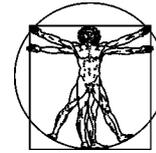


DOI: 10.15593/RZhBiomech/2020.2.03
УДК 616.748



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

КЛИНИКО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА «ЭКЗОАТЛЕТ» ПРИ ХОДЬБЕ ДЛЯ БОЛЬНЫХ С РАССЕЯННЫМ СКЛЕРОЗОМ

**С.В. Котов¹, К.А. Петрушанская¹, В.Ю. Лиждвой¹, Е.В. Письменная²,
А.Б. Секирин¹, И.А. Сутченков³**

¹ Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Российская Федерация, 129110, Москва, ул. Щепкина, дом 61/2, корпус 1, e-mail: moniki@monikiweb.ru

² Общество с ограниченной ответственностью «ЭкзоАтлет», Российская Федерация, 119121, Москва, Тружеников 1-й переулок, 15, офис 1, e-mail: info@exoatlet.ru

³ Научно-медицинская фирма «МБН», Российская Федерация, 105120, Москва, 2-ой Сыромятнический переулок, 10, офис 6, e-mail: info@mbn.ru

Аннотация. На основании исследований биомеханической и иннервационной структуры ходьбы больной с рассеянным склерозом дано обоснование применения экзоскелета *ExoAtlet*. Ранее было выявлено, что у больных с рассеянным склерозом имеются общие черты, которые свойственны всем больным с заболеваниями опорно-двигательной системы, в частности снижение скорости движения, уменьшение устойчивости, ослабление опорной и толчковой функций нижних конечностей, резкое снижение электрической активности мышц в течение локомоторного цикла. На примере конкретной больной с рассеянным склерозом выявлены специфические особенности ходьбы, характерные только для данного заболевания. К таким особенностям ходьбы относятся циклический характер опорной реакции и электромиографического профиля мышц, шаткость походки, треугольная или трапециевидная форма вертикальной составляющей Rz опорной реакции, эквинус стопы и голеностопного сустава нередко в сочетании с рекурвацией в коленном суставе, резкое уменьшение основного сгибания в коленном суставе на одной или обеих ногах, снижение электрической активности мышц и ее пролонгирование на большую часть опорной фазы. С целью изучения энергетических параметров ходьбы и выявления резонансных свойств нижних конечностей при данном заболевании было проведено исследование электромиографического профиля двух симметричных мышц нижних конечностей (обеих прямых мышц бедра и обеих двуглавых мышц бедра) при ходьбе в разном темпе у данной больной. Методика тренировок ходьбы в экзоскелете для больной с рассеянным склерозом опиралась на оценке следующих параметров: общее время тренировки, чистое время ходьбы (т.е. ходьбы без остановок), расстояние, пройденное за сеанс, скорость, темп, длину шага при ходьбе в экзоскелете, общее количество шагов за сеанс. После курса тренировки ходьбы в экзоскелете в сочетании с традиционным лечением препаратами, изменяющими течение рассеянного склероза, у больной отмечается существенное улучшение биомеханической и иннервационной структуры ходьбы, которое проявляется в повышении скорости передвижения, в возрастании амплитуды угловых перемещений в суставах нижних конечностей, в исчезновении явлений цикличности электромиографического профиля мышц, в изменении формы вертикальной составляющей Rz с треугольной или трапециевидной на отчетливую двугорбую наряду с повышением экстремальных значений Rz кривой, в увеличении максимумов электрической активности всех мышц и их концентрации в адекватную

© Котов С.В., Петрушанская К.А., Лиждвой В.Ю., Письменная Е.В., Секирин А.Б., Сутченков И.А., 2020
Котов Сергей Викторович, д.м.н., профессор, Москва
Петрушанская Кира Анатольевна, к.б.н., с.н.с., Москва
Лиждвой Виктория Юрьевна, к.м.н., с.н.с., Москва
Письменная Елена Валентиновна, к.т.н., доцент, с.н.с., Москва
Секирин Алексей Борисович, к.м.н., профессор, Москва
Сутченков Игорь Анатольевич, инженер, Москва

фазу локомоторного цикла, в возрастании средней электрической активности мышц (мощности мышц) при повышении скорости передвижения, в появлении двух ветвей параболы с наличием четкого минимума в кривой суммарного интеграла электрической активности за 10 м пути.

Ключевые слова: рассеянный склероз, экзоскелет, биомеханическая и иннервационная структура ходьбы, электромиографический профиль мышц, явления резонанса при ходьбе.

ВВЕДЕНИЕ

Рассеянный склероз является хроническим аутоимунно-воспалительным нейродегенеративным заболеванием. Ситуация осложняется тем, что дебют данного заболевания происходит обычно в молодом возрасте. По данным Международной федерации обществ больных рассеянным склерозом, в 2000 году в мире было зарегистрировано 1,5 млн таких пациентов, в 2010 году – уже 2 млн, а в 2013-м – 2,3 млн, т.е. только за три года количество больных с рассеянным склерозом увеличилось на 15%. В России насчитывается более 150 тыс. пациентов с этим диагнозом.

Только в Москве проживают порядка 7 тыс. пациентов с рассеянным склерозом. Стоимость лечения этого заболевания очень высока и достигает в европейских странах 50–60 тыс. евро на одного пациента в год [1, 3, 10, 15]. Рассеянный склероз имеет тенденцию к омоложению. Рост заболеваемости рассеянным склерозом происходит одновременно с увеличением процента заболевших подростков и детей (особенно молодых девушек), поэтому эта проблема становится все более и более актуальной.

При рассеянном склерозе отмечается многообразие проявлений и их сочетание: паразезы, спастичность, гемипарезы, мозжечковая атаксия, нейрогенный мочевого пузырь, ретробульбарный неврит, болевой синдром, астенизация, ипохондрия, эйфория, астено-депрессивный синдром, интеллектуально-мнестическое снижение, эмоционально-волевые расстройства. Все это приводит к различным нарушениям функций организма, таким как статико-динамическая, сенсорная, функции выделения и психическая [1,3, 10, 15].

В настоящее время многие аспекты лечения данного заболевания уже хорошо известны. Между тем аспекты двигательной реабилитации по-прежнему остаются малоизученными. Также недостаточно изучена биомеханическая и иннервационная структура ходьбы у больных с рассеянным склерозом. В то же время у больных с рассеянным склерозом отмечаются грубые нарушения ходьбы.

Необходимо отметить, что многие авторы справедливо отмечают, что у больных с рассеянным склерозом очень сложно провести осреднение результатов по разным больным, даже относящимся к одной группе, например, с первично-ремиттирующим течением заболевания [2, 10]. Но как показали наши исследования, оказалось крайне сложно было провести осреднение даже у одного больного, поскольку в течение нескольких шагов одного прохода параметры ходьбы значительно изменялись. В связи с этим задача реабилитации данного контингента больных – не просто увеличить амплитуду движений в суставах ног, повысить опорную и толчковую функции нижних конечностей, усилить работу мышц обеих ног, но и максимально снизить диапазон изменений различных параметров ходьбы от шага к шагу в пределах одного прохода.

Поэтому даже незначительное восстановление функции передвижения у больных с рассеянным склерозом является очень сложной задачей. С нашей точки зрения, одним из наиболее эффективных методов реабилитации данного контингента больных является тренировка ходьбы в экзоскелете [10].

Целью данной работы является клинико-биомеханическое обоснование применения экзоскелета «ЭкзоАтлет» у больных с рассеянным склерозом.

В связи с невозможностью провести осреднение по разным пациентам, нам представляется целесообразным в рамках данной статьи рассмотреть возможность реабилитации пациентов с рассеянным склерозом посредством применения экзоскелета «ЭкзоАтлет» на конкретном примере.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пациентка, возраст 53 года. Диагноз – рассеянный склероз, вторично-прогредиентное течение. Больная находилась на лечении в неврологическом отделении Московского областного научно-исследовательского клинического института (МОНКИ) им. М.Ф. Владимирского с 21.09.2017 г. по 4.10.2017 г. Давность заболевания – 15 лет. Использование препаратов, изменяющих течение рассеянного склероза: 2005–2007 гг. – бетаферон. Прогрессирование заболевания началось с февраля 2007 г. Проходила курс сеансов плазмофереза – с 2007 по 2009 г., с 2009-го назначен фотоферез (1 раз в 6 месяцев).

К настоящему времени пациентка прошла уже 18 курсов фотофереза. Настоящая госпитализация является плановой для проведения курса плазмофереза и тренировки в экзоскелете. На момент поступления оценка по расширенной шкале инвалидизации Куртцке (*EDDS*) – 6,5 баллов. Сила мышц на левой ноге – 4 балла, на правой ноге – 2 балла. Наблюдается умеренная спастичность правой нижней конечности. Пациентка ходит с двухсторонней опорой (две трости). Походка – атактическая. Отмечается раскачивание туловища относительно фронтальной плоскости.

