

ЭКЗОРЕАБИЛИТАЦИЯ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЕЙ

Учебно-методическое пособие

Шмонин А.А., Лебедев П.В.

Санкт-Петербург, 2024



Авторский коллектив:

Шмонин Алексей Андреевич - д.м.н., врач по лечебной физкультуре и спортивной медицине, врач физической и реабилитационной медицины, невролог, доцент кафедры патофизиологии с курсом патофизиологии ПСПбГМУ им акад. И. П. Павлова (Санкт-Петербург).

Лебедев Павел Владиславович – врач по лечебной физкультуре и спортивной медицине, врач физической и реабилитационной медицины реабилитационного центра Альмадея (Санкт-Петербург).

Учебно-методическое пособие одобрено ученым советом факультета постдипломного образования и цикловой методической комиссией №9 ПСПбГМУ им акад. И. П. Павлова
27.12.2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕНИРОВКИ НА ЭКЗОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ	11
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЗАНЯТИЙ НА ЭКЗОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ	23
ГЛАВА 3. ОБЗОР КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ РАЗНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	73
ПРИЛОЖЕНИЯ	81



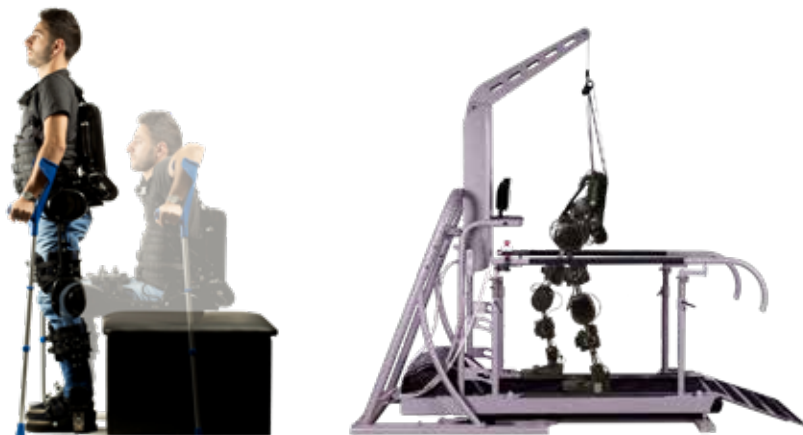
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД	- артериальное давление
ДЦП	- детский церебральный паралич
ЛФК	- лечебная физкультура
ОНМК	- острое нарушение мозгового кровообращения
ПНФ	- проприоцептивная нейромышечная фасилитация
РС	- рассеянный склероз
ФРМ	- физическая и реабилитационная медицина
ФЭС	- функциональная электростимуляция
ЦНС	- центральная нервная система
ЭМГ	- электронейромиография
ЭС	- электростимуляция
FIM	- functional independence measure
WHO	- world health organization

ВВЕДЕНИЕ

Реабилитация – это комплекс мер, направленных на помощь людям с ограниченными возможностями в достижении и поддержании оптимального функционирования во взаимодействии со своей средой [European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance 2018]. Основные принципы новой модели реабилитации описан в Белой книге физической и реабилитационной медицины в Европе [European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance 2018]. Инвалидизация (ограничение функционирования) человека может наступать по разным причинам, связанным с нарушением физиологических функций, повреждением структур организма, эмоциональным состоянием, убеждениями человека и факторами внешней среды. Заболевания, о которых пойдет речь в данном пособии (спинальная травма, инсульт, черепно-мозговая травма и другие), являются причиной инвалидизации человека, так как у него возникают проблемы с мобильностью из-за слабости, спастичности, нарушения чувствительности, неглекта и других причин.

