

В помощь практическому врачу

УДК 617.3

DOI 10.52246/1606-8157_2022_27_1_43

ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ТРЕНИРОВКИ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ В РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ПРОГРАММАХ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ ТРАВМАТОЛОГО-ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

С. В. Королева^{1*}, доктор медицинских наук

¹ ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, 153012, Россия, г. Иваново, Шереметевский просп., д. 8

РЕЗЮМЕ Описана объективная технология тренировки функции ходьбы на основе инерциальных сенсоров с использованием метода биологической обратной связи. Применение беспроводных сенсоров в комплексе «Стэдис» позволяет контролировать показатели ходьбы в режиме реального времени, визуализируя как исходные цифры, так и асимметрию между временными, пространственными и кинематическими параметрами движения нижних конечностей при ходьбе. Предложен этапный алгоритм проведения тренировки, показана эффективность в реабилитационных программах для пациентов травматолого-ортопедического профиля.

Ключевые слова: биокинематика ходьбы, тренировка функции ходьбы, «Стэдис», инерциальные сенсоры, алгоритм.

* Ответственный за переписку (corresponding author): drqueen@mail.ru

Восстановление и расширение возможностей пациента в ходьбе – значимая составляющая эффективности лечения и реабилитации при многих заболеваниях. С точки зрения реабилитации, ходьба может быть маркером восстановления как функции (опорная функция и функция двигательного стереотипа), так и активности (например, при подборе изделий консервативной ортопедической коррекции по параметрам ходьбы).

При этом оценка восстановления функции основывается главным образом на субъективном ощущении (самого пациента и/или врача) расширения или уменьшения двигательной активности больного. В то же время в ортопедической реабилитации первоочередной целью является максимальное структурно-функциональное восстановление, но без включения декомпенсирующих двигательных паттернов. Следует отметить, что существующие традиционные технологии оценки движения не позволяют это осуществить [3].

Нами разработана технология оценки и тренировки функции ходьбы на основе биологической обратной связи (БОС) с использованием инерциальных сенсоров. Работа выполнена на базе кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России и ОБУЗ «Госпиталь ветеранов войн» (г. Иваново), где функционирует отделение реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля.

В процессе реабилитации больных применяются тренировки на тредмиле, при этом используется система инерциальных сенсоров «Стэдис», позволяющая осуществлять контроль показателей ходьбы в режиме реального времени. При этом регистрируются исходные показатели, достижение поставленной тренировочной цели (в %), а также различия временных, пространственных и кинематических параметров нижних конечностей при ходьбе. Дополнительным достоинством беспроводных инерциальных сенсоров

«Стэдис» является возможность отслеживать ходьбу в любых условиях (коридор, палата, зал ЛФК и т. д.), что выгодно отличает предлагаемую технологию от видеосистем.

Методика предполагает анализ *стандартных параметров*: цикл шага (ЦШ), время ЦШ (в с), периоды ЦШ (в %): опоры (ПО), одиночной опоры (ОО), двойной опоры (ДО), начало второй двойной опоры (НВДО); амплитуды сгибания/разгибания таза в трех плоскостях; пространственные параметры ходьбы: длина цикла шага (ДЦШ, см), скорость ходьбы (v , км/ч). Внедрение аппаратно-програмного комплекса (АПК) «Стэдис» предполагает дополнительное использование БОС с предоставлением пациенту результатов обработки полученных данных в ходе тренировки с целью корректировки выявляемых при этом нежелательных отклонений. Выбор мониторируемого в ходе тренировки показателя осуществляется врачом, но программа может «подсказать» выбор параметра, как правило, наиболее асимметричного.

Алгоритм использования АПК «Стэдис» для тренировки функции ходьбы можно поэтапно представить следующим образом.

