



Эффективность функциональной стимуляции при рассеянном склерозе (обзор литературы)

^{1,2}Гурьянова Е. А., ³Кирьянова В.В.

¹Институт усовершенствования врачей Минздрава Чувашской Республики, Чебоксары, Россия

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

³Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Резюме

Введение. Восстановление двигательных функций у пациентов с рассеянным склерозом является приоритетной задачей медицинской реабилитации – замедлить прогрессирование дисфункции опорно-двигательного аппарата и улучшить качество жизни пациента. Несмотря на применение препаратов, изменяющих течение рассеянного склероза, у больных со значительными неврологическими нарушениями прогрессируют нарушения движения. Снижение физической активности приводит к повышению массы тела, трофическим и другим расстройствам, отягощающим течение основного недуга и затрудняющим процесс медицинской реабилитации. Инновационным средством улучшения мобильности больных с рассеянным склерозом (РС) могут служить компактные устройства функциональной электростимуляции (ФЭС) для повседневной ходьбы.

Цель. Предоставление достоверных сведений о достижениях и перспективах использования устройств ФЭС в клинической практике пациентами с парезами нижних конечностей. В статье обсуждаются общие характеристики современных устройств функциональной стимуляции, приводится сравнение наиболее известных аппаратов. Представлены результаты мета-анализов и отдельных клинических исследований об эффективности и безопасности использования устройств функциональной электростимуляции в реабилитации пациентов с рассеянным склерозом. Рассматривается влияние функциональной электростимуляции на параметры ходьбы, функциональную подвижность голеностопного сустава и качество жизни.

Выводы. Реабилитация пациентов с использованием нейро-ортезов ФЭС приводит к нормализации паттерна походки, повышает устойчивость при ходьбе, уменьшает количество падений и потребность в дополнительных средствах опоры. Среди преимуществ, отмеченных в связи с использованием ФЭС, отмечается значительное увеличение мобильности и независимости пациентов, что напрямую влияет на улучшение их качества жизни. ФЭС положительно влияет на уровень физической активности и на мышечную силу, кардио-респираторные параметры, а также на уменьшение степени выраженности парезов. Терапия ФЭС в движении является прекрасным реабилитационным инструментом, обладающим доказанной терапевтической эффективностью при применении во время реабилитации пациентов с рассеянным склерозом.

Ключевые слова: рассеянный склероз, функциональная электростимуляция, ФЭС, нарушение походки, свисающая стопа, восстановление опорно-двигательного аппарата

Для цитирования: Гурьянова Е.А., Кирьянова В.В. Эффективность функциональной стимуляции при рассеянном склерозе (обзор литературы). Вестник восстановительной медицины. 2020; 5 (99): 107-119. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-99-5-107-119>

Для корреспонденции: Гурьянова Евгения Аркадьевна, e-mail: z-guryanova@bk.ru

Статья получена: 04.08.2020 **Статья принята к печати:** 18.08.2020 **Опубликована онлайн:** 30.10.2020

The Effectiveness of Functional Stimulation in Multiple Sclerosis (Literature Review)

^{1,2}Guryanova E.A., ³Kiryanova V.V.

¹Postgraduate Doctors Training Institute of Health Ministry of Chuvashia, Cheboksary, Russian Federation

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russian Federation

³North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract

Introduction. The restoration of motor functions in patients with multiple sclerosis is a priority task of medical rehabilitation in order to slow the progression of the orthopedic defect and patients' quality of life improvement. Despite the usage of disease modifying drugs, patients suffering from significant neurological disorders gain orthopedic complications. A decrease in physical activity leads to increased body weight, trophic and other disorders, aggravating the course of the main illness and complicating the process of medical rehabilitation. Mobile functional electrical stimulation devices (FES) could become an innovative mean for the improvement of MS patient's mobility and gait in everyday life.

Aim. To provide evidence-based data from clinical studies on the potential of FES devices usage in clinical practice by patients with paresis of the lower extremities. The article deals with general characteristics of modern devices of functional electrostimulation,

compares the most popular devices. The results of meta-analyses and clinical studies on the effectiveness and safety of FES devices for the rehabilitation of patients with multiple sclerosis are presented. The influence of functional electrical stimulation on gait parameters, ankle joint functional mobility and quality of life are considered.

Conclusion. When patients with MS undergo rehabilitation using neuro-orthoses with FES, the pattern of gait is normalized, stability of walking is increased, the number of falls and the need for additional support are reduced. Among the main advantages of FES a significant increase in the mobility and independence of patients, which directly affects the quality of life is noted. FES has a positive effect on the level of physical activity and on muscle strength, cardio-respiratory parameters, as well as on a decrease in the severity of paresis. FES therapy in motion is an excellent rehabilitation tool with proved therapeutic efficacy when used in the rehabilitation of MS patients.

Keywords: multiple sclerosis, functional electrical stimulation, FES, gait disorder, foot drop, motor function rehabilitation

For citation: Guryanova E.A., Kiryanova V.V. The Effectiveness of Functional Stimulation in Multiple Sclerosis (Literature Review). Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2020; 5 (99): 107-119. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-99-5-107-119>

For correspondence: Evgenya A. Guryanova, e-mail: z-guryanova@bk.ru

Received: Aug 04, 2020

Accepted: Aug 18, 2020

Published online: Oct 30, 2020

Введение

Рассеянный склероз – хроническое аутоиммунное заболевание, при котором поражается как миелиновая оболочка нервных волокон головного и спинного мозга, так и сами аксоны. Заболевание дебютирует, как правило, в молодом возрасте (поражает человека независимо от образования и социального статуса). Рассеянный склероз (РС) является распространенным воспалительно-дегенеративным прогрессирующим неврологическим заболеванием, приводящим к нарушениям двигательных функций, в том числе к затруднениям при ходьбе, которые встречаются более чем у 40% пациентов [1, 2].

Заболеваемость рассеянным склерозом варьируется и в среднем достигает 8–10 новых случаев на 100 000 человек. Ведущими симптомами являются слабость в мышцах, нарушение координации движения и походки, а также нарушения чувствительности. Одним из основных двигательных расстройств, приносящих немало проблем больным рассеянным склерозом, является повышение или в более редких случаях понижение мышечного тонуса (парез) в ногах, который в ряде случаев распространяется и на мышцы голеностопного сустава. Вследствие этого у данных пациентов повышается риск падения и получения травмы во время ходьбы по сравнению со здоровыми пациентами [3, 4, 5].

У пациентов с пирамидной недостаточностью при рассеянном склерозе часто наблюдается снижение скорости ходьбы, усиление спастичности и быстрая утомляемость. Важно подчеркнуть, что скорость походки обладает клинической значимостью, поскольку во многом определяет качество жизни пациента. На кинематику походки, пространственные и временные параметры шага влияет скорость ходьбы, и поэтому во многих исследованиях часто используется скорость ходьбы в качестве ковариата при статистическом анализе. Так, не выходящий из дома пациент с хроническим неврологическим заболеванием, как правило, имеет скорость ходьбы менее 0,4 м/с, а ходящий со скоростью в диапазоне от 0,4 до 0,8 м/с, имеет ограниченную способность передвижения по месту проживания. Скорость ходьбы для работающего больного составляет 0,8 м/с или выше [6].

Что касается асимметрии походки, то на нее влияет, прежде всего, степень спастичности мышц голеностопного сустава. В процессе ходьбы динамическая спастичность сгибателей подошвы (плантарная флексия) также способствует увеличению степени пространственной асимметрии походки, а спастичность голеностопного

сустава может быть предиктором падений [7, 8]. Рассеянный склероз оказывает большое влияние на длину и ширину шага, изменяет его частоту во время ходьбы, а также изменяет длительность фазы опоры и переноса конечности, тем самым снижая скорость ходьбы и ухудшая показатели в тестах на равновесие и на мобильность (up-and-go test) [9, 10]. Все эти дефициты активного мышечного сокращения, асимметричная кинематика походки и компенсаторные стратегии приводят к снижению производительности и эффективности походки, а также к увеличению риска падения [11, 12].

Немедикаментозная симптоматическая реабилитация с использованием функциональной электростимуляции (ФЭС) при рассеянном склерозе

Традиционные методы восстановительного лечения, зарекомендовавшие себя в реабилитации пациентов с острыми нарушениями мозгового кровообращения (ОНМК) и черепно-мозговыми травмами (ЧМТ), необходимо адаптировать под особенности РС, чтобы избежать «перегруженности» лечебного плана и не спровоцировать обострение. Условием успеха реабилитационных мероприятий является правильная дозировка нагрузки на опорно-двигательную систему пациента с РС. Важными компонентами реабилитации, в том числе и с использованием современных технологий, являются тренировка координации движения, сохранение правильного тонуса мышц и позитивного эмоционального фона [13, 14, 15, 16].

Согласно определению Медицинского консультативного совета (Medical Advisory Board, MAB) Национального общества рассеянного склероза (National Multiple Sclerosis Society), реабилитация при РС хотя и не влияет на течение заболевания, но является процессом, который помогает человеку достичь и поддерживать максимальную активность, качество жизни в соответствии с утратой функций, окружающей средой и жизненными целями и представляет собой необходимый компонент всесторонней качественной медицинской помощи этим пациентам на всех стадиях болезни [17].

В клинических рекомендациях по лечению пациентов с РС имеются общие положения о том, что пациентам с этим заболеванием необходимы реабилитационные мероприятия, однако существующая версия документа не содержит никаких конкретных рекомендаций. В стандарте оказания медицинской помощи пациентам с РС, действующем на территории Российской Федерации, реко-

мендовано использование оборудования, включающего в себя технологию биологической обратной связи [18].

В физиотерапии применяются различные стимуляционные методики, основанные на использовании силовых характеристик электрического тока [19]. Функциональная электростимуляция (ФЭС) – одна из перспективных разработок, являющаяся эффективным способом коррекции патологических двигательных паттернов. Суть метода состоит в создании предпосылок для формирования более физиологического рисунка ходьбы по сравнению с патологическим. Устойчивый терапевтический эффект от ФЭС закрепляется благодаря тому, что формирование нового паттерна движения происходит не только на уровне спинального локомоторного аппарата, но и на более высоких уровнях центральной нервной системы (ЦНС). Метод ФЭС, с одной стороны, направлен на восстановление нарушенной биомеханики ходьбы, а с другой стороны – нацелен на улучшение работы локомоторных центров на различных уровнях моторной активности. Перестройка нейродинамики происходит посредством стимуляции в момент двойного шагового цикла, когда мышцы должны включаться (но по причине болезни не включаются) естественным образом в выполнение двигательного акта.