Методы исследования

Пациентке было проведено комплексное биомеханическое и электромиографическое обследование. Для инструментальных исследований был применен комплекс «МБН-Биомеханика». Исследование биомеханических параметров ходьбы включало изучение следующих показателей: основные параметры ходьбы (скорость, темп и длина двойного шага, длительность локомоторного цикла), временные параметры ходьбы (длительность опорной, переносной и двуопорной фаз, коэффициент ритмичности), кинематические параметры ходьбы (угловые перемещения в основных суставах нижних конечностей – тазобедренном, коленном и голеностопном), а также электрическая активность четырех симметричных мышц нижних конечностей в течение локомоторного цикла: передней большеберцовой, медиальной икроножной, прямой бедра и двуглавой бедра.

До и после курса тренировки у пациентки была также исследована электрическая активность двух симметричных мышц нижних конечностей – обеих двуглавых мышц бедра и обеих прямых мышц бедра при ходьбе с разной скоростью – самой медленной, медленной, замедленной, произвольной и быстрой. Помимо электромиографического профиля мышц были исследованы количественные параметры электрической активности мышц, а именно средняя электрическая активность мышц (эквивалентная мощности мышц) и суммарный интеграл электрической активности за 10 м пути (эквивалентный работе мышц с учетом как темпа, так и длины шага).

Исследование динамических параметров ходьбы было проведено посредством силоизмерительных стелек *Tekscan*. По сравнению с использованием традиционной динамографической платформы применение тензометрических стелек дает возможность исследовать вертикальную составляющую R_z опорной реакции в каждом

шаге, а не в одном шаге за весь проход, проанализировать изменения устойчивости и опороспособности по мере адаптации пациентки к ходьбе в экзоскелете, получить коэффициент вариативности – необходимый параметр для оценки степени освоения ходьбы в экзоскелете, и проследить уменьшение опоры на костыли.

Организация тренировки в экзоскелете

В течение двух недель пациентка прошла 10-дневный курс тренировки в экзоскелете. Средняя длительность сеанса не превышала 1 часа, а чистое время ходьбы в экзоскелете (т.е. ходьбы без учета отдыха) – 20–25 минут в связи с быстрой утомляемостью пациентки. Первые 2–3 дня пациентка ходила не больше 15–20 минут, а начиная с 5-го сеанса – 25 минут. При ходьбе в экзоскелете пациентка опиралась на специальную ходилку – роллатор.

При средней длине двойного шага 0,6 м и среднем темпе 40 шаг/мин скорость ходьбы в экзоскелете составляла 0,72 км/ч. Пациентка проходила за сеанс расстояние 300 м, делая при этом 1000 шагов. При тренировке в экзоскелете была необходима помощь двух ассистентов, один из которых управлял экзоскелетом, а второй следил за тем, чтобы пациентка правильно управляла роллатором.

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ИННЕРВАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ХОДЬБЫ ПАЦИЕНТА

Основные параметры ходьбы

У пациентки отмечается резкое уменьшение основных параметров ходьбы по сравнению с нормой. Как видно из табл. 1, средняя скорость передвижения снижается на 48% (0,61 м/с) за счет уменьшения длины шага на 27% (1,04 м) и темпа ходьбы – на 29% (71 шаг/мин).

Также трансформируется временная структура ходьбы (табл. 2). На обеих ногах значительно возрастает длительность опорной фазы: на более пораженной она составляет 73,4%, на менее пораженной 77,5%, и уменьшается длительность переносной фазы соответственно 26,6 и 22,5%. На обеих ногах наблюдается увеличение продолжительности двуопорной фазы в 2 раза (соответственно 25,6 и 25,3%), что свидетельствует о резком снижении устойчивости при ходьбе.

В наибольшей степени изменяются кинематические параметры ходьбы (рис. 1). На правой, более пораженной ноге, в кривой голеностопного угла отмечается эквинус (кривая начинается с отрицательных значений), первое тыльное сгибание резко увеличено, второе подошвенное сгибание редуцировано, что указывает на ослабление отталкивания ноги от опорной поверхности. Второе тыльное сгибание отсутствует.

На более пораженной ноге практически отсутствуют движения в коленном суставе. Отмечаются лишь незначительные колебания угла до 10°. В кривой тазобедренного угла на более пораженной ноге отмечается увеличение угла сгибания в опорную фазу до 35°, максимальное сгибание в опорную фазу происходит на уровне 12% цикла, т.е. сдвигается вправо по временной оси. Разгибание в тазобедренном суставе резко пролонгировано – до 62% цикла, оно выше нормы (–3°), сгибание в переносную фазу составляет 28° и реализуется довольно быстро.

На левой (менее пораженной ноге) отмечается смещение всех экстремальных значений вправо по временной оси. Амплитуда первого и второго подошвенного сгибания резко снижается. Уменьшение первого подошвенного сгибания обусловлено кратковременностью переката через пятку. Первое тыльное сгибание растянуто, кривая голеностопного угла пересекает нулевую линию значительно позже по сравнению с нормой, примерно на уровне 45% локомоторного цикла.

Таблица 1

Основные параметры ходьбы в норме и у пациентки (Д-з: рассеянный склероз)

| Характеристики ходьбы | Норма | Больная | % к норме |
|------------------------|-------|---------|-----------|
| Длительность цикла, с | 1,21 | 1,71 | 141 |
| Длина двойного шага, м | 1,42 | 1,04 | 73 |
| Скорость ходьбы, м/с | 1,17 | 0,61 | 52 |
| Темп ходьбы, шаг/мин | 99 | 70 | 71 |

Таблица 2

Временные параметры ходьбы в норме и у пациентки

| Параметры | Норма | Больная | | | |
|---------------------------------|-------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Более пораж. | | Менее пораж. | |
| | Ср. | Ср. | % к норме | Ср. | % к норме |
| Длительность опорной фазы, % | 62,4 | 73,4 | 118 | 77,5 | 124 |
| Длительность переносной фазы, % | 37,6 | 26,6 | 71 | 22,5 | 60 |
| Длительность двуопорной фазы, % | 12,4 | 25,6 | 206 | 25,3 | 204 |

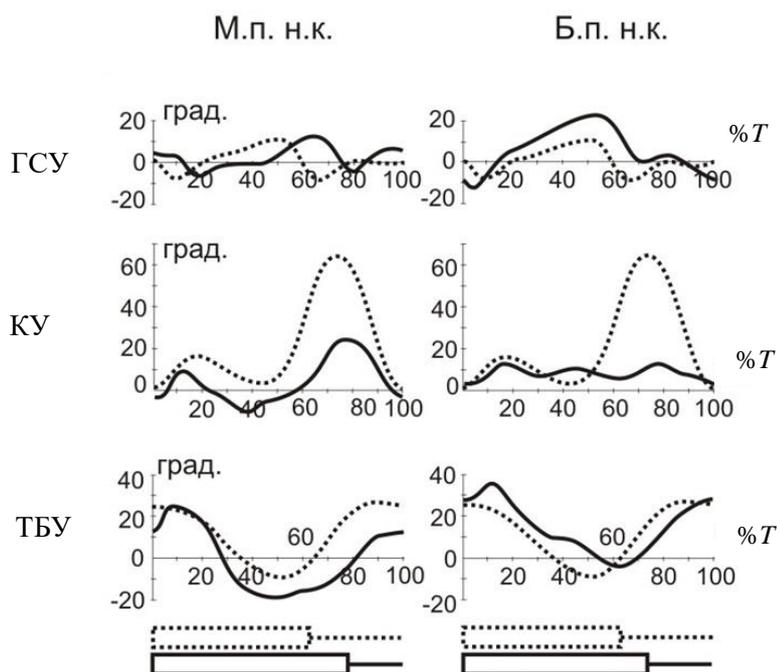


Рис. 1. Кинематические параметры ходьбы в норме и у пациентки с рассеянным склерозом. Пунктирная линия – угловые перемещения в суставах нижних конечностей (в градусах) при ходьбе в норме, сплошная линия – угловые перемещения у пациентки. По оси абсцисс – длительность локомоторного цикла в процентах, по оси ординат – угловые перемещения в градусах. ТБУ – тазобедренный угол; КУ – коленный угол; ГСУ – голеностопный угол; Б.п. н.к. – более пораженная нижняя конечность; М.п. н.к. – менее пораженная нижняя конечность (под графиками – подограммы)

На менее пораженной ноге кривая коленного угла начинается с отрицательных значений, существенно снижено сгибание в опорную фазу (подгибание), что свидетельствует о значительном ослаблении амортизации, затем происходит разгибание в коленном суставе в опорную фазу шага, при этом наблюдается рекурвация (переразгибание в коленном суставе) до 10° , основное сгибание снижено в три раза относительно нормы 23° , оно замедленно, кривая коленного угла пересекает нулевую линию на уровне 60% цикла.