Этап оценки. Пациенту предлагается ходить по любой ровной поверхности, позволяющей сделать 5–6 шагов по прямой, в удобном, безболезненном темпе. Таким образом врач определяет комфортную скорость ходьбы для конкретного пациента, выбирает наиболее асимметричные показатели фаз ходьбы. Данный этап рекомендуем проводить один раз в неделю – для контроля динамики параметров ходьбы и уточнения изменений комфортной скорости передвижения.

Этап оценки на тредмиле. Пациент встает на беговую дорожку и на скорости 65–70 % от комфортной (определенной на первом этапе) выполняет тест с ходьбой на тредмиле. Автоматически формируемый протокол «Стэдис» «выделяет» наиболее асимметричные показатели параметров ходьбы. Врач, учитывая клинические данные и результаты других методов обследования, выбирает один параметр для тренировки. Не останавливая дорожку, пациент сразу переходит на следующий этап.

Этап тренировки. Пациент продолжает ходить на тредмиле. Выбранный врачом параметр ходьбы предоставляется пациенту в качестве БОС. Для этого применяется монитор со встроенными звуковыми колонками. Может исполь-

зоваться как явная форма БОС (параметр ходьбы выдается на экран пациента в числовой форме – в виде столбиков зеленого и красного цвета), так и неявная (в виде взаимодействия пациента с игровым миром – прогулки по острову, собирания грибов, завоевания Марса и т. д.). На основании предоставленной БОС больной корректирует свою походку («выравнивает» столбики, «собирает» грибы или «отражает нашествие пауков»).

Следует подчеркнуть возможность использования получаемых данных в реабилитационном процессе. Ранее в качестве критерия в шкале реабилитационной маршрутизации (ШРМ) был предложен показатель хромоты по данным плантографии [1, 2]. Аналогичными свойствами обладает показатель ритмичности ходьбы в методике «Стэдис». В отличие от плантографии, предложенная технология дополнительно позволяет оценить включение компенсаторных механизмов опорно-двигательной системы. Например, улучшение симметричности в процессе ходьбы может быть осуществлено за счет декомпенсаторного по сути повышения циркумдукции (вынесения стопы в сторону при ходьбе) или за счет увеличения амплитуды вращения в пояснично-крестцовом отделе позвоночника и т. д., что уже не может рассматриваться как положительный эффект даже при уменьшении болевых ощущений в ходе реабилитации. Такой комплексный подход при оценке процесса тренировки расширяет возможности лечения и восстановления пациентов, обеспечивая структурно-функциональный оптимум с точки зрения биомеханики и биокинematики. Согласно клиническим рекомендациям по реабилитации больных травматолого-ортопедического профиля, уменьшение асимметрии показателей ходьбы рассматривается как предиктор благоприятного исхода ортопедических вмешательств и реабилитационного процесса [2].

Клинический пример использования технологии «Стэдис»

Больная К., 64 года. Диагноз: «Генерализованный остеоартрит. Остеоартрит коленных суставов, III–IV рентгенологическая стадия. Недостаточность функции суставов 2-й степени».

Задача тренировки – уменьшить асимметричность ходьбы по параметру «Одиночная опора» без вовлечения декомпенсаторных механизмов опорно-двигательной системы.

Исходный протокол представлен на *рисунке 1*.

Ритмичность ходьбы у пациентки – 0,80. Но, по результатам анализа АПК «Стэдис», асимметричность ходьбы связана с попыткой «разгрузить» небольшую правую конечность. Левая нога была прооперирована шесть месяцев назад (стрелкой указан параметр «Одиночная опора», который почти в два раза больше нормы на правом коленном суставе). Налицо декомпенсаторный стереотип ходьбы.

Для тренировки был использован игровой вариант БОС (*рис. 1б*) «Прогулка по Марсу». Пациенту на экран были выведены не только столбиковые числовые значения тренируемого параметра «Одиночная опора», но и «мотивирующие жуки», которые «кусали» пациентку, если параметр находился в поле значений «красное».