Метод ФЭС был впервые использован для восстановления ходьбы в 1961 году W. Liberson, который запатентовал его в 1965 году как метод стимуляции малоберцового нерва во время ходьбы [20]. Впоследствии, в 1962 году, основываясь на исследовании W. Liberson, J.H. Мое и H.W. Post разработали коммерческое устройство для помощи в ходьбе пациентам со слабостью в передней малоберцовой мышце. В течение последующих 40 лет исследований ФЭС были разработаны принципы безопасности нервно-мышечной стимуляции, способствующей наращиванию силы в пораженных мышцах и увеличению диапазона активных движений в голеностопном суставе паретичной конечности [21].

В России одним из основоположников метода ФЭС при ходьбе является А.С. Витензон, который исследовал биомеханику ходьбы человека как единый целостный моторный акт, состоящий из движения мышц голени, стопы, бедра, таза, позвоночника, верхних конечностей, приводящий к перемещению общего центра масс тела человека в сагиттальной, фронтальной и горизонтальной плоскости [22]. При свисании стопы ФЭС может сочетать искусственное сокращение передней большеберцовой мышцы, дистальных порций полусухожильной мышцы и двуглавой мышцы бедра для сгибания в коленном суставе в фазу переноса ноги. Искусственная коррекция движения с ФЭС, срабатывая в фазы возбуждения и сокращения мышц, не изменяет программу мышечных сокращений в течении локомоторного цикла, а лишь усиливает элементы, которые оказались ослабленными.

Целью нашего обзора является исследование влияния ФЭС на биомеханику ходьбы, а также сравнение технологии ФЭС с традиционным ортезированием посредством голеностопного ортеза (ГСО), применяемым у пациентов с рассеянным склерозом. Обсуждается и анализируется влияние ФЭС на основные биомеханические и нейрофизиологические параметры такие как, скорость, дистанцию ходьбы, кинематику походки, расход энергии при ходьбе, влияние на качество жизни, активацию адаптивных реактивных нейропластических процессов мозга.

Обзор технологий функциональной электростимуляции (ФЭС) и основные принципы настройки

Нейро-ортез – это как правило неинвазивная одноканальная или многоканальная система электростиму-

ляции, состоящая из микрокомпьютера с программным обеспечением и двух чрескожных электродов. Для обнаружения наклона голени во время инициирования шага используются датчик наклона. Стимуляция применяется во время фазы переноса ноги к перонеальному нерву для сокращения передней большеберцовой мышцы [20].

Устройства ФЭС можно также разделить на две группы, в зависимости от уровня инвазивности: с имплантируемыми и накладываемыми электродами. Например, системы STIMuSTEP и ActiGait имплантируются, требуя интервенции нейрохирурга [24]. В неинвазивных системах электроды накладывают на кожу для чрескожной электростимуляции. Большинство современных систем нейро-ортезирования представляют собой «open-loop» системы, которые весьма популярны сейчас, благодаря их простому применению. К сожалению, в «open-loop» системах отсутствует обратная биологическая связь от мышцы и нерва, то есть проблема с возникающей мышечной усталостью не решена. Будущие аппараты «closed-loop» будут иметь возможность обратной связи от мышцы и нерва, благодаря применению технологии, использующей электромиографию и электронейрографию [25].

К настоящему времени существует достаточно много моделей медицинских устройств ФЭС, разработанных для пациентов с различными неврологическими заболеваниями. Эти приборы достаточно универсальны по принципу действия и подходят для всех нозологий с поражением ЦНС (РС, ОНМК, ДЦП, ЧМТ, спинальные травмы и т.д.). Однако процесс настройки входных параметров электростимуляции, независимо от модели устройства, для каждой патологии и для каждого клинического случая должен быть строго индивидуальным. Как правило, чувствительность и утомляемость больных с РС во время терапии выше, чем у других неврологических больных, и поэтому настройки и дозировка применения ФЭС для данной группы больных кардинально отличается от других патологий. Программа и интенсивность электростимуляции (синхронизация под фазу шага, амплитуда, ширина и частота импульса) для людей с РС должна быть максимально щадящая, но достаточная для получения коррекционного эффекта и обязательно комфортной для больного (адаптивной к скорости ходьбы, безболезненной, неустойчивой) [11].

К числу наиболее известных относятся устройства ФЭС с торговыми наименованиями WalkAide, MyGait, Odstock, Ness L300, STIMuSTEP, ActiGait и FESIA WALK. Все эти устройства являются медицинским оборудованием 2а класса риска (медицинские изделия со средней степенью риска) и обладают зарубежными разрешениями FDA (Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов, США) и CE (стандарт Европейского союза) для проведения нервно-мышечной электростимуляции при центральных и периферических парезах [23] (табл. 1).

Основной первоначальный этап работы – это индивидуальная настройка ФЭС. Вне зависимости от заболевания пациента настройка оборудования для ФЭС при локомоторных расстройствах сводится к следующим основным диагностическим и терапевтическим процедурам:

- Выбор корректируемых движений и стимулируемых мышц. Для начала необходимо определить, какое патологическое движение требует исправления, и какие мышцы для этого нужно задействовать. Чаще всего происходит привлечение к электростимуляции мышц-разгибателей конечностей, обеспечивающих основную локомоторную функцию.

Таблица 1. Сравнительный анализ различных систем ФЭС, использующихся в реабилитации рассеянного склероза
Table 1. Comparative analysis of various FES systems used in the rehabilitation of multiple sclerosis

Системы функциональной электростимуляции / Functional Electrical Stimulation Systems					
Портативные аппараты ФЭС / Portable devices FES	Датчики / Sensors	Вид электродов / Type of Electrodes	Кол-во каналов / Number of channels	Результат воздействия / Impact result	Мышца / Muscle Нерв / Nerve
MyGait Германия	FSRs *	Чрескожный/ cutaneous	2	Дорсифлексия / dorsiflexion	Перонеальный нерв / peroneal nerve
Odstock Великобритания	FSRs	Чрескожный / cutaneous	1	Дорсифлексия / dorsiflexion	Различные / various
Ness L300 США	FSRs	Чрескожный / cutaneous	2	Дорсифлексия / dorsiflexion	Передняя большеберцовая мышца и перонеальный нерв / tibial anterior muscle and peroneal nerve
STIMuSTEP Великобритания	FSRs	Имплантируемый / implantable	2	Дорсифлексия/ dorsiflexion	Перонеальный нерв peroneal nerve
ActiGait Германия	FSRs	Имплантируемый/ implantable	4	Дорсифлексия и эверсия/ dorsiflexion and eversion	Большеберцовая и малоберцовая мышцы / tibial muscles
FESIA WALK Испания	IMUs **	Чрескожный cutaneous	Multi-pad	Дорсифлексия и плантарфлексия / dorsiflexion and plantarflexion	Передняя большеберцовая мышца и перонеальный нерв / tibial anterior muscle and peroneal nerve
WalkAide США	Датчик угла наклона -акселерометр / Tilt sensor	Чрескожный cutaneous	1	Дорсифлексия dorsiflexion	Передняя большеберцовая мышца и перонеальный нерв tibial anterior muscle and peroneal nerve

Примечание: Резистивный датчик давления под пяткой: * – FSRs; Инерционный датчик движения: ** – IMUs
Note: Pressure sensor under the heel: * – FSRs; Inertial motion sensor: ** – IMUs

- Выбор параметров стимуляции. Определить последовательность прямоугольных электрических импульсов с требуемой частотой следования (Гц), длительностью импульса (мкс), амплитудой (В) или силой тока (мА).
- Выбор электродов и режим упражнения. Выбор типа и локализации накожных электродов на теле человека. Размещение электродов на голени пациента, тестирование иннервации и реакции мышц на стимуляцию. После получения корректного мышечного ответа запуск режима тестирования и упражнения в покое.
- Построение первичной программы стимуляции в ходьбе. Построение врачом программы электростимуляции мышц в соответствие с фазой шага (на основании реакции мышц или исследования электромиографического профиля мышц). Программа позволяет проводить электростимуляцию в точном соответствии с основными фазами естественного возбуждения и сокращения мышц в течение цикла ходьбы.
- Дополнительная «тонкая» синхронизация с ходьбой. Поиск наиболее рационального и эффективного режима электростимуляции при ходьбе. Запуск программы стимуляции в режиме ходьбы и корректировка параметров, получаемых по обратной связи от нейро-ортеза. Врач также принимает во внимание субъективную информацию по

визуальному наблюдению за ходьбой и мнению пациента.

- Разработка тренировочного плана. В соответствии с заболеванием, переносимостью стимуляции пациентом, его физическим состоянием и другими факторами, врач строит график использования нейро-ортеза в режиме ходьбы и режиме упражнений в покое. Как правило интенсивность нагрузок возрастает со временем после того, как пациент адаптировался к тренировкам [28].