На менее пораженной ноге в кривой тазобедренного угла отмечается незначительный сдвиг экстремума сгибания в опорную фазу вправо по временной оси, затем начинается быстрое и очень продолжительное разгибание в тазобедренном суставе, которое достигает 20° , за которым следует такое же длительное сгибание в тазобедренном суставе. Величина сгибания в переносную фазу снижена в два раза по сравнению с нормой и составляет 10° .

Электрическая активность мышц

На рис. 2. представлена электрическая активность ряда мышц у пациентки. Как видно из этого рисунка, на более пораженной ноге отсутствует активность передней большеберцовой мышцы, отмечается крайне низкая монотонная активность внутренней икроножной мышцы. На менее пораженной ноге (левой ноге) отмечается значительное уменьшение активности икроножной мышцы наряду с ее пролонгированием на всю опорную фазу. Характерно, что активность правой икроножной мышцы снижается в ряде последовательных шагов с 1-го по 4-й (рис. 4).

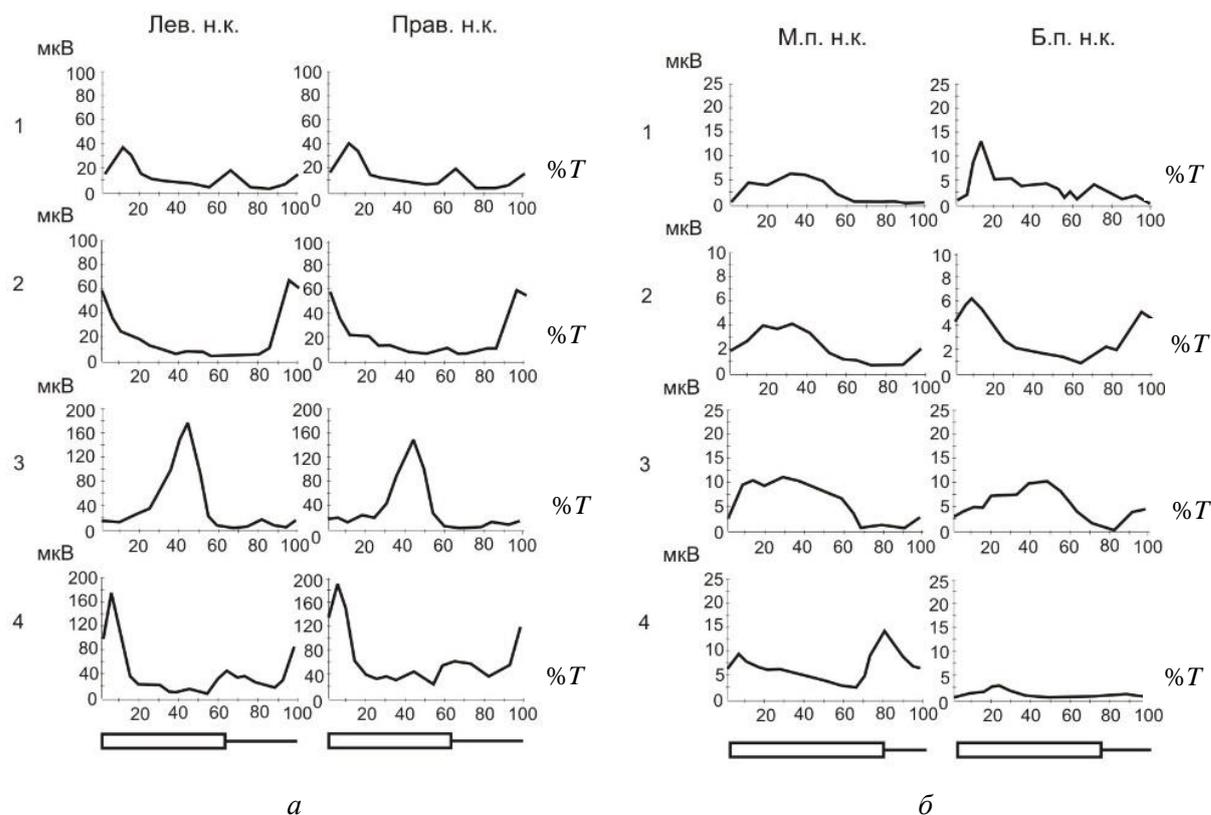


Рис. 2. Электромиографический профиль мышц при ходьбе в норме (а) и у пациентки (б): 1 – прямая мышца бедра, 2 – двуглавая мышца бедра, 3 – внутренняя икроножная мышца, 4 – передняя большеберцовая мышца. По оси абсцисс – длительность локомоторного цикла в %, по оси ординат – электрическая активность мышц в мкВ (остальные обозначения те же, что и на рис. 1)

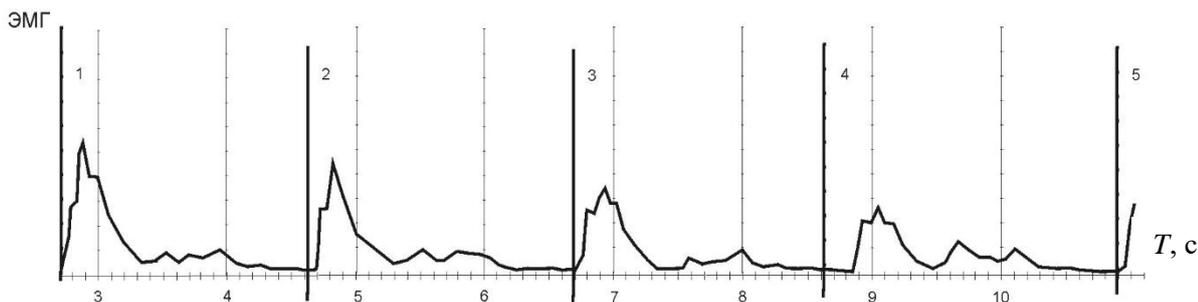


Рис. 3. Электрическая активность левой прямой мышцы бедра в течение нескольких последовательных шагов у пациентки с рассеянным склерозом.

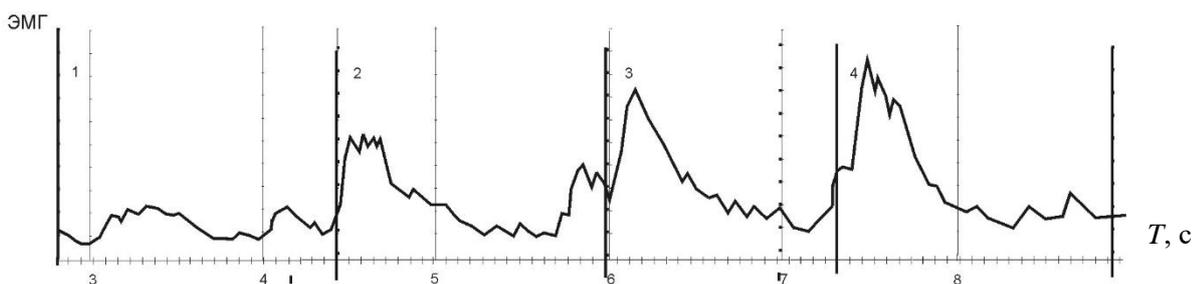


Рис. 4. Электрическая активность правой икроножной мышцы в течение нескольких последовательных шагов у пациентки с рассеянным склерозом.

В то же время активность мышцы-антагониста этой же ноги – передней большеберцовой мышцы – резко снижена, однако в ней имеются два максимума, из которых первый возникает еще в конце переносной фазы ($t = 90\%$ цикла) и достигает максимума в начале опорной фазы ($t = 15\%$ цикла). Этот максимум предназначен для замедления опускания стопы на опорную поверхность. Второй максимум ($55\% < t < 80\%$) способствует тыльному сгибанию в голеностопном суставе (подъему стопы) в переносную фазу шага.

Согласно осредненным данным, на менее пораженной ноге наблюдается значительное уменьшение активности прямой мышцы бедра наряду с ее пролонгированием на всю опорную фазу. При рассмотрении ряда последовательных шагов отмечается снижение активности мышцы от шага к шагу – с 50 до 12 мкВ (рис. 3).