Одной из важных проблем современной реабилитации является восстановление походки [WHO, World report on disability, 2011]. Ходьба – ключ ко многим активностям в реабилитации. Восстанавливая ходьбу, мы даем возможность восстановиться самообслуживание, бытовую жизнь, общение и даже возвращение на прежнюю работу. Восстановление ходьбы – приоритетная задача реабилитации. Согласно российским и международным рекомендациям для восстановления ходьбы применяются различные методики [Belda-Lois J.M. et al 2011]. Среди них наибольшее распространение получили методы нейромышечного обучения (к примеру, концепция Бобат или ПНФ) тренировка ходьбы на тредмиле с разгрузкой веса, роботизированная реабилитация и многое другое. Применение биологической обратной связи имеет долгую историю и занимает свое место в качестве дополнительной методики при восстановлении ходьбы. Современные исследования показывают



эффективность применения функциональной электростимуляции и робот-ассистированной ходьбы.

Роботизированная реабилитация эффективна по ряду причин. Среди них: возможность дозирования двигательной активности, объективного количественного контроля задаваемых параметром ходьбы, более высокий уровень мотивации у пациентов, возможность сочетать роботизированную ходьбу с электростимуляцией и биологической обратной связью, что позволяет получить преимущества и этих методов реабилитации.

Экзорееабилитация – это реабилитация с применением экзоскелетов. Экзоскелеты – это разновидность роботизированной реабилитации, когда осуществляется поддержка слабых фаз движения и слабых мышц за счёт внешнего каркаса и приводящих частей. Существует несколько типов экзоскелетов, в том числе экзоскелеты для восстановления ходьбы. На мировом рынке представлено много различных моделей экзоскелетов, однако суть их работа в целом схожая. При ходьбе в экзоскелете пациент использует четыре опоры (две ноги, два костыля). В России был разработан экзоскелет E-helper, который имеет две модификации – для физических лиц (личного пользования) и модель для применения в реабилитационных учреждениях. E-helper может быть синхронизирован с тредмиллом Реатерра, специально

сконструированным для применения с экзоскелетом, может работать совместно с рельсовой системой разгрузки веса, а также с виртуальной средой.

Согласно данным исследований применение экзоскелета в реабилитации имеет прочные основания в отношении эффективности и безопасности при многих заболеваниях нервной системы (ОНМК, ДЦП, спинальная травма, болезнь Паркинсона, черепно-мозговая травма, рассеянный склероз).

В настоящее время все большую исследовательскую базу и распространенность в клинической практике получает совместное применение экзоскелета и функциональной электростимуляции [Inoue J. et al 2022].

Электростимуляция – это реабилитационная технология, которая использует электрический ток для стимуляции сокращения мышц посредством наложенных электродов с целью увеличения мышечной силы в определенные фазы двигательного акта. Электростимуляция применяется с середины шестидесятих годов прошлого века. Она имеет ряд преимуществ. Прежде всего довольно проста в применении – электроды накладываются поверхностно, то есть процедура неинвазивная. Она эффективна для рекрутирования слабых мышечных волокон в двигательный акт согласно заданной специалистом схемы. Величина стимуляции может быть тонко настроена, как и количество вовлекаемых мышечных групп.

Электростимуляция мышц может осуществляться в покое, а также в процессе передвижения. Эффекты электростимуляции в покое ограничены сенсорным воздействием (афферентацией), улучшением кровообращения в зоне стимуляции, трофики мышц, кожи, подкожной клетчатки. Однако такой способ воздействия практически не влияет на восстановление утраченной двигательной функции (моторного контроля над мышцами), так как не формируется образ движения. Мозг в данном случае может оказаться пассивным получателем информации и не обучается алгоритму правильного сокращения мышц и движению.

Когда человек ходит в экзоскелете не все ослабленные мышцы сокращаются, что затрудняет их восстановление. В связи с этим возник метод электростимуляции в ходе локомоции, или функциональная

электростимуляция. Впервые её применил английский врач Liberson в 1961 году.

Функциональная электростимуляция гораздо эффективнее в отношении восстановления двигательного навыка [Доценко В.И. и соавт., 2012], однако имеет ряд ограничений. Во-первых, пациент должен иметь достаточную силу в конечностях, чтобы осуществлять движение, с которым и будет синхронизирована стимуляция. Во-вторых, высокая общая утомляемость ряда пациентов уменьшает эффективное время занятий. Такое же ограничение вносит высокая утомляемость отдельных мышечных групп.