В обзоре J. Gil-Castillo и соавторов [24] рассмотрены технологические достижения и клинические результаты, полученные при использовании нейро-ортезирования для лечения свисающей стопы не только вследствие РС, но и вследствие других неврологических заболеваний: ОНМК, травмы спинного мозга, церебрального паралича и черепно-мозговых травм. Отмечается прогресс в технологии ФЭС, достигнутый в этой области за последние два десятилетия, а именно то, что системы стали более функциональными, портативными и мобильными. Рассматриваются основные вопросы: состояние технологий нейро-ортезирования с точки зрения архитектуры, чувствительности к электростимуляции, алгоритмов управления, последние свидетельства о функциональной и клинической эффективности ФЭС [24]. Результаты показывают актуальность ФЭС-систем, способных к самонастройке, а также необходимость в системах с обратной связью для оказания эффективной помощи в каждом индивидуальном клини-

Таблица 2. Показания к использованию функциональной электростимуляции
Table 2. Indications for the use of functional electrical stimulation

Применение ФЭС эффективно при поражении верхнего мотонейрона / The use of FES is effective for the upper motor neuron diseases	Применение ФЭС малоэффективно при поражении периферического мотонейрона / The use of FES is ineffective for peripheral motor neuron diseases
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Инсульт / Stroke ▪ Поперечный миелит / Transverse myelitis ▪ Рассеянный склероз / Multiple sclerosis ▪ Травматическое повреждение головного мозга / Traumatic brain damage ▪ Послеоперационное повреждение головного мозга / Postoperative brain damage ▪ Церебральный паралич / Cerebral Palsy ▪ Неполное повреждение спинного мозга (Т-12 и выше) / Incomplete spinal cord injury (T-12 and above) ▪ Наследственная (семейная) парапарезия / Hereditary Spastic Paraplegia ▪ Наследственный спастический парапарез / Hereditary spastic paraparesis ▪ Токсическая энцефалопатия / Toxic encephalopathy ▪ Болезнь Паркинсона / Parkinson's disease ▪ Атаксия / Ataxia 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Травма межпозвоночного диска или операция на поясничном отделе / нижней части позвоночника / Trauma of the intervertebral disc or surgery on the lumbar / lower spine ▪ Свисающая стопа в следствии полной замены коленного сустава или эндопротезирования тазобедренного сустава / Foot drop due to a complete replacement of the knee joint or hip arthroplasty ▪ Ишиас / Sciatica ▪ Спинальный стеноз на уровне нижнего отдела позвоночника и поясницы / Spinal stenosis at the level of the lower spine ▪ Полиомиелит / Polio ▪ Синдром Гийена-Барре / Guillain-Barre Syndrome ▪ Мышечная травма или заболевание / Muscle injury or disease ▪ Амиотрофия Шарко-Мари-Тута / Charcot-Marie-Tooth disease ▪ Невропатия / диабетическая невропатия / Neuropathy / diabetic neuropathy ▪ Болезнь Шарко / Лу Герига / боковой амиотрофический склероз (БАС) / Charcot's disease / Lou Gehrig's disease / Amyotrophic lateral sclerosis (ALS)

ческом случае. Комбинирование импульсов переменной и постоянной частоты также может играть важную роль в снижении утомляемости и достижении лучших терапевтических результатов. Периодическое и краткосрочное использование ФЭС устройств может быть потенциально эффективной стратегией улучшения биомеханических и нейрофизиологических параметров ходьбы человека с нарушением походки в следствии РС [24].

Показания к применению функциональной электростимуляции (ФЭС)

Если опираться на мировые стандарты, то показанием к применению функциональной электростимуляции может быть центральный парез нижних конечностей вследствие инсульта, рассеянного склероза, черепно-мозговой травмы, послеоперационного повреждения головного мозга, церебрального паралича, неполного повреждения спинного мозга (t-12 и выше), наследственной (семейная) парапарезии, наследственного спастического парапареза, токсической энцефалопатии, болезни Паркинсона, атаксии и дистонии [22] (табл. 2).

При решении вопроса о целесообразности использования ФЭС у пациента с РС следует оценивать риск возможных побочных эффектов или осложнений. Как правило, общими противопоказаниями к использованию ФЭС служит наличие имплантированного кардиостимулятора или дефибриллятора, наличие эпилептических припадков, злокачественная опухоль в пораженной голени, тромбоз глубоких вен, наличие у пациента выраженных когнитивных расстройств, психического заболевания, беременность, алкоголизм [17]. Ограничения использования ФЭС у пациентов с рассеянным склерозом, определяются, в первую очередь, соображениями безопасности. Перед тем, как использовать любой аппарат ФЭС в медицинской реабилитации, пациент должен дать информированное согласие.

Важным фактором при принятии решения об использовании функциональной электростимуляции является

объективная оценка клиницистом преимуществ ФЭС над применением традиционного ортезирования голеностопного сустава (ГСО) и ее позитивного влияния на биомеханику и физиологию ходьбы пациентов с РС. Более подробный сравнительный анализ будет раскрыт в последующем разделе.

Аппараты ФЭС обладают существенными преимуществами над традиционными ортезами при лечении парезов, зачастую дополняют функции ортеза или полностью его заменяют. Сочетанное использование ортеза ГСО и аппарата ФЭС может оказаться эффективным направлением для коррекции движения в конечностях. Учитывая то, что ортезы в настоящее время являются стандартом в реабилитации, успех комбинации традиционных технических средств и современной технологии ФЭС очень обнадеживает (табл. 3).

Сравнительный анализ эффективности различных систем ФЭС с голеностопным ортезом (ГСО)

Голеностопный ортез (ГСО) по-прежнему является стандартом лечения свисающей стопы при рассеянном склерозе и не будет заменен на другие стандарты в ближайшем будущем. Но все же начинают появляться свидетельства того, что ФЭС является более эффективным инструментом лечения свисающей стопы обладая рядом преимуществ перед пассивным ортезом [26].

Так, в многоцентровом рандомизированном исследовании клинической и экономической эффективности функциональной электростимуляции (ФЭС) и ортезов на голеностопный сустав (ГСО) на протяжении 12 месяцев у людей со свисающей стопой при рассеянном склерозе регистрировалось изменение скорости походки, измеренное с помощью 5-минутного теста ходьбы. Двумя дополнительными вторичными результатами являлись затраты кислорода на ходьбу и тест затрачиваемого времени на ходьбу на расстояние 25 футов. Затраты кислорода при ходьбе измерялись во время 5-минутного теста произвольной ходьбы. Аппарат ФЭС для свисающей

Таблица 3. Сравнение влияния голеностопного ортеза (ГСО) и устройства функциональной стимуляции (ФЭС) на параметры ходьбы

Table 3. Comparison of the effect of the ankle orthosis (AFO) and functional stimulation device (FES) on gait parameters

Характеристики ходьбы / Gait characteristics	Голеностопный ортез (ГСО) / Ankle orthosis (AFO)	Нейро-ортез с (ФЭС) / Neuro-orthosis with (FES)
Улучшает стабильность походки и симметрию / Improves gait stability and symmetry	+	+
Улучшает мобильность передвижения и локомоцию / Improves mobility and locomotion	+	+
Улучшает силу и выносливость мышц / Improves muscle strength and endurance	-	+
Уменьшает или задерживает мышечную атрофию / Reduces or delays muscle atrophy	-	+
Улучшает кровообращение в конечности / Improves blood circulation in the limbs	-	+
Уменьшает мышечную спастичность / Reduces muscle spasticity	-	+
Увеличивает диапазон движения в голеностопном суставе / Increases range of motion in the ankle joint	-	+
Увеличивает плотность костной ткани / Increases bone density	-	+
Переобучает двигательную функцию и вырабатывает новый стереотип ходьбы / Retrains motor function and creates a new stereotype of walking	-	+
Воздействует и восстанавливает всю нервно-мышечную систему / Affects and restores the entire neuromuscular system	-	+
Воздействует на нейропластичность и на проприоцепцию / Affects neuroplasticity and proprioception	-	+

ГУРЬЯНОВА Е. А. И ДР. | ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

стопы Odstock (OML, Salisbury) использовал проводные пяточные датчики под стопой с частотой стимуляции 40 Гц [39]. Расположение электрода, ширина импульса, форма волны и параметры нарастания и затухания стимуляции были скорректированы индивидуально для каждого участника с целью достижения комфортного и эффективного сокращения мышц. Амплитуда тока колебалась от 7 до 72 мА (среднее = 40 мА) [39].

Доказано, что во время теста ходьбы на расстояние 25 футов группа с ФЭС шла достоверно быстрее по сравнению с группой, использующей ГСО ($p = 0,043$). В обеих группах наблюдалось значительное изменение затрат кислорода при ходьбе по истечении 12 месяцев ($p = 0,002$), однако различий между самими группами не было. Наблюдалось значительное улучшение физической силы по шкале воздействия на рассеянный склероз ($p = 0,040$) и по шкале ходьбы при рассеянном склерозе ($p = 0,002$), и это было наиболее заметно через 3 месяца в обеих группах ($p=0.045$; $p<0.001$) [39]. Не было различий между группами по результатам, о которых отчитываются сами пациенты (Patient Reported Outcome Measures), за исключением шкалы психологического воздействия вспомогательных устройств (Psychological Impact of Assistive Devices Scale), где группа с ФЭС продемонстрировала значительно более высокие показатели по компетентности ($p = 0,016$), адаптивности ($p = 0,001$) и самооценки ($p = 0,006$) в течении 12 месяцев. Не было обнаружено никаких существенных различий между вспомогательными

устройствами в отношении их влияния на затраты кислорода при ходьбе [39].

Данные Michelle H. Cameron [40] согласуются с вышеизложенными. Активное сокращение, создаваемое ФЭС, может помочь предупредить атрофию мышц и увеличить диапазон движений в голеностопном суставе, чего невозможно добиться при пассивной поддержке голеностопным ортезом. Помимо этого, активные мышечные сокращения и движение сустава стимулируют мышечные веретена, тельца Гольджи и проприорецепторы суставов, что приводит к увеличению нервной чувствительности и сигнализации в ЦНС. Авторы полагают, что входные сенсорные сигналы улучшают моторные (двигательные) выходные сигналы, включая качество и контроль над движениями, степень активности рефлексов и баланс мышечного тонуса. Повторяющееся активное движение, вызываемое ФЭС при ходьбе, способствует моторному обучению и стимулирует нейропластические изменения в ЦНС [40].

Одним из важных исследований, в котором проводится сравнение различных ФЭС устройств, является исследование L. Miller и соавторов [41], в котором проводилась сравнительная оценка влияния двух разных устройств ФЭС на скорость ходьбы, энергозатраты при ходьбе и другие ортопедические эффекты от работы двух устройств: стимулятора Odstock Dropped Foot (ODF) и Walkaide (WA). В исследовании приняли участие 20 пациентов с рассеянным склерозом (10 женщин и 10 мужчин,

средний возраст 50.4 ± 7.3 лет). Участники испытаний ходили в течение 5 минут по 9,5 метровой эллиптической окружности в темпе, который они предпочитали сами: сначала со стимулятором ODF, потом с WA, а после без какого-либо устройства ФЭС. Все исследования проводились в течение одного дня. Во время исследования измерялось скорость походки, пройденное расстояние и энергозатраты на ходьбу. Было отмечено статистически значимое увеличение скорости ходьбы как при применении ODF ($p = 0.043$), так и при применении WA ($p = 0.06$) по сравнению с ходьбой без аппарата. При использовании обоих устройств не отмечалось статистически значимой разницы в скорости ходьбы ($p = 0.596$) и энергозатратах ($p = 0.205$). Результаты данного исследования подтверждают тот факт, что функциональная электрическая стимуляция для свисающей стопы при рассеянном склерозе является эффективным средством улучшения качества и скорости ходьбы. Стимуляторы обоих производителей показали сходные ортопедические эффекты на скорость передвижения и затрачиваемую энергию у пациентов с данной патологией [27].