В кривой двуглавой мышцы бедра менее пораженной ноги наблюдается снижение активности и ее пролонгирование на большую часть опорной фазы, однако волна активности завершается раньше, чем активность прямой мышцы бедра, что указывает на то, что разгибание в коленном суставе является более длительным процессом, чем разгибание в тазобедренном суставе, поскольку двуглавая мышца бедра в начале опорной фазы функционирует как разгибатель тазобедренного сустава.

Активность правой двуглавой мышцы бедра резко снижена, тем не менее сохраняется электромиографический профиль, характерный для нормы. Необходимо отметить, что для всех мышц бедра характерно отсутствие второй волны активности, предназначенной для сгибания в коленном суставе (для двуглавой мышцы бедра) и в тазобедренном суставе (для прямой мышцы бедра), что свидетельствует о том, что обе мышцы бедра функционируют у данной больной как односуставные и работают исключительно на проксимальный сустав.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕ КУРСА ТРЕНИРОВКИ

Как видно из табл. 3, после курса тренировки в экзоскелете у больной наблюдается увеличение длины двойного шага на 16% (1,21 м) и темпа ходьбы на 4% (74 шаг/мин), что приводит к увеличению средней скорости передвижения на 23% (0,75 м/с).

Также отмечается улучшение временной структуры ходьбы (табл. 4), но только на менее пораженной ноге, в частности, уменьшается длительность опорной фазы с 77,5 до 63,7%, и, напротив, возрастает длительность переносной фазы с 22,5 до 36,3%. В то же время длительность двухопорной фазы на этой ноге не изменяется. На более пораженной ноге продолжительность опорной и переносной фаз не изменяется, однако значительно уменьшается длительность двухопорной фазы – с 25,6% до 10,9%, что свидетельствует о некотором повышении устойчивости при ходьбе. Также необходимо отметить, что после курса тренировки в экзоскелете снижается вариативность длительности переносной фазы.

Наибольшие изменения происходят в кривых кинематических параметров ходьбы после курса тренировки (рис. 5). Общей особенностью является сдвиг всех кривых вверх по сравнению с исходными данными, что указывает на появление сгибательной позиции во всех суставах обеих нижних конечностей, но особенно в обоих тазобедренных и в коленных суставах менее пораженной ноги.

В кривых обоих голеностопных углов отмечается некоторое увеличение первого тыльного сгибания. В кривой голеностопного угла более пораженной ноги незначительно уменьшается эквинус.

Таблица 3

Основные параметры ходьбы пациентки до и после курса тренировки в экзоскелете

| Характеристики ходьбы | До курса (n = 6) | После курса (n = 6) | % | P |
|------------------------|---------------------|------------------------|-----|---|
| Длительность цикла, с | 1,71 ± 0,03 | 1,62 ± 0,03 | 95 | + |
| Длина двойного шага, м | 1,04 ± 0,03 | 1,21 ± 0,04 | 116 | + |
| Скорость ходьбы, м/с | 0,61 ± 0,02 | 0,75 ± 0,02 | 123 | + |
| Темп ходьбы, шаг/мин | 70 ± 1 | 74 ± 1 | 106 | + |

Примечание: знак «+» означает $P < 0,05$

Таблица 4

Временные параметры ходьбы пациентки с рассеянным склерозом до и после курса тренировки в экзоскелете

| Параметры | Более пораж. нога | | | | Менее пораж. нога | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|-----|---|---------------------|------------------------|-----|---|
| | До курса (n = 6) | После курса (n = 6) | % | P | До курса (n = 6) | После курса (n = 6) | % | P |
| Длительность опорной фазы, % | 73,4 ± 1,3 | 73,5 ± 1,0 | 100 | – | 77,5 ± 1,2 | 63,7 ± 1,2 | 82 | + |
| Длительность переносной фазы, % | 26,6 ± 1,0 | 26,5 ± 0,6 | 100 | – | 22,5 ± 0,8 | 36,3 ± 0,9 | 161 | + |
| Длительность двухопорной фазы, % | 25,6 ± 1,0 | 25,3 ± 0,8 | 98 | – | 25,3 ± 1,0 | 10,9 ± 0,7 | 43 | + |

Примечание: знак «+» означает $P < 0,05$, знак «–» – $P > 0,05$

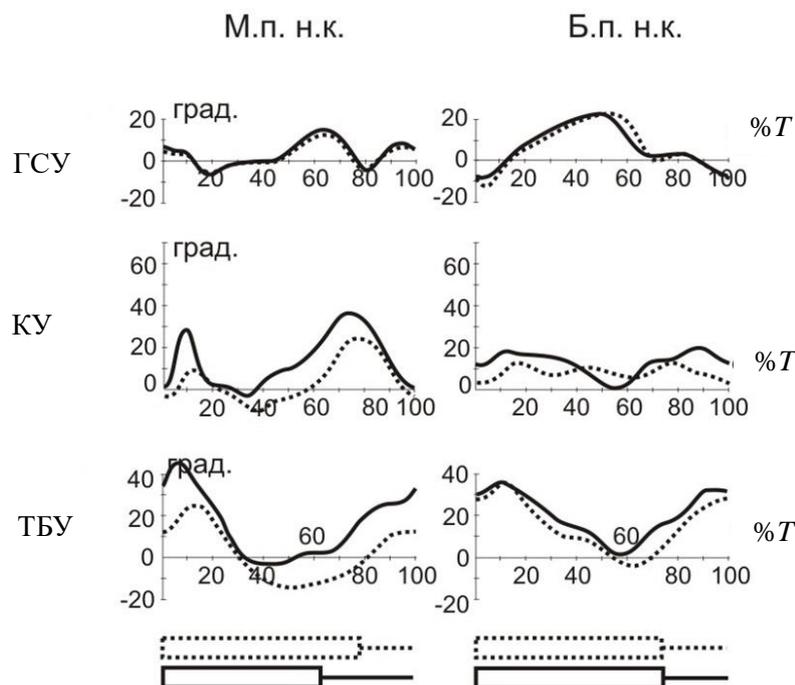


Рис. 5. Кинематические параметры ходьбы пациентки до и после курса тренировки в экзоскелете. Пунктирная линия – угловые перемещения в суставах нижних конечностей до курса; сплошная линия – угловые перемещения после курса тренировки (остальные обозначения те же, что и на рис. 1)

На менее пораженной ноге в кривой коленного угла резко возрастает сгибание в опорную фазу (подгибание) до 28° , разгибание в опорную фазу происходит раньше по сравнению с началом курса и, наконец, значительно повышается величина основного сгибания в коленном суставе с 28 до 38° . Сгибание в коленном суставе в переносную фазу происходит медленнее по сравнению с началом курса.

Такая же картина увеличения угла сгибания наблюдается и в обоих тазобедренных углах. В частности, на менее пораженной ноге после курса тренировки вся кривая резко поднимается вверх от нулевой линии. Сгибание в начале опорной фазы увеличивается до 45° , разгибание достигает лишь 2° . На более пораженной ноге кривая тазобедренного угла также поднимается вверх. Таким образом, после курса тренировки в экзоскелете на обеих ногах четко прослеживается сгибательная позиция в тазобедренном суставе, так как обе кривые располагаются в области положительных значений.

После курса тренировки в экзоскелете отмечается возрастание электрической активности большинства мышц (рис. 6). Активность левой икроножной мышцы резко повышается, появляется отчетливый максимум в начале опорной фазы. Такая же картина заметна и в активности мышц бедра. В активности обеих прямых мышц бедра появляется волна активности в начале опорной фазы. В активности левой двуглавой мышцы бедра значительно увеличивается активность в опорную фазу, и появляется небольшая волна активности в переносную фазу для осуществления сгибания в коленном суставе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ ПРИ ХОДЬБЕ С РАЗНОЙ СКОРОСТЬЮ

С точки зрения авторов, особый интерес представляют исследования ходьбы данной пациентки с разной скоростью. Как показывают исследования А.С. Витензона

