной конечности. Состоят из культеприёмной гильзы, каркаса кисти и перчатки, имитирующей кожные покровы. Из плюсов данного вида протеза можно отме-

тить – хороший внешний вид, простота изготовления, низкая стоимость. Недостатком является исключительно декоративная функция без восполнения функции утраченной конечности [32].

Тяговые (механические) протезы, помимо декоративно функции возмещения утраченной конечности, имитируют движения, давая ограниченный функционал – функция хвата кисти имитируется за счёт натяжения тросов, которые связаны с пальцами протеза и фиксируются на предплечье [4]. Натяжение тросов происходит при движении в лучезапястном суставе. Таким же образом возможна имитация ограниченного количества движений при ампутации более высокого уровня [4]. Плюсом данных протезов является их относительная простота устройства, невысокая стоимость, возможность выполнять ограниченный спектр движения [4]. Минусами данных протезов являются: ограниченная сила хвата, ограниченная степень движения (относительно бионических протезов) [4]. Также в эту категорию протезов входят «рабочие протезы» – данный тип протеза выполнен по принципу механического протеза, но с целью выполнения специфической трудовой деятельности протез имеет приемник для рабочих насадок и позволяет использовать различные инструменты (молоток, зубило, зажим для отверток, тату-машинки), а также позволяет удерживать бытовые приборы [21].

Активные миоэлектрические протезы работают на основе принципов двигательной и интегративной функции нервной системы [2]. Обычно мышца возбуждается при поступлении потенциалов действия от иннервирующих мотонейронов в результате передачи через нервно-мышечные синапсы, генерируются мышечные потенциалы действия, приводящие к мышечному сокращению и выполнению определенного движения в конечности [2].

Для принятия сигнала используется специальный аппарат – электромиограф, представляющий собой электронный усилитель и регистрирующую систему (осциллограф). Он обеспечивает возможность усиления биотоков мышцы в 1 млн раз и более и регистрирует их в виде графической записи [2]. Отведение мышечных биопотенциалов осуществляется с помощью поверхностных электродов, которые позволяют регистрировать суммарную электрическую активность многих мышечных волокон. При снятии и анализе ЭМГ учитывается частота биопотенциалов, величина их амплитуды (вольтаж), а также общая структура осциллограмм (монотонность осцилляции или их расчлененность на залпы, частота и длительность этих залпов и пр.) [31].

ЭМГ датчик принимает сигнал с мышцы пациента, после чего посылает к процессору на плате аналоговый сигнал [24]. При преодолении порогового значения, происходит передача сигнала на исполнительный механизм. Существует несколько способов реализации движения в исполнительной части, в итоге приводящие к движению в искусственной кисти [12]. При ампутации конечности происходит нарушение механизма на разных уровнях модели «нервная система- регулируемый орган» (в зависимости от уровня ампутации) происходит нарушение нервной проводимости по поврежденному аксону мотонейрона, повреждение мышечной единицы или утрата сухожильно-костного эффекторного аппарата. Основным принципом работы современных бионических протезов является использование электромиографии [35].

Особенности электромиографии в условиях травматической ампутации

Обязательным условием является проведение ЭМГ-исследования конечности для определения пригодности культы для протезирования [23]. Предварительное ЭМГ-исследование позволяет выявить нарушения в проведении нервного импульса до двигательных единиц, а также в структуре самих мышечных волокон, обусловленных травматической ампутацией [9]. ЭМГ-характеристика состояния мышечных волокон в усло-

виях нормы проявляется стабильным потенциалом покоя и возникновением потенциала действия при прямом раздражении волокна или поступлении нервного импульса [28].