L. Miller и соавторы пришли к выводу, что функциональная электростимуляция (ФЭС), используемая для предотвращения свисания стопы при РС, эффективна в увеличении скорости ходьбы. Однородность методологии выполненного исследования позволила доказать, что различий между корректорами движения Odstock (ODFS) и WalkAide (WA) с точки зрения их влияния на скорость ходьбы и на энергозатраты выявлено не было [41].

Последнее опубликованное исследование Gil-Castillo [24] при тестировании аппарата WalkAide на 11 здоровых людях и 100 пациентах с нарушениями опорно-двигательных функций показало увеличение скорости ходьбы с течением времени, увеличение диапазона движений голеностопного сустава, уменьшение спастичности, улучшение баланса и увеличение мышечной силы. Для прогрессирующих патологий (ДЦП, ОНМК, ЧМТ, спинальные травмы) наблюдался устойчивый положительный терапевтический эффект через 11 месяцев использования ФЭС, в отличие от прогрессирующих патологий, таких как рассеянный склероз. Согласно результатам тестирования, терапевтический эффект продолжает улучшаться по меньшей мере до года (примерно на 18% - 38% через 3 - 11 месяцев соответственно). При рассеянном склерозе, терапевтический эффект от ФЭС примерно через 3 месяца улучшается на 9,1%, но имеет плавную тенденцию к снижению (7,9% через 11 месяцев) вследствие прогрессирования самого заболевания [24].

Таким образом, устройство ФЭС можно рекомендовать пациентам с рассеянным склерозом с целью замедлить прогрессирование нейро-ортопедического дефекта в структуре основного заболевания, и обеспечить сохранение двигательной и социальной активности, несмотря на наличие стойкого неврологического дефицита.

Оценка влияния ФЭС на показатели походки

Мета-анализ оценки эффективности электротерапии при РС 2017 года с использованием тестов ходьбы на короткие расстояния выявил значительный первоначальный ортопедический эффект ($t = 2,14$, $P = 0,016$) в 11 исследованиях с 353 пациентами, со средним увеличением скорости ходьбы $0,05$ м/с. Последующий постоянный ортопедический эффект ($t = 2,81$, $P = 0,003$) был выявлен в 8 исследованиях с 255 пациентами, со средним увеличением скорости ходьбы на $0,08$ м/с. [28]. В общей сложности в данном мета-анализе было проанализировано 19 различных исследований в 20 статьях. Авторы пришли

к выводу, что ФЭС, используемый при свисающей стопе, оказывает положительное краткосрочное и долгосрочное влияние на скорость походки в тестах на короткие дистанции.

В исследовании P.N. Taylor и соавторов было показано, что люди с рассеянным склерозом ходили на 29% быстрее при использовании ФЭС, также наблюдался 40% прирост по Функциональной шкале ходьбы (FWC - Functional Walking Category) [29]. Другое исследование, проведенное Taylor и соавторами, показало, что ходьба с ФЭС была значительно быстрее при стимуляции малоберцового нерва на первой неделе, на шестой неделе и на двенадцатой неделе исследования по сравнению с прогулкой без нейро-ортеза [30].

В серии клинических испытаний, проведенных T. Street и соавторами [31], было показано значительное увеличение скорости ходьбы ($P < 0,001$), при этом в начале наблюдалось минимальное клинически значимое изменение ($0,07$ м/с), а через 20 недель показатели существенно изменились в лучшую сторону ($0,11$ м/с): у испытуемых, получавших лечение с использованием ФЭС, наблюдалось среднее увеличение скорости ходьбы на 27%

Рандомизированное перекрестное исследование с использованием ФЭС и физической терапией с базовым дизайном, состояло из 2 групп. 1) ФЭС с последующими физическими упражнениями, направленными на улучшение стабильности; 2) физическая терапия, направленная на развитие свойств стабильности и домашние упражнения без использования ФЭС. Исследование показало, что ФЭС приводила к увеличению скорости ходьбы (неделя 24 $0,24$, м/с-1 $p = 0,44$), тогда как только при физических упражнениях увеличения не наблюдалось [32].

В качестве подтверждения гипотезы влияния ФЭС на показатели походки, можно привести итоги систематического обзора и анализа статистических данных 2017 года, который показывает значительный первоначальный ортопедический эффект (среднее увеличение скорости походки на 0.05 м/с), который продолжает улучшаться с течением времени (увеличение до 0.08 м/с) [28].

Так, в группе пациентов с РС в среднем наблюдалась меньшая длина шага ($p = 0,007$) и одновременно более высокая частота шага ($p = 0,007$) по сравнению с подобными идущими с медленной скоростью в здоровой контрольной группе людьми [28]. Однако продолжительность фазы двойной опоры существенно не отличалась между двумя группами ($p = 0,671$). Дополнительно по сравнению с группой медленно идущих здоровых людей, у людей в группе РС обнаружено плохое подошвенное сгибание и разгибание, что согласуется с предыдущими исследованиями, сравнивающими кинематику людей с РС, идущих с самостоятельно выбранной скоростью [34].

Другое исследование, проведенное Van der Linden и соавторами, показало значительное улучшение параметров максимальной дорсифлексии и сгибания в коленном суставе в фазе переноса ноги ($p = 0,006$) и длины шага ($p = 0,049$) в условиях использования ФЭС по сравнению с отсутствием ФЭС, что указывает на прямой ортопедический эффект [35, 36].

Доказано также статистически значимое увеличение дорсифлексии голеностопного сустава во время фазы переноса ноги, улучшение дорсифлексии голеностопного сустава при первоначальном контакте, а также увеличение длины шага [33, 35, 37, 38].

В рандомизированном перекрестном исследовании, проведенном P.N. Taylor, использование ФЭС стабильно приводило к значительному увеличению скорости ходьбы, а также улучшению ходьбы, измеренному с помощью

анализа наблюдений за походкой по шкале Rivermead (ROGA - Rivermead Observational Gait Analysis) [30].

Другое исследование показало, что использование ФЭС привело к статистически значимым улучшениям максимальной дорсифлексии при переносе ноги ($p = 0,006$), улучшению показателей тестов 10-минутной ходьбы (10MWT) при $p = 0,006$ и 2-минутной ходьбы (2MWT) при $p = 0,002$. Дополнительно выявлен тренировочный эффект, определяемый как улучшение показателей ходьбы без посторонней помощи с 1 по 12 неделю. В частности, выявлено увеличение угла сгибания голеностопного сустава при первоначальном контакте с опорой [35].

Данные подтверждены в сравнительном исследовании S.M. Scott и соавторов [36] с использованием инфракрасной 3D-камеры для анализа движений и кинематических измерений диапазона движения в голеностопном и коленном суставах. Применение ФЭС привело к ортопедическому эффекту за счет изменения кинематики голеностопного и коленного суставов, а также к увеличению скорости ходьбы людей с РС со свисающей стопой при выполнении тестов ходьбы на короткое расстояние. Во время применения ФЭС в режиме ходьбы в фазу первоначального контакта с опорой, значительно увеличилась дорсифлексия ($p = 0,026$) в голеностопном суставе и сгибание в коленном суставе ($p = 0,044$) по сравнению с ходьбой без ФЭС. Максимальная дорсифлексия во время переноса ноги не имела статистически значимой разницы ($p = 0,069$). Так же, применение ФЭС привело к увеличению максимального сгибания коленного сустава во время переноса ноги ($p = 0,011$) по сравнению со сгибанием при отсутствии ФЭС [26, 36].

Влияние ФЭС на качество жизни с точки зрения уровня мобильности и количества падений

Недавние систематические обзоры и мета-анализы выявили клинически значимые ортопедические эффекты ФЭС при отвисании стопы у пациентов с РС. Отвисание стопы (foot drop) является распространенным нарушением ходьбы при РС, которое может повлиять на качество жизни, связанное со здоровьем (HRQOL) [27]. В последние годы накопилось большое число доказательств, подтверждающих эффективность использования функциональной электростимуляции малоберцового нерва (ФЭС) для лечения симптоматики свисающей стопы у людей с рассеянным склерозом (РС).

В качественном исследовании феноменологического анализа, проведенном С. Bulley и соавторами [42] приводятся свидетельства участников исследования о снижении напряженного состояния, повышении дистанции ходьбы и повышении физической активности. Участники обратились к физическому терапевту за помощью из-за ухудшения ходьбы, нарушений равновесия или увеличения количества падений. Так, один из участников описал остаточный эффект от ФЭС: «когда моя нога хорошо поднимается, я чувствую большую уверенность в себе. Я стал ходить более уверенно и плавно, и мне кажется, что я стал меньше уставать» [42]. Другой пользователь рассказывает: «У меня был страх споткнуться, страх усталости, теперь я более уверен, что доберусь до цели и благополучно вернусь».

В систематическом обзоре L. Renfrew (Miller) и соавторов [27], посвященном влиянию ФЭС на качество жизни, связанное со здоровьем HRQOL (Health-Related Quality of Life), представлены предварительные доказательства того, что ФЭС оказывает положительное влияние на различные аспекты качества жизни (HRQOL) у людей с РС, такие как показатели воздействия на различные аспекты

жизнедеятельности (daily living performance), на умения, необходимые для осуществления различных видов деятельности (competence), на самооценку и самоуверенность [27].