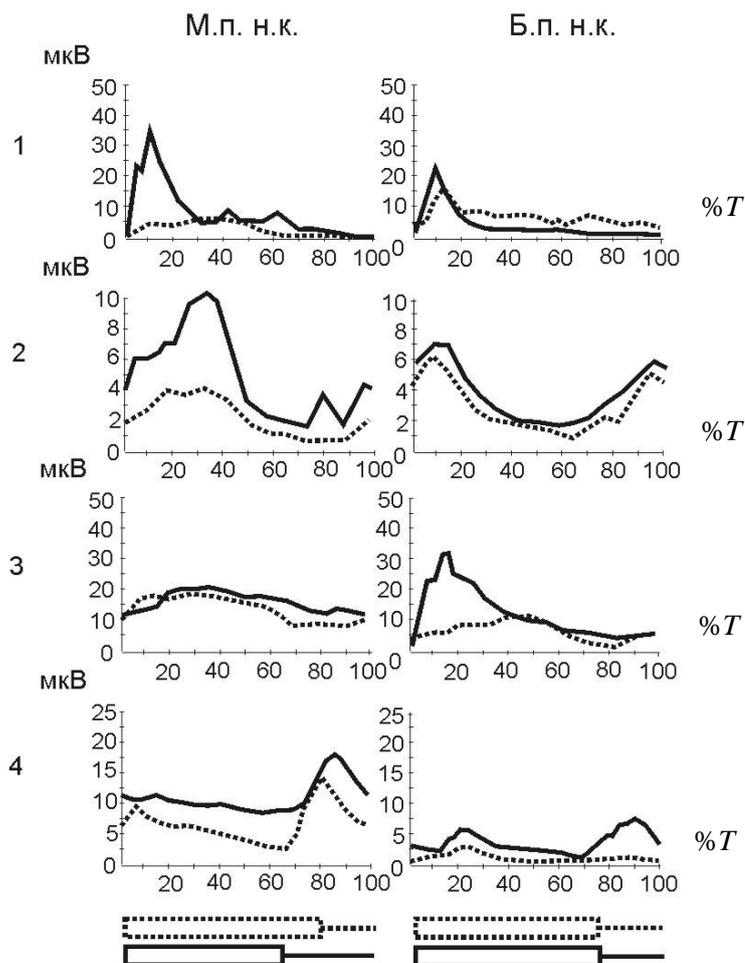


Рис. 6. Электромиографический профиль мышц при ходьбе пациентки до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) курса тренировки в экзоскелете (остальные обозначения те же, что и на рис. 2)

Таблица 5

Основные параметры ходьбы пациента с разной скоростью (Д-3: рассеянный склероз)

| Параметры | Самый медленный | | Медленный | | Замедленный | | Произвольный | | Ускоренный | |
|------------------------|-----------------|-------|-----------|-------|-------------|-------|--------------|-------|------------|-------|
| | До | После | До | После | До | После | До | После | До | После |
| Длительность цикла, с | 4,2 | 5,41 | 3,36 | 3,39 | 2,75 | 2,5 | 2,0 | 2,04 | 1,33 | 1,43 |
| Длина двойного шага, м | 0,73 | 0,94 | 0,98 | 1,04 | 1,08 | 1,10 | 1,17 | 1,20 | 1,17 | 1,40 |
| Скорость ходьбы, м/с | 0,62 | 0,62 | 1,05 | 1,10 | 1,42 | 1,60 | 2,1 | 2,12 | 3,15 | 3,53 |
| Темп, шаг/мин | 29 | 22 | 35 | 35 | 43 | 48 | 60 | 58 | 90 | 83 |

и соавторов, у здоровых людей с повышением скорости ходьбы от 2,1 растет темп ходьбы с 68 до 138 шаг/мин и длина двойного шага с 1,02 до 1,76 м [4–8]. У данной пациентки (табл. 5) диапазон изменений скорости ходьбы сужен – от 0,62 до 3,15 км/ч, при этом длина двойного шага возрастает с 0,73 до 1,17 м, а темп ходьбы – с 28 до 90 шаг/мин. Характерно, что длина двойного шага не изменяется, начиная с произвольного темпа (1,17 м), поэтому при ходьбе в ускоренном темпе повышение скорости ходьбы происходит исключительно за счет увеличения темпа – с 60 до 90 шаг/мин.

Количественные параметры электрической активности мышц до курса тренировки

На рис. 7, *а* представлена средняя электрическая активность прямой мышцы бедра при ходьбе в разном темпе в норме, а на рис. 7, *б* при ходьбе в разном темпе у пациентки.

Зависимость средней электрической активности от темпа ходьбы в норме описывается графиком квадратичной функции (одной ветвью параболы) с наименьшими значениями в области медленного темпа и малой длины шага [4, 5].

Это означает, что мощность, развиваемая мышцами при ходьбе, относительно невелика при медленном и среднем темпах и резко возрастает при быстром темпе. До курса тренировки при ходьбе с произвольной скоростью средняя электрическая активность левой прямой мышцы бедра крайне низкая, максимумы активности нивелированы. С увеличением скорости ходьбы происходит очень незначительное возрастание максимумов активности.

Наибольший интерес представляют зависимости интеграла электромиографии за определенное расстояние (10 м пути) от скорости ходьбы (рис. 8). В норме (рис. 8, *а*) эта зависимость представлена параболой, имеющей две ветви. Минимум кривой в норме проецируется на ось абсцисс в области, которую можно считать оптимальной для средней скорости ходьбы, темпа и длины шага, соответственно 1,11–1,28 м/с, 90–98 шаг/мин, 1,3 м. Эта оптимальная область является достаточно широкой в норме (от 80 до 120 шаг/мин) и представляет собой так называемую «область резонанса» [4–8, 11].

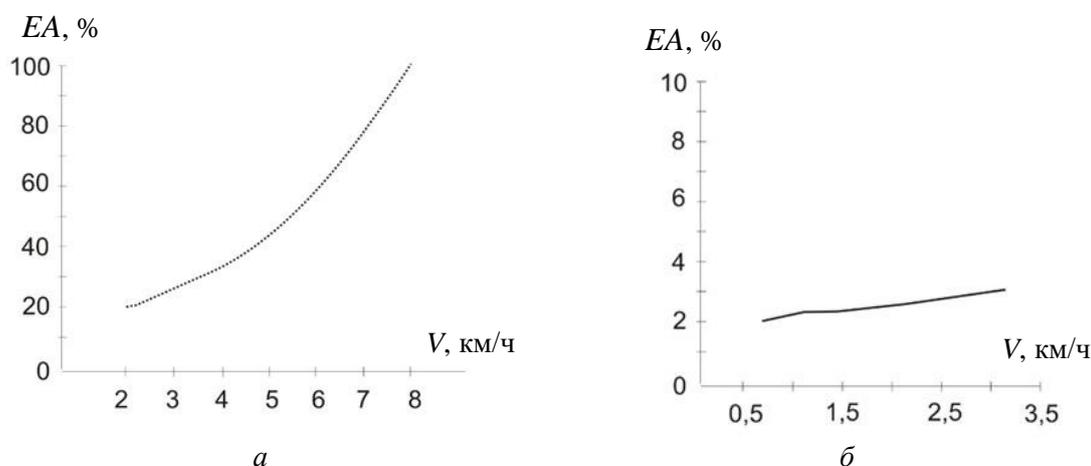


Рис. 7. Средняя электрическая активность (EA) левой прямой мышцы бедра при ходьбе с разной скоростью (V): *а* – в норме; *б* – у пациентки с рассеянным склерозом

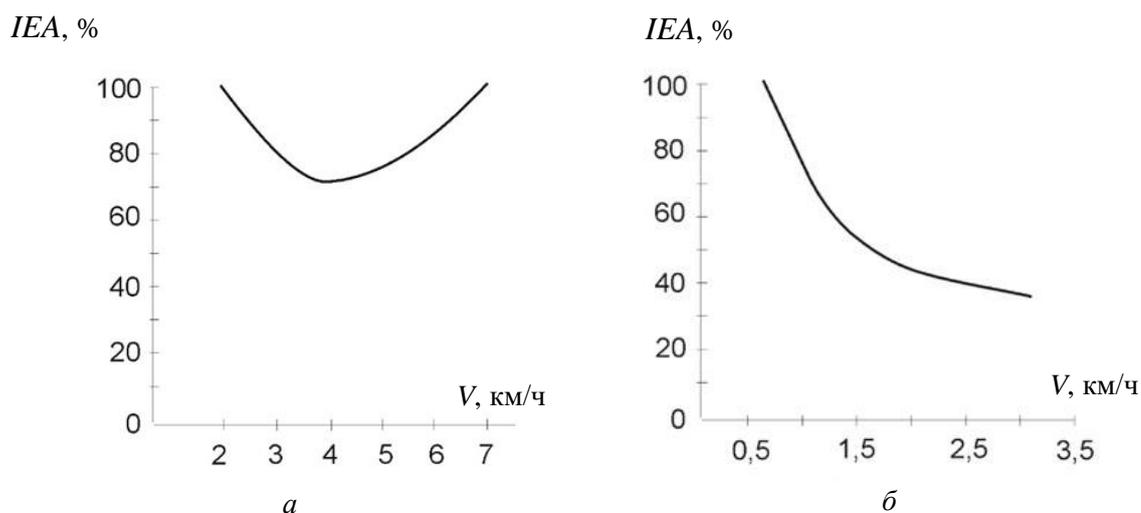


Рис. 8. Суммарный интеграл электрической активности (*IEA*) за 10 м пути левой прямой мышцы бедра при ходьбе с разной скоростью (*V*): *a* – в норме; *б* – у пациентки с рассеянным склерозом

Минимизация активности при произвольной скорости представляет собой результат приспособления частоты действия мышечных сил к собственной частоте колебаний нижних конечностей. В диапазоне медленных темпов ходьбы (60–80 шаг/мин) работа мышц определяется большой длительностью активности, но низкой амплитудой, в диапазоне произвольного темпа (80 – 120 шаг/мин) – ростом амплитуды при сокращении длительности активности, а в диапазоне быстрых темпов (120–160 шаг/мин) – значительным повышением амплитуды и уменьшением длительности активности мышц [4–8].