При повреждении соответствующего нерва, иннервируемые им мышцы претерпевают денервационную атрофию, что доказывает зависимость состояния мышечных волокон от сохранности контакта с соответствующим нервом [29]. Через 24 ч после денервации отмечается расширение области холинорецептивности мембраны мышечных волокон, что связано с формированием новых холинорецепторов на поверхности мембраны [29]. Это сопровождается появлением спонтанной электрической активности мембраны мышечных волокон [24]. На 2-3-й день после денервации выявляется патология внутриклеточных органелл: ядра изменяют свою несколько вытянутую в нормальном состоянии форму на округлую, это приводит к уменьшению диаметра мышечных волокон, в свою очередь это проявляется функциональными изменениями, прежде всего уменьшением мембранного потенциала покоя [26]. Денервационные изменения мышечных волокон возникают при длительном их лишении нервного контроля. Они возникают обычно в результате травмы, когда утрачены все источники иннервации мышцы [10]. В этом случае срабатывает существующая в нервно-мышечном аппарате система аварийной защиты – компенсаторная иннервация мышечных волокон сохранившимися нервными элементами [8]. Компенсаторная иннервация предотвращает гибель клеточных элементов, лишенных нервного контроля [8]. По мере нормализации функции поврежденных аксонов происходит восстановление исходной иннервации – реиннервация, являющаяся необходимым условием более или менее полного функционального и морфологического благополучия ранее денервированных структур [8]. При нарушении функции части аксонов иннервирующих мышц восстановление утраченной функции осуществляется за счет сохранившихся нервных волокон, причем последние начинают интенсивно ветвиться, давая многочисленные волокна, направляющиеся к денервированным мышечным волокнам [25]. Это ветвление, свойственное не только двигательным аксонам, но и всем нервным клеткам, получило в литературе название «спрутинг» от английского «sprout» – пускать ростки, ветвиться [7].

Следует указать, что денервация – основная, но не единственная причина изменения электрогенеза мышечных волокон или их изолирующих свойств. Спонтанная активность мышечных волокон может возникать при некоторых формах нарушений обмена (главным образом Са), а также при увеличении возбудимости мембраны мышечных волокон, например, при миотонии [6].

Данные изменения отражаются при проведении ЭМГ-исследования. Увеличение количества мышечных волокон, иннервируемых каждым мотонейроном, и распространение зоны его иннервации, вследствие терминального и коллатерального спрутинга, приводит к увеличению длительности и амплитуды потенциалов двигательных единиц, так и средней их длительности. Данный ЭМГ-признак стал критерием диагностики нервного процесса в мышцах [15].

Еще одним звеном в системе передачи нерв-мышца является передача сигнала по нервно-мышечному синапсу. Механизмы передачи возбуждения с нерва на мышцу достаточно хорошо изучены – как правило ветвления аксона образуют контакты с мышечным волок-

ном (в здоровой мышце – каждое мышечное волокно имеет один нервно-мышечный контакт) [13]. В условиях патологии число мышечных волокон, имеющих несколько источников иннервации, может значительно увеличиваться, что так же отражается при проведении ЭМГ-исследования [13].

Последним звеном в системе «мотонейрон – мышечное волокно» является мышца.

При длительной денервации и невозможности спрутинга – вследствие высокой перерезки крупных нервов, наступает развитие миодистрофии, которая при ЭМГ-исследовании проявляется в виде отсутствия ответа на импульс [1]. Таким образом ЭМГ-исследование позволяет определить пригодность культы к протезированию бионическим протезом. Выявить уровни и места крепления накожных датчиков, настроить их конфигурацию и внести в программу определенные коррективы, позволяющие пациенту использовать бионический протез или же прибегнуть к другому методу протезирования, проведение первичной подготовки культы к протезированию с помощью бионического протеза [16].

Заключение

По данным тестирования пациентов, получивших лечение ампутацией конечности, проведенным Рязанским государственным медицинским университетом имени академика И.П. Павлова, своевременная и правильно выполненная ампутация конечности приводит к существенному улучшению качества жизни [14], но возникает острая проблема в правильности и преемственности этапов реабилитации данной группы пациентов.