В двух исследованиях использовалась шкала оценки психосоциального воздействия вспомогательных устройств (PIADS) [43, 44]. Шкала PIADS предназначена для измерения влияния реабилитационных технологий и вспомогательных устройств на качество жизни, связанное со здоровьем (HRQOL) и включает в себя три области измерения – компетентность в выполнении каких-либо действий, уровень адаптивности и самооценки [45]. Шкала PIADS отражает воспринимаемый людьми собственный опыт от использования вспомогательного устройства и, помогает понять способности человека, справиться и адаптироваться к устройству ФЭС. Она также может помочь в прогнозировании долгосрочного использования ФЭС или прекращения использования устройства [27].

Доказательства, представленные обзоре S. Springer, подтвердили тот факт, что ФЭС оказывает явное положительное ортопедическое влияние на ходьбу при РС [33]; улучшение по шкале воздействия на рассеянный склероз (MSIS-29) [32]; улучшение показателей по шкале ходьбы при рассеянном склерозе (MS Walking Scale) и по шкале воздействия на рассеянный склероз (MS Impact Scale) [46].

В исследовании, посвященном изучению влияния вспомогательных устройств на мобильность у взрослых людей (> 45 лет) [46], показатели по шкале PIADS были немного ниже, чем те, о которых сообщали P.N. Taylor и соавторы [45], но тем не менее авторы показали, что использование ФЭС эквивалентно другим традиционным вспомогательным устройствам. Рекомендуются более масштабные рандомизированные исследования с долгосрочным наблюдением для лучшего понимания влияния ФЭС на качество жизни человека с РС (HRQOL).

Кроме того, многочисленные исследования указывают на улучшение функциональной подвижности согласно модифицированному профилю функциональной способности передвигаться Emory (mEFAP) [47], а также на значительное улучшение показателей (параметров) ходьбы по лестнице и улучшение способности по преодолению препятствий, имеются данные и о значительном снижении частоты падений и повышении показателей эффективности по Канадской шкале производительности (COPM - Canadian Occupational Performance Measure) [37, 48].

В рандомизированном контролируемом испытании J. Esnouf и соавторов сообщалось, что медианное среднее число падений на одного испытуемого в течение 18-недельного периода исследования составляло 5 падений в группе ФЭС и 18 падений в группе с физическими упражнениями, что является весьма значимым статистическим различием ($p = 0,036$, Mann – Whitney U-test). В группе ФЭС и в группе ГСО 70% падений были зарегистрированы в то время, когда устройство не использовалось [48]. До использования ФЭС испытуемые сообщали о спотыкании на неровных поверхностях, особенно при ходьбе по тротуарной плитке, и о преодолении малых дистанций во время прогулки. По этим параметрам ФЭС оказало клинически значимое влияние по Канадской шкале производительности труда (COPM), в соответствии с которым было зарегистрировано меньше падений с ФЭС.

Гипотезу о снижении числа падений при использовании ФЭС подтверждает рандомизированное перекрестное исследование P. Taylor и соавторов [27], в котором зафиксировано меньшее количество падений с ФЭС у

наблюдаемых участников на 12 неделе ($p = 0,017$), и этот эффект сохранялся в течение последующих 12 недель ($p = 0,017$). Между 12 и 24 неделями было зарегистрировано 78% падений без использования ФЭС. В целом, 83% падений произошли в течение периода, когда ФЭС не использовалась [27].

Влияние на качество жизни с точки зрения затрачиваемой энергии на ходьбу

У пациентов с РС имеет место значительное снижение изначальной повседневной активности. В мета-анализе показано, что физическая активность у таких больных значительно меньше по сравнению с таковой в здоровой популяции. Описано снижение максимального потребления кислорода ($VO_2\text{-max}$) и повышение частоты сердечных сокращений в покое и диастолического артериального давления при РС [16].

Кроме того, у больных РС как с легкой, так и умеренной инвалидизацией по сравнению с контрольной группой показано повышение потребления кислорода при ходьбе. Чем выше энергозатраты пациента на ходьбу, тем быстрее он утомляется, а усталость приводит к снижению безопасности и повышению риска падения. Быстрая усталость и утомляемость является наиболее частой жалобой среди пациентов с рассеянным склерозом (от 75% до 90% больных), что существенно снижает уровень их физической активности и качество жизни [50].

ФЭС показало себя как эффективный инструмент для уменьшения энергозатрат на ходьбу при медленной патологической походке (во время которой человек сильнее всего устает). Так, исследование влияния стимулятора на скорость ходьбы и энергозатраты у 20 людей с диагнозом РС (средний возраст $50,4 \pm 7,3$ года), использующих ФЭС Odstock (ODFS) в повседневной жизни, показало, что ФЭС влияет по-разному на скорость и затраты O_2 в зависимости от выбранного человеком темпа походки. Во время теста испытуемые ходили с устройством ФЭС или без него в своем темпе в течение 5 минут. Затраты кислорода O_2 на ходьбу измерялись с помощью системного анализа газа одновременно с регистрацией скорости ходьбы. После того как данные были проанализированы, исследователи пришли к выводу, что ФЭС показала себя очень эффективной по увеличению скорости ходьбы и экономии затрат кислорода при ходьбе с выбранным темпом менее 0,8 м/с. Результаты, полученные при более быстром темпе ходьбы, превышающем 0,8 м/с, показали менее выраженное влияние стимуляции на скорость ходьбы и энергозатраты [41].

Благоприятное воздействие ФЭС рассматривается в контексте достоверного снижения потребления O_2 на единицу расстояния [43]. Была зарегистрирована повышенная выносливость при ходьбе; значительное увеличение пройденного расстояния, доказанного в 2-х и 3-х минутном тесте ходьбы [25, 35, 51], а также снижение индекса физиологических затрат (PCI). Сохранение энергии с учетом сердечных сокращений и дыхания, улучшение показателей в тесте 25-футовой прогулки, в тесте ходьбы «12» при РС, а так же в тесте «SF-36» физического функционирования и здоровья [52, 53] доказывают безусловное влияние ФЭС на качество походки.

Перспективы дальнейших научных исследований

В заключение необходимо отметить, что теоретическими основами для современной высокотехнологичной клинической реабилитации служат терапевтические принципы, основанные на моделях двигательного контроля: мышечное переобучение (например, биологиче-

ская обратная связь); нейротерапевтическая фасилитация (облегчение). При этом необходимо обеспечение интенсификации процесса обучения путем многократного повторения [54]. Теоретические основы различных моделей частично пересекаются и не могут быть отделены друг от друга.

Разработка высокотехнологичных методов таких как ФЭС становится возможной благодаря значительному прогрессу нейронаук в области фундаментальных аспектов, лежащих в основе реабилитации. К основным достижениям следует отнести расширение представлений о нейропластичности и способности ЦНС инициировать и/или поддерживать реорганизацию поврежденных структур и функций; а также уточнение биохимических факторов, которые благоприятствуют нейрональному ремоделированию (нейротрофические факторы, нейротрансмиттеры) [55, 56] в тесной взаимосвязи с активацией или реактивацией нейрональных клеточных предшественников, ответственных за репаративные процессы; и также возрастающий объем знаний о моторном контроле и двигательном обучении [57].

Устройства функциональной стимуляции в будущем станут еще более доступными для более массового использования как дома, так и в клиниках, если продолжится их усовершенствование в техническом плане. Устройства должны стать еще более простыми для самостоятельной эксплуатации инвалидом, а также должны обладать современным дизайном и способностью к быстрой самонастройке. Нейро-ортезы будут иметь возможность обратной связи от мышц и нервов, благодаря использованию датчиков электромиографии и электронейрографии, и увеличенное количество многоканальных электростимуляторов [58].

Будет играть важную роль способность устройств снижать утомляемость пациентов и достигать более эффективной стимуляции путем комбинирования импульсов переменной и постоянной частоты. Перспективно вести разработку эффективной методики стимуляции для восстановления полностью денервированных мышц с использованием подходящей длины импульса. С законодательной точки зрения такого рода устройства должны будут войти в программы индивидуальной реабилитации для инвалида для того, чтобы человек с ограниченными возможностями имел возможность получения денежной компенсации от государства. После этого устройства ФЭС смогут стать для пациентов с рассеянным склерозом практически техническими средствами реабилитации (ТСР), улучшающими их мобильность и качество жизни.

Заключение

В настоящее время общепринятым считается следующее положение: физическая активность является важной нефармакологической составляющей реабилитации при РС; правильно организованные занятия – безопасный и эффективный способ физического улучшения при РС, что также может повысить и качество жизни пациентов [18, 22–24]. Кроме того, физическая активность рассматривается как многообещающая стратегия влияния на различные аспекты при РС, включая и возможности улучшения ходьбы. Помимо повышения качества жизни и снижения утомляемости доказано положительное влияние физической активности на мышечную силу, кардио-респираторные параметры, а также на уменьшение степени выраженности парезов. Методика ФЭС является доказанным реабилитационным инструментом, способствующим увеличению физической активности пациентов с РС.

Не вызывает сомнений факт терапевтической эффективности применения ФЭС в реабилитации пациентов с РС. Приведенные результаты исследований показали достоверное позитивное влияние ФЭС на восстановление двигательного стереотипа ходьбы у пациентов с РС. Ни для кого уже не является секретом, что ФЭС является эффективным долгосрочным решением, оказывающим благотворное влияние не только здоровье, но и на качество жизни. Позитивные изменения, отмеченные в связи с использованием ФЭС, увеличивают мобильность и независимость людей, живущих с РС. С позиций терминологии Международной классификации функционирования, позитивное воздействие устройств ФЭС на улучшение моторной функции было более важным для испытуемых в исследованиях, чем барьеры связанные с использованием технологии [59].