Для повышения эффективности реабилитации в России была разработана технология совмещения функционала экзоскелета и ФЭС.

Применение экзоскелета совместно с электростимуляцией лишено этих ограничений. Пациент со слабостью в ногах может ходить благодаря работе моторов экзоскелета, одновременно получая синхронную электростимуляцию.

В модели экзоскелета E-helper реализована функция инициации шага по электромиографической активности мышц. То есть имеется возможность применять электромиографию, совмещенную с экзоскелетом, в качестве биологически обратной связи. Как показывают современные исследования, применение биологической обратной связи имеет чрезвычайно позитивное влияние на восстановление моторного контроля над мышцами в процессе движения.

Электростимуляция усиливает афферентацию, повышает нейропластичность в ходе занятия. Система электростимуляции и ЭМГ-контроля имеет 8 или 16 каналов (в разных модификациях). Специальные датчики определяют положение конечности в пространстве, поэтому стимуляция осуществляется в нужную фазу ходьбы. Карту стимуляции в разные фазы ходьбы специалист по физической реабилитации или врач ФРМ устанавливают с помощью компьютерного планшета. Рассматриваемое в пособии устройство предоставляет большие возможности для индивидуального подбора настроек электростимуляции, в связи с чем специалисту необходимо понимать нейрофизиологические основы восстановления в ходе тренировок, принципы работы аппарата, а также принимать во внимание все аспекты здоровья пациента, выявленные на этапе диагностики.

“



1



НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕНИРОВКИ НА ЭКЗОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕНИРОВКИ НА ЭКСОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ

Чтобы понимать нейрофизиологический смысл занятия на экзоскелете с ФЭС и ЭМГ-контролем, следует вспомнить ряд понятий. А.С. Витензон в описании принципов работы функциональной электростимуляции говорит о таком явлении, как дефицит мышечной функции. Его причиной могут являться повреждение супраспинальных проводников и центральных мотонейронов, периферического мотонейрона, снижение афферентации, а также повреждение самой мышцы (например, вследствие травмы, или операции). Суть понятия приближена к более распространенному термину – нарушение моторного контроля. Теория моторного контроля описана в широко известной книге американского ученого Марка Латаша «Biomechanics and Motor Control: Defining Central Concepts». Теория моторного контроля последовательно включает в себя все ранее приводимые модели описания физиологии двигательного акта: рефлекс, препрограммированные реакции, эфферентное копирование, центральный генератор паттерна, моторная синергия, моторная программа и поза. Для простоты можно выделить несколько компонентов моторного контроля:

1. Узнавание стимула
2. Процессинг (обработка, анализ) стимула в центральной нервной системе
3. Формирование ответа (моторного плана)
4. Программирование ответа (составление моторной программы)
5. Исполнение ответа
6. Контроль по механизму обратной связи
7. Коррекция программы за счет афферентной информации (происходит непрерывно на протяжении всего двигательного акта)

Как видим, движение начинается с узнавания стимула, то есть афферентации (поступления информации от периферических рецепторов в ЦНС). Коррекция двигательного акта также происходит благодаря непрерывной афферентации. Изменение положения конечности, суставных углов в процессе движения непрерывно улавливается центральной нервной системой и на основании этой информации происходит включение в движение новых двигательных единиц. Это естественная, обусловленная физиологией коррекция движения. ФЭС в нужную фазу ходьбы после предварительной настройки специалистом стимулирует требуемую мышцу. Искусственная коррекция движения не заменяет, а дополняет естественную, облегчая восстановление двигательного акта, запуская процессы нейропластичности и рекрутирования слабых звеньев всей цепочки элементов, приводящих к движению.

На каком уровне может случиться нарушение моторного контроля?