Как было отмечено выше, потребность в протезировании культей конечностей составляет 17,9% (170063 человека), но изготавливается 46800 протезов, что составляет менее 30% от общего числа нуждающихся в протезировании пациентов, включая первичное протезирование [14]. Данный показатель характеризует низкую обеспеченность нуждающихся в протезах конечности, особенно это касается лиц трудоспособного возраста, которые при оптимальном уровне реабилитации могли быть вернуться на свои рабочие места [11]. В частности, при бионическом протезировании конечности пациент полностью восполняет функционал утраченной конечности. Отсутствует или слабо организована система мониторинга подобных пациентов, что негативно сказывается на реабилитации после оперативного лечения [35].

В дальнейшем необходимо создание условий для сокращения времени между этапами реабилитации и условия преемственности во всех звеньях реабилитации. Одним из главных факторов решения проблемы является разработка отечественного бионического протеза и внедрение его в производство, что позволит покрыть имеющийся дефицит протезов у населения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Прозрачность исследования. Исследование не имело спонсорской поддержки. Исследователи несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и иных взаимодействиях. Все авторы принимали участие в разработке концепции и дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

Работа поступила в редакцию: 11.05.2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Т.М. Травматизм в Российской Федерации на основе данных статистики // Социальные аспекты здоровья населения. 2010. №4. С.2.
2. Бернев В.П. Исследование скорости проведения нерва

и лабильности нервно-мышечного аппарата в диагностике повреждений срединного и локтевого нервов. М., 1973. С.337-339.

3. Бернев В.П. Классическая электродиагностика и опре-

деление кривой «интенсивность – длительность» при повреждении нервов: методические рекомендации. М., 1974. 21 с.

4. Биктимирова Ф.М. Структура инвалидности, связанной с ампутацией конечности // Казанский медицинский журнал. 2011. Т. 92. №2. С.281-284.

5. Бунчук Н.В., Никитин С.С. Диагностика ревматической полимиалгии // Клиническая медицина. 1986. №5. С.80-86.

6. Волков Е.М., Поletaev Г.И. Влияние денервации и возможные механизмы нейротрофического контроля хемочувствительных и электрогенной мембран скелетных мышечных волокон // Успехи физиологических наук. 1982. Т. 13. №3.С.9-30.

7. Гехт Б.М., Гундаров В.П., Гладышев С.С. Перспектива использования различных методов автоматического анализа суммарной ЭМГ // Применение методических методов обработки медико-биологических данных. М., 1984. С.45-50.

8. Гехт Б.М., Ильина Н.А. Нервно-мышечные болезни. М., 1982. 352 с.

9. Гехт Б.М., Касатина Л.Ф. Элетромиографический анализ стадий денервационно-реиннервационного процесса. М., 1983. С.27-31.

10. Гехт Б.М., Коломенская Е.А., Строков И.А. Электромиографические характеристики нервно-мышечного передачи у человека. М., 1974. 174 с.

11. Гидиков А.А. Теоретические основ электромиографии. М., 1975. 180 с.

12. Голухов Г.Н., Редько И.А. Травматизм взрослого населения // Здравоохранение Российской Федерации. 2007. №5. С.49-51.

13. Гордиевская Е.О., Овчинников Б.В. Индивидуально-психологические особенности инвалидов с ампутациями конечностей как значимый фактор их реабилитации // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. Вып. 2. С.339-343.

14. ГОСТ Р 56138-2014. Протезы верхних конечностей. Технические требования.

15. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Скелетная мышца: структура и функция. 1985. 143 с.

16. Дувидович Б.Д., Сергеев С.В., Пузин С.Н. и др. Первичное протезирование как медико-техническая реабилитация инвалидов с ампутационными культями конечностей // Вестник травматологии и ортопедии. 2014. №4. С.49-54.

17. Дьячкова Л.Н., Давыдова Т.В., Якобсон Н.К. Роль митохондрий в образовании синаптических пузырьков. М., 1962. 147 с.