При назначении устройства ФЭС для решения проблемы нарушения мышечного тонуса и парезов, следует учитывать индивидуальный опыт и предпочтения пациента, а также рассматривать ФЭС как разумное дополнение стандарта оказания медицинской помощи пациентам с РС. Вероятно, устройства ФЭС смогут стать для пациентов с РС практически значимыми средствами, улучшающими передвижение, в случае дальнейших технических усовершенствований, которые позволят сделать ходьбу еще более безопасной, независимой от посторонней помощи и достигающей скорости ходьбы здоровых лиц. Для выявления еще большего потенциала использования устройств функциональной электростимуляции потребуется продолжить клинические наблюдения за пациентами с РС, использующими аппараты ФЭС постоянно в повседневной жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко А.Н., Гусева М.Е., Сиверцева С.А., Батышева Т.Т. Жизнь с рассеянным склерозом. Руководство для пациентов, членов их семей и медицинских работников. Практическая медицина. 2019: 376 с.
2. Бойко А.Н., Гусева М.Р., Хачанова Н.В., Гусев Е.И. Вопросы современной терминологии при рассеянном склерозе. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018; 118 (8–2): 121–127.
3. Дорохов А.Д., Шкильнюк Г.Г., Цветкова Т.Л., Столяров И.Д. Особенности нарушений ходьбы при рассеянном склерозе. Практическая медицина. 2019; 17 (7): 28–320.
4. Клеменов А.В. Обратная ходьба как методика нейрореабилитации. Вестник восстановительной медицины. 2018; (2): 108–112. DOI:10.18821/1681–3456–2018–17–1–4–8
5. Heine M., Van de Port I., Rietberg M.B. et al. Exercise therapy for fatigue in multiple sclerosis. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2015; (9). Art. No.: CD009956. DOI:10.1002/14651858.CD009956.pub2
6. Street T., Singleton C. Five-Year Follow-up of a Longitudinal Cohort Study of the Effectiveness of Functional Electrical Stimulation for People with Multiple Sclerosis. International Journal of MS Care. 2018; 20 (5): 224–230. DOI:10.7224/1537–2073.2016–094
7. Comber L., Galvin R., Coote S. Gait deficits in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Gait Posture. 2017; (51): 25–35. DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.09.026
8. Шараев А.С., Бойко А.Н., Бахарев Б.В. Особенности влияния динамической стабилотрии на степень выраженности синдрома хронической усталости у больных с различным типом течения рассеянного склероза. Вестник восстановительной медицины. 2018; (2): 67–72.
9. Wei T.S., Liu P.T., Chang L.W., Liu S.Y. Gait asymmetry, ankle spasticity, and depression as independent predictors of falls in ambulatory stroke patients. PLoS One. 2017; 23 (12 (5)): e0177136. DOI:10.1371/journal.pone.0177136
10. Schmid A., Duncan P.W., Studenski S. et al. Improvements in Speed-Based Gait Classifications Are Meaningful. Stroke. 2007; (38): 2096–2100.
11. Gianni C., Prosperini L., Jonsdottir J., Cattaneo D. A systematic review of factors associated with accidental falls in people with multiple sclerosis: a meta-analytic approach. Clinical Rehabilitation. 2014; 28 (7): 704–716. DOI:10.1177/0269215513517575
12. Vister E., Tijma M.E., Hoang P.D. et al. Fatigue, Physical Activity, Quality of Life, and Fall Risk in people with Multiple Sclerosis. International Journal of MS Care. 2017; (19): 91–98.
13. Amatya B., Khan F., Galea M. Rehabilitation for people with multiple sclerosis: an overview of Cochrane Reviews. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2019; (1). Art. No.: CD012732. DOI:10.1002/14651858.CD012732.pub2
14. Литвинова Н.Ю., Белова А.Н., Шейко Г.Е. и др. Физическая реабилитация больных рассеянным склерозом. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2019; 1 (149): 40–51.
15. Полилова Ю.В., Гецман Я.А. Методика использования ЛОКОМАТ для реабилитации пациентов с двигательными нарушениями: клинические рекомендации. Новосибирск. ГКТ ФГБУ «ННИИТО» Минздрава России. 2012: 21 с.
16. Тихоплав О.А., Иванова В.В., Гурьянова Е.А., Иванов И.Н. Эффективность роботизированной механотерапии комплекса «Lokomat pro» у пациентов, перенесших инсульт. Вестник восстановительной медицины. 2019; (93): 57–64.
17. Переседова А.В., Черникова Л.А., Завалишин И.А. Физическая реабилитация при рассеянном склерозе: общие принципы и современные высокотехнологические методы. Вестник Российской академии медицинских наук. 2013; 68 (10): 14–21.
18. Клинические рекомендации Рассеянный склероз. 2018. <https://www.ructrims.org/files/>
19. Пономаренко Г.Н. Физиотерапия: национальное руководство. М. ГЭОТАР-Медиа. 2013.
20. Liberson W.T., Holmquest H.J., Scot D., Dow M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 1961; V.42: 101 p.
21. Moe J.H., Post H.W. Functional electrical stimulation for ambulation in hemiplegia. Lancet. 1962; V.82: 285 p.
22. Витензон А.С., Петрушанская К.А. Физиологические обоснования метода искусственной коррекции движений посредством программируемой электростимуляции мышц при ходьбе. Российский журнал биомеханики. 2010; 14 (2/48): 7–27.
23. Matsumoto S., Shimodozono M., Noma T. Rationale and design of the therapeutic effects of peroneal nerve functional electrical stimulation for lower extremity in patients with convalescent poststroke hemiplegia (RALLY) study: study protocol for a randomised controlled study. BMJ Open. 2019; 9 (11): e026214. DOI:10.1136/bmjopen-2018-026214
24. Gil-Castillo et al. Advances in neuroprosthetic management of foot drop: a review. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. 2020; 17 (46): 1–19. DOI:10.1186/s12984-020-00668-4
25. Barrett C.L., Mann G.E., Taylor P.N., Strike P.A. Randomized Trial to Investigate the Effects of Functional Electrical Stimulation and Therapeutic Exercise on Walking Performance for People with Multiple Sclerosis. Multiple Sclerosis. 2009; (15): 493–504.
26. Functional Electrical Stimulation for Foot Drop in Multiple Sclerosis. Published Online: May 20th 2015 US Neurology. 2015;11 (1):10–8. DOI:10.17925/USN.2015.11.01.10
27. Renfrew L. (Miller), Lord A.C., Warren J. et al. Evaluating the Effect of Functional Electrical Stimulation Used for Foot Drop on Aspects of Health-Related Quality of Life in People with Multiple Sclerosis: A Systematic Review. International Journal of MS Care. 2019; 21 (4): 173–182. DOI:10.7224/1537–2073.2018–015
28. Miller L., McFayden A., Lord A. et al. Functional electrical stimulation for foot drop in multiple sclerosis: a systematic review and metaanalysis of the effect on gait speed. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2017; (98): 1435–1452.
29. Taylor P.N., Humphreys L., Swain I. The Long-Term Cost-Effectiveness of the Use of Functional Electrical Stimulation for the Correction of Dropped Foot Due to Upper Motor Neuron Lesion. Journal of Rehabilitation Medicine. 2013; (45): 154–160.

30. Taylor P.N., Barrett C., Mann G. et al. A feasibility study to investigate the effect of functional electrical stimulation and physiotherapy exercise on the quality of gait of people with multiple sclerosis: FES for dropped foot and hip stability in MS. *Neuromodulation*. 2014; (17): 75–84.
31. Street T., Taylor P., Swain I. Effectiveness of Functional Electrical Stimulation on Walking Speed, Functional Category, and Clinically Meaningful Changes for Patients with Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015; 96 (4): 667–672.
32. Taylor P., Barrett C., Mann G., Wareham W. A feasibility study to investigate the effect of functional electrical stimulation and physiotherapy exercise on the quality of gait of people with multiple sclerosis. *Neuromodulation*. 2014; 17 (1): 75–84. DOI:10.1111/ner.12048
33. Springer S., Khamis S. Effects of functional electrical stimulation on gait in people with multiple sclerosis – A systematic review. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2017; 1 (18). DOI:10.1016/j.msard.2017.01.010
34. Van der Linden M.L., Scott S.M., Hooper J.E. et al. Gait Kinematics of People with Multiple Sclerosis and the Acute Application of Functional Electrical Stimulation. *Gait & Posture*. 2014; 39 (4): 1092–6.
35. Van der Linden M.L., Hooper J.E., Cowan P. et al. Habitual Functional Electrical Stimulation Therapy Improves Gait Kinematics and Walking Performance, but Not Patient-Reported Functional Outcomes, of People with Multiple Sclerosis Who Present with Foot-Drop. *PLoS One*. 2014; 18 (9 (8)): e103368. DOI:10.1371/journal.pone.0103368
36. Scott S.M., Van der Linden M.L., Hooper J.E. et al. Quantification of Gait Kinematics and Walking Ability of People with Multiple Sclerosis Who Are New Users of Functional Electrical Stimulation. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2013; 45 (4): 364–369.
37. Gervasoni E., Parelli R., Uszynski M. et al. Effects of Functional Electrical Stimulation on Reducing Falls and Improving Gait Parameters in Multiple Sclerosis and Stroke. *PM&R Journal*. 2017; 9 (4): 339–347. DOI:10.1016/j.pmrj.2016.10.019
38. Sheffler L.R., Bailey N.S., Chae J. Spatiotemporal and Kinematic Effect of Peroneal Nerve Stimulation Versus an Ankle Foot Orthosis in Patients with Multiple Sclerosis: A Case Series. *PM&R Journal*. 2009; 1 (7): 604–611. DOI:10.1016/j.pmrj.2009.04.002
39. Renfrew L. (Miller), Paul L., McFadyen A. et al. The clinical- and cost-effectiveness of functional electrical stimulation and ankle-foot orthoses for foot drop in Multiple Sclerosis: a multicenter randomized trial. *Clinical Rehabilitation*. 2019; 33 (7): 1150–1162. DOI:10.1177/0269215519842254
40. Cameron M.H. The walkaide functional electrical stimulation system – a novel therapeutic approach for foot drop in central nervous system disorders. *European Neurological Review*. 2010; 5 (2): 18–20. DOI:10.17925/ENR.2010.02.18
41. Miller L., Rafferty D., Paul L., Mattison P. A comparison of the orthotic effect of the Odstock Dropped Foot Stimulator and the Walkaide functional electrical stimulation system on energy cost and speed of walking in Multiple Sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015; 10 (6): 482–485. DOI:10.3109/17483107.2014.898340
42. Bulley C., Mercer T.H., Hooper J.E. et al. Experiences of functional electrical stimulation (FES) and ankle foot orthoses (AFOs) for footdrop in people with multiple sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015; (10): 458–467.
43. Barrett C., Taylor P. The effects of the Odstock drop foot stimulator on perceived quality of life for people with stroke and multiple sclerosis. *Neuromodulation*. 2010; (13): 58–64.
44. Taylor P.N., Wikinson-Hart I.A., Khan M.S. et al. The correction of dropped foot due to multiple sclerosis using the STIMuSTEP implanted dropped foot stimulator. *International Journal of MS Care*. 2016; (18): 239–247.
45. Downing A., Van Ryn D., Fecko A. et al. A Two-Week Trial of Functional Electrical Stimulation Positively Affects Gait Function and Quality of Life in People with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*. 2014; (16): 146–152.
46. Martins A.C., Pinheiro J., Farias B. et al. Psychosocial impact of assistive technologies for mobility and their implications for active ageing. *Technologies*. 2016; (4): 1–9.
47. Mayer L., Warring T., Agrella S. et al. The Effects of Functional Electrical Stimulation on Gait Function and Quality of Life for People with Multiple Sclerosis on Dalfampridine. *International Journal of MS Care*. 2015; (17): 35–41.
48. Esnouf J.E., Taylor P.N., Mann G.E., Barrett C.L. Impact on Activities of Daily Living Using a Functional Electrical Stimulation Device to Improve Dropped Foot in People with Multiple Sclerosis, Measured by the Canadian Occupational Performance Measure. *Multiple Sclerosis*. 2010; 16 (9): 1141–1147.
49. Motl R.W., Goldman M.D., Benedict R.H. Walking impairment in patients with multiple sclerosis: exercise training as a treatment option. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2010; (6): 767–774.
50. Motl R.W., Sandroff B.M., Suh Y., Sosnoff J.J. Energy cost of walking and its parameters, daily activity and fatigue in persons with mild to moderate Multiple Sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012; (26): 1015–1021.
51. Miller L., Rafferty D., Paul L., Mattison P. The Impact of Walking Speed on the Effects of Functional Electrical Stimulation for Foot Drop in People with Multiple Sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2016; 11 (6): 478–483.
52. Everaert D.G., Thompson A.K., Chong S.L., Stein R.B. Does Functional Electrical Stimulation for Foot Drop Strengthen Corticospinal Connections? *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010; 24 (2): 168–177.
53. Stein R.B., Everaert D., Thompson A.K. et al. Long Term Therapeutic and Orthotic Effects of a Foot Drop Stimulator on Walking Performance in Progressive and Nonprogressive Neurological Disorders. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010; 24 (2): 152–167.
54. Rasova K., Feys P., Henze T. et al. Emerging evidence-based physical rehabilitation for multiple sclerosis – towards an inventory of current content across Europe. *Health Qual. Life Outcomes*. 2010; (8): 76 p.
55. Московский А. В., Уруков Ю. Н., Викторов В. Н. и др. Исследование нейромедиаторного статуса тучных клеток при воспалении пульпы зуба. *Acta Medica Eurasica*. 2018; (4): 47–52.
56. Гурьянова Е. А., Деомидов Е. С. Нейроэндокринные и тучные клетки кожи в области точек акупунктуры. *Медицинский академический журнал*. 2019; (19/5): 22–24.
57. Pelletier J., Audoin B., Reuter F., Ranjeva J. Plasticity in MS: from functional imaging to rehabilitation. *The International MS Journal*. 2009; 16 (1): 26–31.
58. Герцик Ю. Г., Иванова Г. Е., Рагуткин А. В. и др. Повышение эффективности эксплуатации высокотехнологичных медицинских изделий путем расширения компетенций медицинских работников в общетехнических, информационных и телемедицинских технологиях. *Вестник восстановительной медицины*. 2018; (1): 61–68.
59. Цыкунов М. Б. Шкалы оценки нарушений при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования (дискуссия). *Вестник восстановительной медицины*. 2019; (5): 2–12.