Точка пересечения кривых длительности и амплитуды электрической активности мышц указывает на величину произвольного, обычно оптимального темпа ходьбы [5 – 8, 11]. У пациентки (рис. 8, *б*) отмечаются следующие изменения данной кривой. Во-первых, вся кривая сдвинута резко влево по временной оси в связи с уменьшением скорости ходьбы и диапазона ее изменений. Во-вторых, в этой кривой невозможно выделить минимум, т.е. произвольную скорость ходьбы. В-третьих, вся кривая расположена ниже по сравнению с нормой.

Количественные характеристики электрической активности мышц при ходьбе после курса тренировки

На рис. 9 представлены изменения средней электрической активности прямой мышцы бедра при ходьбе с разной скоростью до и после курса тренировки в экзоскелете у пациентки. После курса тренировки у данной больной наблюдается значительное увеличение средней электрической активности при повышении темпа с 3 до 17,4 мкВ (от медленного до ускоренного темпа), в особенности при переходе от произвольного к ускоренному темпу локомоции.

Наибольшие изменения происходят в кривой суммарного интеграла за 10 м пути (рис. 10). Во-первых, после курса тренировки в кривой суммарного интеграла за 10 м пути появляются две ветви. Во-вторых, в кривой суммарного интеграла за 10 м пути становится возможным выделить четкий минимум, который соответствует произвольной скорости ходьбы. В-третьих, область, соответствующая минимуму, очень узкая, что свидетельствует о том, что область резонанса крайне незначительная (46–50 шаг/мин). Следовательно, даже нерезкое отклонение от области резонанса приводит к значительному повышению суммарного интеграла. Наконец, в-четвертых, после курса тренировки кривая суммарного интеграла располагается значительно выше, чем в начале курса.

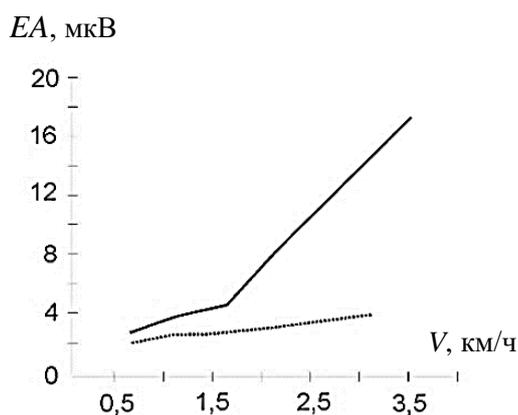


Рис. 9. Средняя электрическая активность (EA) левой прямой мышцы бедра пациентки при ходьбе с разной скоростью (V) до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) курса тренировок в экзоскелете

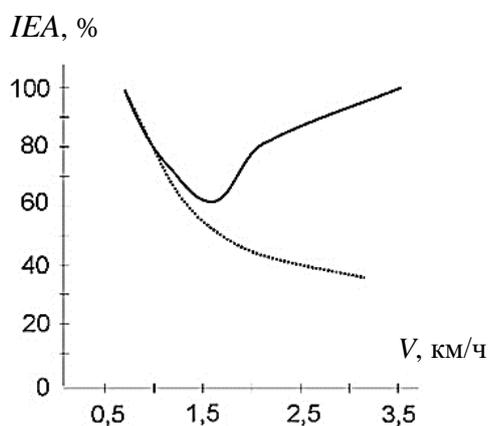


Рис. 10. Суммарный интеграл электрической активности (IEA) левой прямой мышцы бедра за 10 м пути у пациентки при ходьбе с разной скоростью (V) до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) курса тренировок в экзоскелете

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

С нашей точки зрения, обсуждение полученных результатов целесообразно рассмотреть в двух аспектах. Один аспект касается особенностей ходьбы данной больной с рассеянным склерозом. Второй аспект касается результатов курса комплексной реабилитации данной больной посредством применения экзоскелета.

Как уже было сказано, у больных с рассеянным склерозом отмечаются общие черты, свойственные патологической ходьбе. К ним относятся: снижение скорости, уменьшение устойчивости, ослабление опорной и толчковой функций нижних конечностей, резкое снижение электрической активности мышц в течение локомоторного цикла.

Однако у больных с рассеянным склерозом отмечаются и специфические черты, которые характерны только для данного заболевания, а именно циклический характер электромиографического профиля и опорных реакций, вариативность всех параметров (временных, кинематических, динамических и электромиографических), грубое изменение кинематических параметров ходьбы (эквинус стопы и голеностопного сугсава нередко в сочетании с рекурвацией в коленном суставе, в тяжелых случаях — отсутствие движений в коленном суставе, резкое уменьшение основного сгибания в коленном суставе, нередко — отсутствие второго тыльного сгибания в голеностопном

суставе), шаткость походки, треугольная или трапециевидная форма вертикальной составляющей R_z опорной реакции, снижение максимумов электрической активности и их пролонгирование на большую часть опорной фазы, практическое отсутствие изменений средней электрической активности при повышении скорости ходьбы, а также отсутствие второй ветви параболы в кривой суммарного интеграла за 10 м пути при увеличении скорости передвижения.

С нашей точки зрения, наибольший интерес представляют следующие вопросы:

1) циклический характер электромиографического профиля и вертикальной составляющей R_z опорной реакции;

2) изменение электрической активности мышц при разной скорости передвижения.

На рис. 3 представлен электромиографический профиль левой прямой мышцы бедра у данной больной. Как видно из данного рисунка, на протяжении четырех последовательных шагов происходит постепенное снижение максимумов электрической активности мышцы. Поскольку больная смогла сделать ограниченное количество шагов, то можно заметить только часть синусоиды, но даже эта половина указывает на взаимосвязь циклического характера вертикальной составляющей опорной реакции R_z и электромиографического профиля мышц.

Циклический характер электромиографического профиля проявляется в том, что с 1-го по 4-й шаг происходит снижение электрической активности мышц, в частности, на левой прямой мышце бедра активность мышцы снижается с 50 до 12 мкВ.

Как показали исследования С.В. Котова и соавторов, подобные изменения отчетливо заметны также и в кривой вертикальной составляющей опорной реакции R_z у ряда больных с рассеянным склерозом [10]. Как уже было отмечено, циклический характер вертикальной составляющей R_z удастся выявить только в том случае, если мы применяем тензометрические стельки, которые позволяют исследовать все опорные реакции в течение одного прохода при условии, что длина дорожки не менее 15 м.

На рис. 11 представлена вертикальная составляющая опорной реакции R_z у пациентки. Циклический характер вертикальной составляющей опорной реакции R_z у этих больных проявляется в том, что в течение нескольких последовательных шагов (в данном случае 7), составляющих цикл, вначале происходит снижение всех экстремальных значений опорной реакции, а в течение нескольких последующих их увеличение.

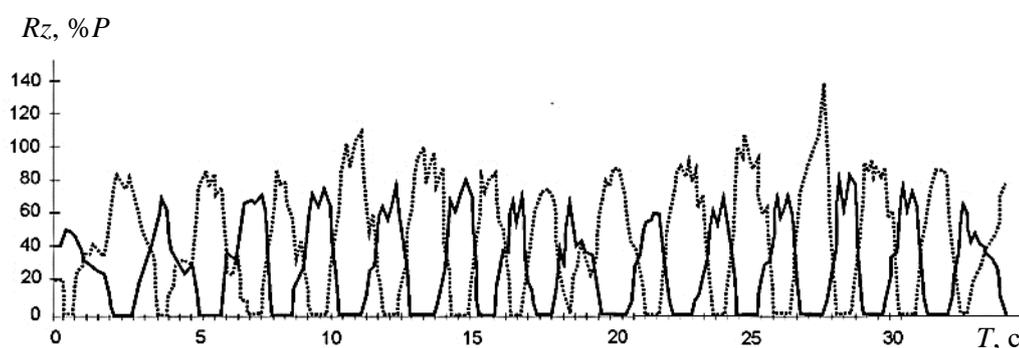


Рис. 11. Вертикальная составляющая R_z опорной реакции у пациентки с рассеянным склерозом на протяжении ряда последовательных шагов. Пунктирная линия – менее пораженная нижняя конечность, сплошная линия – более пораженная нижняя конечность. По оси абсцисс – время прохождения одного прохода, по оси ординат – вертикальная составляющая R_z опорной реакции в процентах к весу тела

Таким образом, в данном случае на протяжении 7 последовательных шагов выявляется синусоидальный характер изменения вертикальной составляющей R_z опорной реакции. В течение нисходящей части этого цикла наблюдается увеличение темпа с 53 до 88 шаг/мин. При этом пик снижения экстремальных значений вертикальной составляющей опорной реакции приходится на 4-й шаг. Длительность этого цикла самая низкая, и, следовательно, к этому шагу достигается самый высокий темп 88 шаг/мин.