18. Звездина Н.В. Статистический анализ смертности в России // Экономика, статистика, информатика. 2017. №2. С.125-130.

19. Здравоохранение в России 2017: Статистический сборник. М., 2017. 170 с.

20. Зефирова Г.С., Мирзоянц Г.Г., Молашенко Н.П., Строков И.А. Гипотиреодная миопатия. 1978. С.126-130.

21. Казаров Д., Шапков Ю.Т. Двигательная единица скелетных мышц человека. М., 1983. 251 с.

22. Клиническая электромиография / Под ред. С.Т. Байкушева. М., 1987. 122 с.

23. Корж Н.А., Кладченко Л.А., Малышкина С.В., Тимченко И.Б. Имплантационные материалы и остеогенез. Роль биологической фиксации и остеointegrации в реконструкции кости // Ортопедия, травматология и протезирование. 2003. №2. С.150-157.

24. Крыжановский Г.Н Поздняков О.М., Полгар А.А. Патология синоптического аппарата мышцы. 1974. 184 с.

25. Матюшин Д.П. Основы электрофизиологии. 1984. 103 с.

26. Перваков И.В., Семенцова К.Р. Детское протезирование: технология и культурологические аспекты // Культурологический журнал. 2018. №4 (34). С.4-8.

27. Никитин С.С. Электромиографические стадии денервационно-реиннервационного процесса при нервно-мышечных болезнях: необходимость ревизии // Нервно-мышечные болезни. 2015. №2. С.16-24. DOI: 10.17 650/2222-8721-2015-5-2-16-24

28. Персон Р.С. Электромиография в исследованиях человека. М., 1969. 231 с.

29. Персон Р.С. Спинальные механизмы управления мышечным сокращением. М., 1985. 184 с.

30. Петров В.Г., Замилацкий Ю.И., Буров Г.Н. и др. Технология изготовления протезов верхних конечностей. СПб.: Гиппократ, 2008.128 с.

31. Постановление правительства РФ от 07.04.2008 г. №240 «О порядке обеспечения инвалидов техническими средствами реабилитации и отдельных категорий граждан из числа ветеранов протезами (кроме зубных протезов), протезно-ортопедическими изделиями».

32. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 13.02.2018 г. №85н «Об утверждении Сроков пользования техническими средствами реабилитации, протезами и протезно-ортопедическими изделиями до их замены».

33. Росков Р.В., Андреевская А.О., Смирнов А.В. Ортезирование при травмах конечностей и их последствиях: учебно-практическое пособие. СПб. – Тюмень, 2006. Кн. 1. С.6-7. 2007. Кн. 2. С.26.

34. Самойлов М.И. Выявление субклинических форм нервно-мышечной передачи при различных формах поражений периферического нейромоторного аппарата у человека // Актуальные вопросы заболевания и выздоровления. 1983. С.135-140.

35. Токарев А.Е., Козюков В.Г. Первичные восстановительные операции при открытых повреждениях кисти и пальцев, направленные на восстановление функции захвата // Пермский медицинский журнал. 2013. Т. XXX. №3. С.41-45.

36. Цема Е.В., Динец А.В. Изучение поражающих факторов современной войны, приводящих к потере конечности // Новости хирургии. 2018. Т. 26. №3. С.321-330.

37. Элланский Ю.Г. Вопросы реабилитации инвалидов в свете основных положений концепции социальной независимости // Медико-социальная реабилитация. 2007. №1. С.24-28.

38. Jandial R, Hoshide R. Bionicbrain: controlling a prosthetic hand // World Neurosurgery. 2017. №105. P.980-982.

39. The Bone and Joint Decade 2000-2010 for prevention and treatment of musculo-skeletal disorders // Acta Orthop. Scand. 1998. Vol. 69. Suppl. 281. P.1-80.