REFERENCES

1. Bojko A.N., Guseva M.E., Siverceva S.A., Baty'sheva T.T. Zhizn' s rasseyanny'm sklerozom. Rukovodstvo dlya pacientov, chlenov ix semej i medicinskih rabotnikov. [Life with multiple sclerosis]. *Prakticheskaya medicina*. 2019: 376 p. (In Russ.).
2. Bojko A.N., Guseva M.R., Xachanova N.V., Gusev E.I. Voprosy' sovremennoj terminologii pri rasseyannom skleroze. [Questions of modern terminology in multiple sclerosis. Features of walking disorders in multiple sclerosis]. *Zhurnal nevrologii i psixiatrii im. C. C. Korsakova*. 2018; 118 (8–2): 121–127 (In Russ.).
3. Doroxov A.D., Shkil'nyuk G.G., Czvetkova T.L., Stolyarov I.D. Osobennosti narushenij hod'by' pri rasseyannom skleroze. [Features of walking disorders in multiple sclerosis]. *Prakticheskaya medicina*. 2019; 17 (7): 28–320 (In Russ.).
4. Klemenov A.V. Obratnaya hod'ba kak metodika nejroreabilitacii. [Reverse walking as a neurorehabilitation technique]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018; (2): 108–112. DOI:10.18821/1681–3456–2018–17–1–4–8 (In Russ.).
5. Heine M., Van de Port I., Rietberg M.B. et al. Exercise therapy for fatigue in multiple sclerosis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015; (9). Art. No.: CD009956. DOI:10.1002/14651858.CD009956.pub2
6. Street T., Singleton C. Five-Year Follow-up of a Longitudinal Cohort Study of the Effectiveness of Functional Electrical Stimulation for People with Mul-

- multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*. 2018; 20 (5): 224–230. DOI:10.7224/1537–2073.2016–094
7. Comber L., Galvin R., Cooze S. Gait deficits in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2017; (51): 25–35. DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.09.026
 8. Shagaev A. S., Bojko A. N., Baxarev B. V. Osobennosti vliyaniya dinamicheskoy stabilometrii na stepen' vy' razhennosti sindroma khronicheskoy ustalosti u bol'ny'x s razlichny'm tipom techeniya rasseyannogo skleroza. [Features of the influence of dynamic stabilometry on the severity of chronic fatigue syndrome in patients with various types of multiple sclerosis]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018; (2): 67–72 (In Russ.).
 9. Wei T. S., Liu P. T., Chang L. W., Liu S. Y. Gait asymmetry, ankle spasticity, and depression as independent predictors of falls in ambulatory stroke patients. *PLoS One*. 2017; 23 (12 (5)): e0177136. DOI:10.1371/journal.pone.0177136
 10. Schmid A., Duncan P. W., Studenski S. et al. Improvements in Speed-Based Gait Classifications Are Meaningful. *Stroke*. 2007; (38): 2096–2100.
 11. Gianni C., Proserini L., Jonsdottir J., Cattaneo D. A systematic review of factors associated with accidental falls in people with multiple sclerosis: a meta-analytic approach. *Clinical Rehabilitation*. 2014; 28 (7): 704–716. DOI:10.1177/0269215513517575
 12. Vister E., Tijma M. E., Hoang P. D. et al. Fatigue, Physical Activity, Quality of Life, and Fall Risk in people with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*. 2017; (19): 91–98.
 13. Amatya B., Khan F., Galea M. Rehabilitation for people with multiple sclerosis: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019; (1). Art. No.: CD012732. DOI:10.1002/14651858.CD012732.pub2
 14. Litvinova N. Yu., Belova A. N., Shejko G. E. et al. Fizicheskaya reabilitaciya bol'ny'x rasseyanny'm sklerozom. [Physical rehabilitation of patients with multiple sclerosis]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya medicina*. 2019; 1 (149): 40–51 (In Russ.).
 15. Polilova Yu. V., Geczman Ya. A. Metodika ispol'zovaniya LOKOMAT dlya reabilitacii pacientov s dvigatel'ny'mi narusheniyami: klinicheskie rekomendacii [LOKOMAT Methodology for Rehabilitation of Patients with Movement Disorders: Clinical Guideline]. *Novosibirsk. GKT FGBU «NNITO» Minzdrava Rossii*. 2012: 21 p. (In Russ.).
 16. Tikhoplav O. A., Ivanova V. V., Guryanova E. A., Ivanov I. N. E'ffektivnost' robotizirovannoj mexanoterapii kompleksa "Lokomat pro" u pacientov, perenyosshix insult [The effectiveness of robotic mechanotherapy of the Lokomat pro complex in stroke patients]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019; (93): 57–64. (In Russ.)
 17. Peresedova A. V., Chernikova L. A., Zavalishin I. A. Fizicheskaya reabilitaciya pri rasseyannom skleroze: obshhie principy i sovremenny'e vy' sokotexnologichny'e metody [Physical rehabilitation for multiple sclerosis: general principles and modern high-tech methods]. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskix nauk*. 2013; 68 (10): 14–21. (In Russ.).
 18. [Clinical recommendations Multiple sclerosis] *Klinicheskie rekomendacii Rasseyanny'j skleroz*. 2018. (In Russ.) Available at: <https://www.ructrims.org/files/>
 19. Ponomarenko G. N. Fizioterapiya: nacional'noe rukovodstvo [Physiotherapy: national guidelines]. M. GE OTAR-Media. 2013. (In Russ.).
 20. Liberson W. T., Holmquest H. J., Scot D., Dow M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1961; V.42: 101 p.
 21. Moe J. H., Post H. W. Functional electrical stimulation for ambulation in hemiplegia. *Lancet*. 1962; V.82: 285 p.
 22. Vitenzon A. S., Petrushanskaya K. A. Fiziologicheskie obosnovaniya metoda iskusstvennoj korrekcii dvizhenij posredstvom programmiruemoj e'lektrostimuljacii my'shch pri xod'be. [Physiological substantiation of the method of artificial movement correction by means of programmed electrical stimulation of muscles when walking]. *Rossijskij zhurnal biomexaniki*. 2010; 14 (2/48): 7–27. (In Russ.).
 23. Matsumoto S., Shimodozono M., Noma T. Rationale and design of the therapeutic effects of peroneal nerve functional electrical stimulation for lower extremity in patients with convalescent poststroke hemiplegia (RALLY) study: study protocol for a randomised controlled study. *BMJ Open*. 2019; 9 (11): e026214. DOI:10.1136/bmjopen-2018-026214
 24. Gil-Castillo et al. Advances in neuroprosthetic management of foot drop: a review. *Advances in Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2020; (17/46): 1–19 DOI:10.1186/s12984–020–00668–4
 25. Barrett C. L., Mann G. E., Taylor P. N., Strike P. A. Randomized Trial to Investigate the Effects of Functional Electrical Stimulation and Therapeutic Exercise on Walking Performance for People with Multiple Sclerosis. *Multiple Sclerosis*. 2009; (15): 493–504.
 26. Functional Electrical Stimulation for Foot Drop in Multiple Sclerosis. Published Online: May 20th 2015 *US Neurology*. 2015;11 (1):10–8. DOI:10.17925/USN.2015.11.01.10
 27. Renfrew L. (Miller), Lord A. C., Warren J. et al. Evaluating the Effect of Functional Electrical Stimulation Used for Foot Drop on Aspects of Health-Related Quality of Life in People with Multiple Sclerosis: A Systematic Review. *International Journal of MS Care*. 2019; 21 (4): 173–182. DOI:10.7224/1537–2073.2018–015
 28. Miller L., McFayden A., Lord A. et al. Functional electrical stimulation for foot drop in multiple sclerosis: a systematic review and metaanalysis of the effect on gait speed. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2017; (98): 1435–1452.
 29. Taylor P. N., Humphreys L., Swain I. The Long-Term Cost-Effectiveness of the Use of Functional Electrical Stimulation for the Correction of Dropped Foot Due to Upper Motor Neuron Lesion. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2013; (45): 154–160.
 30. Taylor P. N., Barrett C., Mann G. et al. A feasibility study to investigate the effect of functional electrical stimulation and physiotherapy exercise on the quality of gait of people with multiple sclerosis: FES for dropped foot and hip stability in MS. *Neuromodulation*. 2014; (17): 75–84.
 31. Street T., Taylor P., Swain I. Effectiveness of Functional Electrical Stimulation on Walking Speed, Functional Category, and Clinically Meaningful Changes for Patients with Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015; 96 (4): 667–672.
 32. Taylor P., Barrett C., Mann G., Wareham W. A feasibility study to investigate the effect of functional electrical stimulation and physiotherapy exercise on the quality of gait of people with multiple sclerosis. *Neuromodulation*. 2014; 17 (1): 75–84. DOI:10.1111/ner.12048
 33. Springer S., Khamis S. Effects of functional electrical stimulation on gait in people with multiple sclerosis – A systematic review. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2017; 1 (18). DOI:10.1016/j.msard.2017.01.010
 34. Van der Linden M. L., Scott S. M., Hooper J. E. et al. Gait Kinematics of People with Multiple Sclerosis and the Acute Application of Functional Electrical Stimulation. *Gait & Posture*. 2014; 39 (4): 1092–6.
 35. Van der Linden M. L., Hooper J. E., Cowan P. et al. Habitual Functional Electrical Stimulation Therapy Improves Gait Kinematics and Walking Performance, but Not Patient-Reported Functional Outcomes, of People with Multiple Sclerosis Who Present with Foot-Drop. *PLoS One*. 2014; 18 (9 (8)): e103368. DOI:10.1371/journal.pone.0103368.
 36. Scott S. M., Van der Linden M. L., Hooper J. E. et al. Quantification of Gait Kinematics and Walking Ability of People with Multiple Sclerosis Who Are New Users of Functional Electrical Stimulation. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2013; 45 (4): 364–369.
 37. Gervasoni E., Parelli R., Uszynski M. et al. Effects of Functional Electrical Stimulation on Reducing Falls and Improving Gait Parameters in Multiple Sclerosis and Stroke. *PM&R Journal*. 2017; 9 (4): 339–347. DOI:10.1016/j.pmrj.2016.10.019
 38. Sheffler L. R., Bailey N. S., Chae J. Spatiotemporal and Kinematic Effect of Peroneal Nerve Stimulation Versus an Ankle Foot Orthosis in Patients with Multiple Sclerosis: A Case Series. *PM&R Journal*. 2009; 1 (7): 604–611. DOI:10.1016/j.pmrj.2009.04.002
 39. Renfrew L. (Miller), Paul L., McFadyen A. et al. The clinical- and cost-effectiveness of functional electrical stimulation and ankle-foot orthoses for foot drop in Multiple Sclerosis: a multicenter randomized trial. *Clinical Rehabilitation*. 2019; 33 (7): 1150–1162. DOI:10.1177/0269215519842254
 40. Cameron M. H. The walkaide functional electrical stimulation system – a novel therapeutic approach for foot drop in central nervous system disorders. *European Neurological Review*. 2010; 5 (2): 18–20. DOI:10.17925/ENR.2010.02.18
 41. Miller L., Rafferty D., Paul L., Mattison P. A comparison of the orthotic effect of the Odstock Dropped Foot Stimulator and the Walkaide functional electrical stimulation system on energy cost and speed of walking in Multiple Sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015; 10 (6): 482–485. DOI:10.3109/17483107.2014.898340
 42. Bulley C., Mercer T. H., Hooper J. E. et al. Experiences of functional electrical stimulation (FES) and ankle foot orthoses (AFOs) for footdrop in people with multiple sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015; (10): 458–467.
 43. Barrett C., Taylor P. The effects of the Odstock drop foot stimulator on perceived quality of life for people with stroke and multiple sclerosis. *Neuromodulation*. 2010; (13): 58–64.

44. Taylor P.N., Wikinson-Hart I.A., Khan M.S. et al. The correction of dropped foot due to multiple sclerosis using the STIMuSTEP implanted dropped foot stimulator. *International Journal of MS Care*. 2016; (18): 239–247.
45. Downing A., Van Ryn D., Fecko A. et al. A Two-Week Trial of Functional Electrical Stimulation Positively Affects Gait Function and Quality of Life in People with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*. 2014; (16): 146–152.
46. Martins A.C., Pinheiro J., Farias B. et al. Psychosocial impact of assistive technologies for mobility and their implications for active ageing. *Technologies*. 2016; (4): 1–9.
47. Mayer L., Warring T., Agrella S. et al. The Effects of Functional Electrical Stimulation on Gait Function and Quality of Life for People with Multiple Sclerosis on Dalfampridine. *International Journal of MS Care*. 2015; (17): 35–41.
48. Esnouf J.E., Taylor P.N., Mann G.E., Barrett C.L. Impact on Activities of Daily Living Using a Functional Electrical Stimulation Device to Improve Dropped Foot in People with Multiple Sclerosis, Measured by the Canadian Occupational Performance Measure. *Multiple Sclerosis*. 2010; 16 (9): 1141–1147.
49. Motl R.W., Goldman M.D., Benedict R.H. Walking impairment in patients with multiple sclerosis: exercise training as a treatment option. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2010; (6): 767–774.
50. Motl R.W., Sandroff B.M., Suh Y., Sosnoff J.J. Energy cost of walking and its parameters, daily activity and fatigue in persons with mild to moderate Multiple Sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012; (26): 1015–1021.
51. Miller L., Rafferty D., Paul L., Mattison P. The Impact of Walking Speed on the Effects of Functional Electrical Stimulation for Foot Drop in People with Multiple Sclerosis. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2016; 11 (6): 478–483.
52. Everaert D.G., Thompson A.K., Chong S.L., Stein R.B. Does Functional Electrical Stimulation for Foot Drop Strengthen Corticospinal Connections? *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010; 24 (2): 168–177.
53. Stein R.B., Everaert D., Thompson A.K. et al. Long Term Therapeutic and Orthotic Effects of a Foot Drop Stimulator on Walking Performance in Progressive and Nonprogressive Neurological Disorders. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010; 24 (2): 152–167.
54. Rasova K., Feys P., Henze T. et al. Emerging evidence-based physical rehabilitation for multiple sclerosis – towards an inventory of current content across Europe. *Health Qual. Life Outcomes*. 2010; (8): 76 p.
55. Moskovskij A.V., Urukov Yu.N., Viktorov V.N. et al. Issledovanie nejromediatornogo statusa tuchnyh kletok pri vospalenii pul'py zuba [Study of the neurotransmitter status of mast cells in inflammation of the dental pulp]. *Acta Medica Eurasica*. 2018; (4): 47–52 (In Russ.).
56. Guryanova E.A., Deomidov E.S. Neiroendokrinnye i tuchnye kletki kozhi v oblasti tochek akupunktury [Neuroendocrine and mast cells of the skin in the area of acupuncture]. *Medicinskij akademicheskij zhurnal*. 2019; (19/5): 22–24. (In Russ.).
57. Pelletier J., Audoin B., Reuter F., Ranjeva J. Plasticity in MS: from functional imaging to rehabilitation. *The International MS Journal*. 2009; 16 (1): 26–31.
58. Gercik Yu.G., Ivanova G.E., Ragutkin A.V. et al. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii vysokotekhnologichnyh medicinskih izdelij putem rasshireniya kompetencij medicinskih rabotnikov v obshchetekhnicheskikh, informacionnyh i telemedicinskih tekhnologiyah. [Improving the efficiency of the operation of high-tech medical devices by expanding the competencies of medical workers in general technical, information and telemedicine technologies.]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018; (1): 61–68 (In Russ.).
59. Cykunov M.B. Shkaly ocenki narushenij pri patologii oporno-dvigatel'noj sistemy s ispol'zovaniem kategorij mezhdunarodnoj klassifikacii funkcionirovaniya (diskussiya). [Scales for assessing disorders in the pathology of the musculoskeletal system using the categories of the international classification of functioning (discussion)]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019; (5): 2–12 (In Russ.).

Информация об авторах:

Гурьянова Евгения Аркадьевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры хирургии, Институт усовершенствования врачей Минздрава Чувашской Республики; профессор кафедры внутренних болезней, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, e-mail: z-guryanova@bk.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1519-2319>

Кирьянова Вера Васильевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой физиотерапии и медицинской реабилитации, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Минздрава России, главный внештатный специалист-физиотерапевт комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга, e-mail: kiryanova_vv@mail.ru

Information about the authors:

Evgenya A. Guryanova, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Surgery, Postgraduate Doctors Training Institute of Health Ministry of Chuvashia; Professor of the Department of Internal Medicine, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, e-mail: z-guryanova@bk.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1519-2319>

Vera V. Kiryanova, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Physiotherapy and Medical Rehabilitation, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Chief Physiotherapist of Saint-Petersburg Health Committee, e-mail: kiryanova_vv@mail.ru