В норме увеличение темпа сопровождается уменьшением длительности опорной фазы и увеличением длительности переносной фазы. У пациентки с рассеянным склерозом отмечается противоположное явление. Длительность опорной фазы составляет 96%, а длительность переносной фазы – 4%. Следовательно, на контралатеральной ноге длительность одноопорной фазы, во время которой реализуется минимум опорной реакции, также равна 4%, что указывает на резкое увеличение риска падения больной.

Необходимо отметить, что одной из важнейших задач при передвижении является стабилизация частоты собственных колебаний нижних конечностей, поскольку длительность переносной фазы, во время которой происходят эти колебания, изменяется незначительно. Биомеханическая целесообразность этого явления очевидна: чем меньше отклонения частоты колебаний ноги от частоты ее собственных колебаний, тем меньше энергетическая стоимость ходьбы.

При всех других видах патологической ходьбы при ее замедлении абсолютное время переносной фазы сохранившейся конечности существенно не уменьшается. Последнее определяет незначительное изменение периода собственных колебаний ноги и возможность использования явлений резонанса при ходьбе.

У пациентки отмечаются значительные изменения абсолютной величины длительности переносной фазы в течение ряда последовательных шагов, ее резкая вариативность от 0,46 до 0,92 с, что свидетельствует о том, что резко уменьшается возможность использования явлений резонанса при ходьбе.

Необходимо отметить, что циклический характер электромиографического профиля и вертикальной составляющей R_z опорной реакции наблюдается не только у данной пациентки, но и у ряда других пациентов с рассеянным склерозом. По всей видимости, по мере прогрессирования заболевания количество шагов в таком цикле уменьшается, что свидетельствует о повышении риска падения пациента.

Также можно полагать, что циклический характер опорной реакции является характерной патологической особенностью ходьбы пациентов с рассеянным склерозом.

Второй вопрос касается изменений электромиографических параметров при ходьбе с разной скоростью. Наиболее интересным является практическое отсутствие изменений средней электрической активности прямой мышцы бедра при увеличении скорости ходьбы.

В норме среднюю электрическую активность мышц можно представить как сумму двух слагаемых. Первое слагаемое приблизительно отражает ту долю мощности, которая затрачивается на поддержание устойчивости (преодоление гравитационных сил) при ходьбе [4, 5].

Второе слагаемое, очевидно, показывает ту долю мощности, которая расходуется на приобретение телом определенной скорости при локомоции. Как видно из рис. 7, у данной больной увеличение скорости ходьбы не сопровождается увеличением средней электрической активности мышц. Можно полагать, что столь незначительное увеличение мощности мышц у больной при повышении темпа полностью затрачивается на обеспечение устойчивости.

Особый интерес представляет изменение суммарного интеграла за 10 м пути при повышении скорости ходьбы у данной пациентки. Основной вопрос, который возникает при рассмотрении суммарного интеграла, почему он принимает такую форму, почему отсутствует вторая ветвь параболы и, следовательно, минимум? С точки зрения авторов, невозможность выделить минимум свидетельствует о невозможности выделить область резонанса, т.е. комфортную для пациента область темпов.

Можно полагать, что минимум появляется только в том случае, если увеличение скорости сопровождается повышением средней электрической активности, т.е. мощности мышц. Как показали исследования А.В. Саранцева и А.С. Витензона [11], резонансные свойства нижних конечностей ослабляются или утрачиваются совсем при нарушении подвижности в коленном суставе.

Как видно из рис. 1, у больной практически отсутствуют движения в коленном суставе на более пораженной ноге, что сопровождается резким ослаблением мышц, особенно односуставных. По этой же причине вся кривая располагается ниже по сравнению с нормой, поскольку активность мышцы крайне низкая и мало изменяется при увеличении скорости ходьбы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕ КУРСА ТРЕНИРОВКИ

Как показывают результаты, после курса тренировки в экзоскелете при увеличении скорости ходьбы сохраняется тенденция увеличения темпа – с 22 шаг/мин при самом медленном до 83 шаг/мин – при самом быстром, тем не менее абсолютные значения темпа ниже при каждой скорости, и, кроме того, сохраняется тот же узкий диапазон изменения темпа – 61 шаг/мин, что и до курса тренировки. Также наблюдается возрастание длины двойного шага – с 0,94 до 1,4 м, однако в наибольшей степени при ускоренном темпе.

Таким образом, после курса тренировки в экзоскелете увеличение скорости передвижения происходит преимущественно за счет увеличения длины шага и в меньшей степени – за счет уменьшения длительности локомоторного цикла. Такое изменение является энергетически более выгодным, поскольку увеличение длины шага сопровождается увеличением амплитуды угловых перемещений в суставах нижних конечностей [4–8]. При этом увеличение длины шага способствует перемещению всего тела в пространстве, в то время как повышение темпа ходьбы приводит лишь к ускорению движений нижней конечности.

Как показали исследования угловых перемещений в суставах нижних конечностей, после курса тренировки отмечается возрастание амплитуды угловых перемещений во всех суставах нижних конечностей, появление коленного угла на стороне более пораженной ноги, уменьшение рекурвации в коленном суставе наряду с увеличением основного сгибания в коленном суставе (сгибания в переносную фазу) на стороне менее пораженной ноги, уменьшение эквинуса в голеностопном суставе на обеих ногах, увеличение угла сгибания в правом тазобедренном суставе.

Сама пациентка отмечает большую устойчивость при ходьбе по горизонтальной поверхности и по лестнице, возможность пройти большее расстояние без утомления, меньшее раскачивание туловища относительно фронтальной плоскости при ходьбе. Тем не менее наибольший интерес представляют два вопроса:

- 1) причина появления коленного угла на более пораженной конечности,
- 2) изменение энергетических параметров ходьбы после курса тренировки, а именно средней электрической активности мышц и суммарного интеграла за 10 м пути.

Как видно из рис. 5, после курса тренировки отмечается появление коленного угла на стороне более пораженной ноги. Несмотря на то, что этот угол резко деформирован, в нем присутствуют основные элементы, характерные для коленного

угла, а именно сгибание в опорную фазу (подгибание), разгибание в опорную фазу, основное сгибание (сгибание в переносную фазу) и разгибание в переносную фазу.

Необходимо отметить, что такое изменение коленного угла сопровождается ускорением ходьбы. При этом значительно возрастает подгибание в первую треть опорной фазы и увеличивается амплитуда сгибания в переносную фазу. Подгибание в коленном суставе, по мнению ряда исследователей, играет амортизирующую роль, обуславливая плавность переноса веса тела на опорную поверхность [8, 9, 13, 14].

Увеличение сгибания в переносную фазу при повышении темпа имеет другую природу: оно связано с усилением колебательных свойств нижней конечности (с явлениями резонанса). Последнее возникает тогда, когда частота действия мышечных сил совпадает с частотой собственных колебаний нижней конечности, т.е. при среднем темпе ходьбы.

Как уже было сказано, после курса тренировки в экзоскелете при повышении скорости ходьбы наблюдается значительное повышение средней электрической активности (мощности) прямой мышцы бедра. Такое увеличение возникает тогда, когда возрастает не только та доля мощности, которая затрачивается на поддержание устойчивости, но преимущественно та доля мощности, которая затрачивается на повышение скорости локомоции.

Однако наибольший интерес представляет изменение суммарного интеграла на дистанции 10 м после курса тренировки. Появление двух ветвей параболы связано не только с уменьшением длительности цикла, но прежде всего с повышением средней электрической активности, т.е. мощности мышцы. Появление минимума свидетельствует об усилении колебательных свойств нижних конечностей и возникновении явления резонанса. Тот факт, что область минимума крайне незначительная, свидетельствует о том, что и область комфортного темпа очень узкая, что малейшее отклонение от этой области приводит к увеличению суммарного интеграла.