REFERENCES

1. Andreeva T.M. Injury in the Russian Federation based on statistics // Social aspects of the population health. 2010. №4. P.2. (in Russian)

2. Berenev V.P. Investigation of the speed of nerve conduction and lability of the uneven-muscular apparatus in the diagnosis of damage to the median and ulnar nerves. Moscow, 1973. P.337-339. (in Russian)

3. Berenev V.P. Classical electrodiagnostics and the definition of the curve “intensity - duration” for nerve damage: guidelines. Moscow, 1974. 21 p. (in Russian)

4. Biktimirova F.M. The structure of disability associated with limb amputation // Kazan Medical Journal. 2011.V. 92. No. 2. P. 281-284. (in Russian)

5. Bunchuk N.V., Nikitin S.S. Diagnosis of rheumatic polymyalgia // Clinical Medicine. 1986. P.80-86. (in Russian)

6. Volkov E.M., Poletaev G.I. The effect of denervation and possible mechanisms of neurotrophic control of chemosensitive and electrogenic membranes of skeletal muscle fibers // UspekhiF

iziologicheskikhNauk. 1982. Vol. 13. №2. P.9-30. (in Russian)

7. Gekht B.M., Gundarov V.P., Gladyshev S.S. The prospect of using various methods of automatic analysis of total EMG // Application of Methodological Methods for Processing Biomedical Data. 1984. №5. P.45-50. (in Russian)

8. Gekt B.M., Ilyina N.A. Neuromuscular disease. Moscow, 1982. 352 p. (in Russian)

9. Gekt B.M., Kasatina L.F. Electromyographic analysis of the stages of the denervation-reinnervation process. Moscow, 1983, P.27-31. (in Russian)

10. Gekht B.M., Kolomenskaya E.A., Strokov I.A. Electromyographic characteristics of neuromuscular transmission in humans. Moscow, 1974. 174 p. (in Russian)

11. Gidikov A.A. The theoretical foundations of electromyography. Moscow, 1975.180 p. (in Russian)

12. Golukhov G.N., Redko I.A. Injury to the adult population // Health of the Russian Federation. 2007. №5. P.49-51. (in Russian)