На *рисунке 2* представлен протокол тренировки и фрагмент сводного протокола через две недели тренировок, продемонстрировано уменьше-

ние асимметрии показателя «Одиночная опора» в «коридоре» нормальных значений. Особенно четко это видно на сводном протоколе (*рис. 2б*) – «Одиночная опора» не только становится более симметричной слева и справа, но и «поднимается» для правой в «коридор» нормальных значений.

Таким образом, использование объективирующей технологии тренировки ходьбы на основе БОС в реабилитационных программах пациентов травматолого-ортопедического профиля позволяет визуализировать параметры стереотипа ходьбы и выбрать контролируемый параметр тренировки. Критериями эффективности тренировки целесообразно считать уменьшение асимметрии выбранного целевого параметра ходьбы, приближение его к нормальным значениям без признаков декомпенсации со стороны других отделов опорно-двигательной системы.

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХОДЬБЫ		Пройдено: 51,5 м	Число шагов: 77/78	Длительность: 00:02:00
Временные параметры ходьбы				
Цикл шага, с	Л 1,3 П 1,3			$\Delta = 0,0$
Шаг, с	Л 0,66 П 0,63			$\Delta = 0,05 (<0,02)$
Частота шага, ш/мин	Л 96 П 96			$\Delta = 0$
Ритмичность ходьбы	0,80			
Число шагов за 100 метров	266			
Пространственные параметры ходьбы				
Длина цикла шага, см	75			
Скорость ходьбы, км/ч	2,18			
Высота подъема стопы, см	Л 10 П 9			$\Delta = 1 (<3)$
Циркумдукция, см	Л 2 П 3			$\Delta = 1 (<1)$
Фазы ходьбы				
Период переноса, %	Л 34,9 П 30,9			$\Delta = 4,0 (<2,2)$
Период опоры, %	Л 65,1 П 69,1			$\Delta = 4,0 (<2,2)$
Одиночная опора, %	Л 30,6 П 35,1			$\Delta = 4,5 (<2,2)$
Двойная опора, %	Л 64,5 П 64,0			$\Delta = 0,5$
Первая двойная опора, %	Л 17,1 П 16,7			$\Delta = 0,7 (<1,7)$
Вторая двойная опора, %	Л 17,1 П 17,3			$\Delta = 0,2 (<1,7)$
Начало второй двойной опоры, %	Л -18,0 П >1,6			$\Delta = 3,8 (<2,4)$
Кинематические параметры. Повороты таза				

а

б



Рис. 1. Протокол тренировки на тредмиле: а – исходный протокол. Стрелкой указан целевой параметр тренировки (пояснения в тексте); б – экран монитора при игровом варианте биологической обратной связи (красный столбик – невыполнение задачи по левой конечности, зеленый – выполнение задачи по правой конечности; подползающий «паук» «укусит» слева)