Об усилении колебательных свойств более пораженной ноги свидетельствует и другой качественный факт – возникновение самого коленного угла и появление важнейшего элемента в этом угле – основного сгибания (сгибания в переносную фазу).

Наконец, третий факт, доказывающий стабилизацию частоты собственных колебаний нижних конечностей при повышении темпа у данной больной, является снижение вариативности длительности переносной фазы при всех темпах ходьбы. Последнее приводит к совпадению частоты вынужденных колебаний нижних конечности с частотой ее собственных колебаний, т.е. к усилению явлений резонанса.

Выводы

1. Для ходьбы больных с рассеянным склерозом характерны общие особенности, свойственные всем больным с двигательными нарушениями, а именно снижение скорости ходьбы, уменьшение амплитуды угловых перемещений в суставах нижних конечностей, ослабление опорной и толчковой функций нижних конечностей, снижение электрической активности мышц в течение локомоторного цикла.

2. Для больных с рассеянным склерозом характерны также специфические черты, присущие только данному заболеванию, а именно циклический характер вертикальной составляющей R_z опорной реакции и электромиографического профиля мышц, грубые изменения кинематических параметров (эквинус в голеностопном суставе нередко в сочетании с рекурвацией в коленном суставе, резкое уменьшение основного сгибания в коленном суставе), шаткость походки, трапециевидная или треугольная форма вертикальной составляющей R_z опорной реакции в связи с использованием дополнительной опоры.

3. Ходьба с разной скоростью является одним из наиболее тонких и точных методов выявления реабилитационного потенциала у больных с рассеянным склерозом.

4. При ходьбе больной с рассеянным склерозом с разной скоростью наблюдается снижение диапазона изменений скорости, темпа и длины шага по сравнению с нормой, крайне низкая монотонная активность ряда мышц, практическое отсутствие изменений средней электрической активности при повышении скорости, отсутствие второй ветви параболы в кривой суммарного интеграла за 10 м пути.

5. В связи с повышенной утомляемостью больных с рассеянным склерозом тренировка больных должна проходить в щадящем режиме, что предполагает уменьшение чистого времени ходьбы до 25 минут, увеличение количества периодов отдыха в случае утомления, в отдельных случаях – уменьшение количества тренировок до 3 раз в неделю.

6. После курса тренировки в экзоскелете у больной отмечаются следующие положительные изменения в биомеханической и иннервационной структуре ходьбы: 1) увеличение средней скорости передвижения, 2) возрастание амплитуды угловых перемещений во всех суставах нижних конечностей, 3) исчезновение циклического характера электромиографического профиля мышц, 4) отчетливое увеличение максимумов активности и их концентрация в адекватную фазу локомоторного цикла, 5) значительное повышение средней электрической активности (мощности мышц) при увеличении скорости передвижения, 6) появление двух ветвей параболы в кривой суммарного интеграла с наличием четкого минимума, что свидетельствует о появлении явлений резонанса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батышева Т.Т., Бойко А.Н., Русина Л.Р. Функциональная двигательная симптоматика рассеянного склероза по данным биомеханических исследований // Медицинская реабилитация пациентов с патологией опорно-двигательной и нервной систем. – М., 2006. – С. 243–245.
2. Батышева Т.Т., Бойко А.Н., Русина Л.Р., Скворцов Д.В. Функциональные проявления рассеянного склероза по данным биомеханических исследований (предварительное сообщение) // Современные технологии восстановительной медицины: материалы VII междунар. конф. – Сочи, 2004. – С. 98–100.
3. Бойко А.Н., Гусева М.Е., Сиверцева С.А. Немедикаментозные методы лечения и образ жизни при рассеянном склерозе – М.: ГЭТОАР-Медиа, 2015. – 239 с.
4. Витензон А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: Зеркало-М, 1998. – 271 с.
5. Витензон А.С. Исследование биомеханических и нейрофизиологических закономерностей нормальной и патологической ходьбы человека: дис. ... д-ра мед. наук. – М, 1982.
6. Витензон А.С., Петрушанская К.А. От естественного к искусственному управлению локомоцией. – М.: НМФ МБН, 2003. – 448 с.
7. Витензон А.С., Саранцев А.В. Зависимость электрической активности мышц нижних конечностей от скорости ходьбы // Протезирование и протезостроение: сб. тр. – 1971. – Вып. 27. – С. 26–39.
8. Витензон А.С., Саранцев А.В., Баскакова Н.В. Электромиографическое изучение явлений резонанса при нормальной и патологической ходьбе // Материалы II Всесоюз. симпозиума по клинической электромиографии. – Тбилиси, 1973. – С. 32–33.
9. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники. – М.: Физкультура и спорт, 1971. – 277 с.
10. Когов С.В., В.Ю. Лиждвой В.Ю., Секирин А.Б., Петрушанская К.А, Письменная Е.В. Эффективность применения экзоскелета EchoAtlet для восстановления функции ходьбы у больных с рассеянным склерозом // Журнал неврологии и психиатрии. – 2017. – № 2. – С. 41–46.
11. Саранцев А.В., Витензон А.С. Явления резонанса при ходьбе человека // Протезирование и протезостроение: сб. тр. – 1973. – Вып. 31. – С. 62–71.
12. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами. Анализ походки. Стабилометрия. – М.: МБН, 2007. – 638 с.
13. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. – М.: МБН, 1996. – 344 с.
14. Славуцкий Я.Л. Физиологические аспекты биоэлектрического управления протезами. – М.: Медицина, 1982. – 291 с.
15. Шмидт Т.Е., Яхно Н.Н. Рассеянный склероз: руководство для врачей. – М.: МедПресс-информ., 2010. – 267 с.

CLINICO-PHYSIOLOGICAL FOUNDATION OF APPLICATION OF EXOSKELETON “EXOATLET” DURING WALKING OF PATIENTS WITH DISSEMINATED SCLEROSIS

S.V. Kotov, K.A. Petrushanskaya, V.J. Lizhdvoj, E.V. Pismennaya,
A.B. Sekirin, I.A. Sutchenkov (Moscow, Russian Federation)

On the basis of investigations of the biomechanical and innervative structure of walking of patients with disseminated sclerosis, authors of this article gave foundation of application of the exoskeleton ExoAtlet in this disease. Earlier, these authors revealed that patients with disseminated sclerosis have some similar disorders, which are characteristic of all patients with diseases of the locomotor system, namely, reduction of walking, velocity, weakening of the support and push functions of the lower extremities, pronounced decrease of maxima of electrical activity of muscles during the locomotor cycle. On the example of the concrete patient, authors established that this patient has the specific peculiarities of walking, characteristic only of this disease. Authors consider that the following peculiarities of walking are specific only to patients with disseminated sclerosis: cyclic character of the vertical component of the ground reaction force R_z and electromiography-pattern of muscles, unsteadiness of gait, triangular or trapezoid shape of the vertical component R_z of the ground reaction force, equinus of the foot and the ankle joint often in combination with recurvation at the knee joint, considerable diminution of the main flexion at the knee joint in one or both lower extremities, reduction of electrical activity of muscles and its prolongation for most part of the stance phase. With the purpose of investigations of the energetic parameters of walking and revealing the resonance properties of the lower extremities in this disease, authors studied electromiography-pattern of two symmetrical muscles of the lower extremities (both mm. rectus femoris and both mm. biceps femoris) during walking at different cadences in this patient. Method of training of walking in the exoskeleton for patient with disseminated sclerosis included the total time of training, time of walking without rest, distance, which patient could walk for the session, walking velocity, cadence and double step length during walking in the exoskeleton, total number of steps for the session. Authors ascertained that considerable improvement of the biomechanical and innervative structure of walking takes place after the course of training in the exoskeleton ExoAtlet in combination with the medicines, changing the course of the disseminated sclerosis, which is revealed in increase of walking velocity, in growth of the amplitude of the angular displacements at the joints of the lower extremities, in disappearance of phenomena of cyclicity of electromiography-pattern, in change of the form of the vertical component R_z of the ground reaction force from the triangular or trapezoid to the clear-cut two-peaked in parallel with increase of the extreme values of R_z curve, in growth of the maximums of activity of all muscles and their concentration in the adequate phase of the locomotor cycle, in rise of the mean electrical activity (muscle capacity) with increase of walking velocity, in appearance of two parabola branches with presence of the distinct minimum in the curve of the summary integral for distance of 10 meters.

Key words: disseminated sclerosis, exoskeleton, biomechanical and innervative structure of walking, electromiography -pattern of muscles, resonance phenomena during walking.

Получено 20 апреля 2020