13. Gordievskaya E.O., Ovchinnikov B.V. Individual psychological characteristics of people with disabilities with amputations of limbs as a significant factor in their rehabilitation // Bulletin of St. Petersburg University. 2016. Iss. 2.P. 339-343. (in Russian)
14. GOST R 56138-2014. Prostheses of the upper limbs. Technical requirements. (in Russian)
15. Gurfinkel V.S., LevikYu.S. Skeletal muscle: structure and function. Moscow, 1985.143 p. (in Russian)
16. Duvidovich B.D., Sergeev S.V., Puzin S.N., Spivak B.G., Panteleev M.I. Primary prosthetics as a medical and technical rehabilitation of disabled people with amputation stumps of limbs // Bulletin of Traumatology and Orthopedics. 2014. №4. P.49-54. (in Russian)
17. Dyachkova L.N., Davydova T.V., Yakobson N.K. The role of mitochondria in the formation of synaptic vesicles. Moscow, 1962.147 p. (in Russian)
18. Zvezdina N.V. Statistical analysis of mortality in Russia // Economics, Statistics, Informatics. 2017. №2. P.125-130. (in Russian)
19. Health in Russia 2017: Statistical Digest. Moscow, 2017.170 p. (in Russian)
20. Zefirova G.S., Mirzoyants G.G., Molashenko N.P., Stokov I.A. Hypothyroid myopathy. Moscow, 1978. P.126-130. (in Russian)
21. Kazarov D., ShapkovYu.T. The motor unit of human skeletal muscles. Moscow, 1983. 251 p. (in Russian)
22. Clinical electromyography / ed. S.T. Baykusheva. Moscow, 1987.122 p. (in Russian)
23. Korzh N.A., Kladchenko L.A., Malyshkina S.V., Timchenko I.B. Implant materials and osteogenesis. The role of biological fixation and osseointegration in bone reconstruction // Ortopediya, travmatologiyaiaprotezirovaniye. 2003. No 2. P.150-157. (in Russian)
24. Kryzhanovsky G.N. Pozdnyakov O.M., Polgar A.A. Pathology of the synaptic apparatus of the muscle. Moscow, 1974. 184 p. (in Russian)
25. Matyushin D.P. Fundamentals of electrophysiology. Moscow, 1984. 103 p. (in Russian)
26. Pervakov I.V., Sementsova K.R. Children's prosthetics: technology and cultural aspects // Cultural Journal. 2018. №4 (34). P.4-8. (in Russian)
27. Nikitin S.S. Electromyographic stages of the denervation-reinnervation process in neuromuscular diseases: the need for revision // Nervno-myshechnyyebolezni. 2015. №2. P.16-24. DOI: 10.17650/2222-8721-2015-5-2-16-24. (in Russian)
28. Person R.S. Electromyography in human studies. Moscow, 1969. 231 p. (in Russian)
29. Person R.S. Spinal mechanisms for controlling muscle contraction. Moscow, 1985. 184 p. (in Russian)
30. Petrov V.G., Zamilaczky Yu.I., Burov G.N., et al. Technology of making of prosthetic appliances of overhead extremities. SPb.: Gipokrat, 2008. 128 p. (in Russian)
31. Decree of the Government of the Russian Federation of 7.04.2008 №240 "On the procedure for providing disabled people with technical rehabilitation equipment and certain categories of citizens from among veterans with prostheses (except dentures), orthopedic and orthopedic products". (in Russian)
32. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of February 13, 2018 №85н "On approval of the Terms for the use of technical rehabilitation equipment, prostheses and prosthetic and orthopedic products until they are replaced". (in Russian)
33. Roskov R.V., Andreevskaya A.O., Smirnov A.V. Orthotics for injuries of the extremities and their consequences: a training manual. 2006. Book 1. P.6-7. 2007. Book 2. P.26. (in Russian)
34. Samoilov M.I. Identification of subclinical forms of neuromuscular transmission in various forms of lesions of the peripheral neuromotor apparatus in humans // Actual Problems of the Disease and Recovery. 1983. P.135-140. (in Russian)
35. Tokarev A.E., Kozyukov V.G. Primary reconstructive operations for open injuries of the hand and fingers, aimed at restoring the capture function // Perm Medical Journal. 2013. Vol. XXX. №3. P.41-45. (in Russian)
36. Tsema E.V., Dinets A.V. The study of the damaging factors of modern warfare, leading to loss of limb // Surgery News. 2018. Vol. 26. №3. P.321-330. (in Russian)
37. Ellanskiy Yu.G. Issues of rehabilitation of persons with disabilities in the light of the main provisions of the concept of social independence // Medical and Social Rehabilitation. 2007. №1. P.24-28. (in Russian)
38. Jandial R., Hoshide R. Bionicbrain: controlling a prosthetic hand // World Neurosurgery. 2017. №105. P.980-982.
39. The Bone and Joint Decade 2000-2010 for prevention and treatment of musculo-skeletal disorders // Acta Orthop. Scand. 1998. Vol. 69. Suppl. 281. P.1-80.

Информация об авторах:

Коробенков Никита Олегович – ординатор ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: kno2008@mail.ru; Кочетов Степан Сергеевич – ординатор ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университета» Минздрава России, e-mail: kagiss@yandex.ru; Григоров Павел Александрович – студент института «Авиа-Машиностроения и технологий» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Information About the Authors:

Korobonkov Nikita O. – resident physician of Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: kno2008@mail.ru; Kochetov Stepan S. – resident physician of the Irkutsk State Medical University, e-mail: kagiss@yandex.ru; Grigorov Pavel A. – Student of the Institute of Aircraft and Machine Construction of the Irkutsk National Research Technical University.