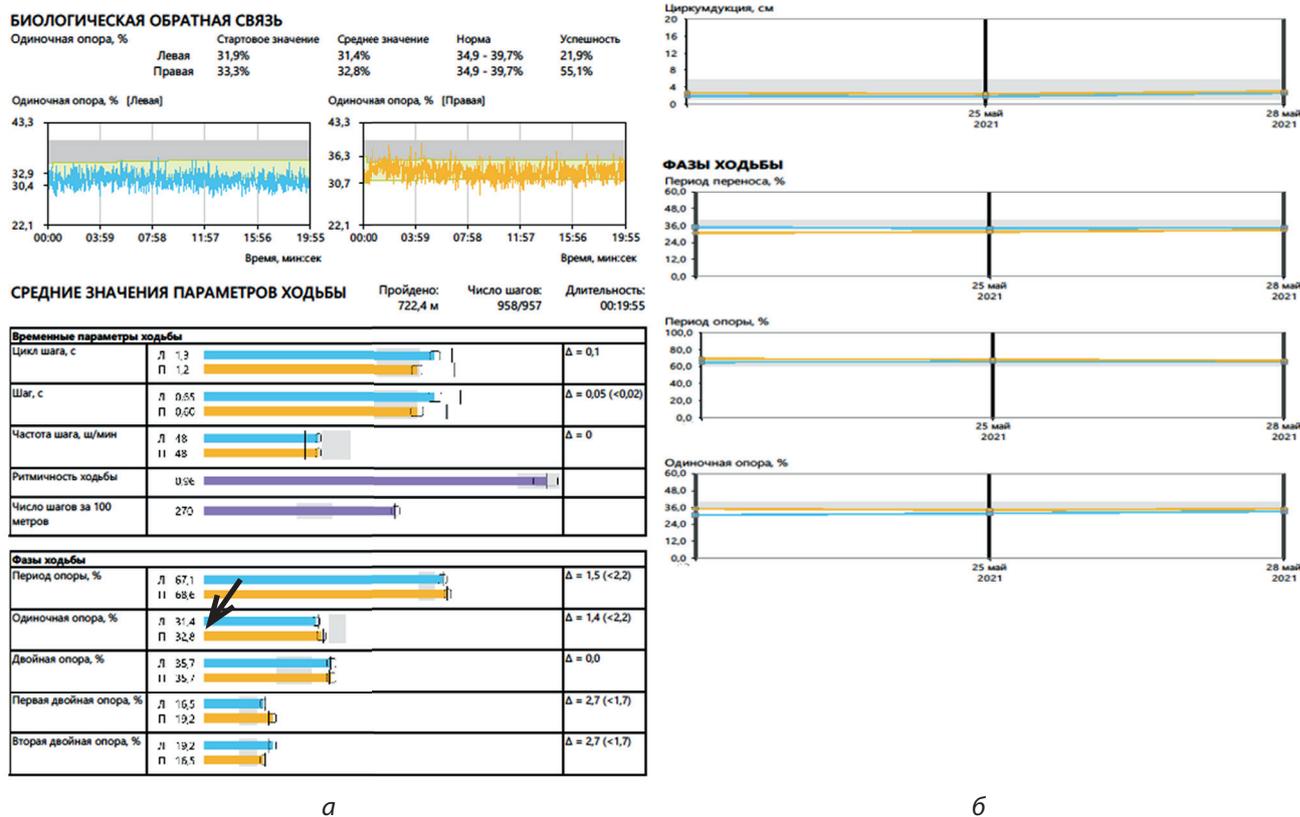


Рис. 2. Фрагменты протокола тренировки (а) и сводного протокола (б). Стрелкой указан тренируемый параметр («Однoчная опора»)

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыкунов М.Б. Реабилитационный диагноз при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий Международной классификации функционирования // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2019;2(2):107-125.
2. Пономаренко Г.Н., Ковлен Д.В.. Физическая и реабилитационная медицина. Клинические рекомендации, основанные на доказательствах; под ред. А.Н. Разумова. Москва: Наука; 2020:248.
3. Liebensteiner MC, Herten A, Gstoettner M, Thaler M, Krismer M, Bach CM. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty. Knee. 2008;15(6):461-466. [https://doi: 10.1016/j.knee.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.07.001).

TECHNOLOGY OF INSTRUMENTAL TRAINING OF WALKING FUNCTION IN REHABILITATION PROGRAMS IN PATIENTS OF TRAUMATOLOGICAL&ORTHOPEDIC PROFILES

S. V. Korolyova

ABSTRACT The objective technology of walking function training based upon inertial sensors with usage of biological feed back technique is described. The application of wireless sensors in “Stadis” complex allows to control walking parameters in real time visualizing both initial numbers and the asymmetry between temporary, spatial and kinematic parameters of lower limbs’ motion in walking. Step-by-step algorithm for training is suggested, its efficacy in rehabilitation programs for patients of traumatological&orthopedic profiles is demonstrated.

Key words: walking biokinematics, walking function training, «Stadis», inertial sensors, algorithm.