- Нарушение в центральной или периферической нервной системе
- На уровне скелета и мышц
- На уровне сенсорной стимуляции (афферентации)
- Когнитивные и поведенческие расстройства
- Вторичные нарушения вследствие иммобилизации, снижения активности (уменьшение объема мышцы, контрактура, укорочение мышцы)
- Ограничения в решении задач
- Ограничения со стороны среды

Понятие о нарушении моторного контроля более сложное и глубокое, чем дефицит мышечной функции. Реабилитация пациентов с нарушением моторного контроля непременно носит мультидисциплинарный характер, так как пытаюсь восстанавливать

мобильность пациентов с помощью только физической реабилитации, механических устройств, мы можем упускать из виду другие причины нарушения движения (психологические, со стороны среды, разученная активность). Приведем несколько примеров для лучшего понимания этого момента. Представим себе пациента после спинальной травмы, поступившего на курс реабилитации. Одной из основных проблем такого пациента является низкий уровень мобильности – невозможность ходить. Однако имеет низкую мотивацию к восстановлению по причине развившегося депрессивного синдрома на фоне посттравматического стрессового расстройства или проблем, начавшихся в браке. В таком случае курс реабилитации может иметь низкую эффективность. Пациент будет нуждаться в диагностике и консультировании клиническим психологом. Как минимум, команде специалистов, которая работает с таким пациентом, требуется понимание стратегии общения с депрессивным больным, объемный взгляд на психологическую составляющую здоровья для лучшего прогнозирования исхода курса реабилитации, постановки реабилитационной цели, задач курса. В таком случае в команде эрготерапевт (специалист по эргореабилитации) и психолог работают с пациентом в том числе и на восстановление мобильности. Специалист по эргореабилитации (эрготерапевт) поможет тренировать конкретные жизненные активности – прием пищи, личная гигиена, вопросы самообслуживания. Повышение уровня самостоятельности в бытовых вопросах помогает пациенту преодолевать депрессивное настроение, стать менее зависимым от окружающих.

В ходе физической реабилитации для восстановления двигательного навыка применяется моторное научение, состоящие из следующих стадий:

- **Когнитивная.** Эта стадия отвечает на вопрос – что делать. Мозг формирует моторный план.
- **Ассоциативная** – отвечает на вопрос как делать. Происходит тонкая настройка двигательных паттернов.
- **Автоматическая** – отвечает на вопрос как достичь успеха. Контроль со стороны когниции минимальный. Формируется навык, а человек способен помимо этой задачи выполнять побочные действия.

Стадии моторного обучения важно помнить, так как в начале занятий на экзоскелете мы активно пользуемся приемами когнитивного контроля движения. То есть объясняем словами человеку, как следует поддерживать позу, вставать, управлять экзоскелетом. Первоначально пациент тратит большие когнитивные усилия на обеспечение этого контроля. Нередко страх, боль, другие отвлекающие факторы (даже происшествия в течение дня, недели, индивидуальные установки пациента) могут нарушить моторное научение, уменьшить эффективность занятий на экзоскелете из-за когнитивного утомления, снижения сознательного контроля. Наиболее эффективно моторное научение протекает тогда, когда человек получает максимальное число корректных афферентных стимулов, сообщающих мозгу о качестве совершенного им движения. Это одна из причин высокой эффективности биологически обратной связи. Афферентация запускает двигательный акт, является основой коррекции двигательной программы на всем протяжении движения. Когда человек совершает мышечное усилие, а датчик ЭМГ-контроля регистрирует мышечную активность, этот стимул обрабатывается компьютером устройства, а затем происходит инициация шага самим экзоскелетом. Таким образом, для инициации шага достаточно всего лишь электрической активности мышцы. Сама мышца может быть очень слабой, чтобы совершить движение. Тем не менее, полученный результат в виде совершенного шага является положительным подкреплением для мозга, способствует восстановлению нервного контроля над слабой группой мышц.

Итак, подводя итогу вышесказанному, можно выделить два основных физиологических принципа, лежащих в основе восстановления движения благодаря применению экзоскелета с ФЭС и ЭМГ-контролем:

- 1.** Увеличение афферентации в виде электрической стимуляции мышцы в нужную фазу ходьбы, что помогает инициировать сокращение мышцы, а также корректировать включение двигательных единиц на протяжении всего движения.
- 2.** Положительная обратная связь в виде совершаемого экзоскелетом шага при включении режима инициации

шага по ЭМГ-контролю, что увеличивает эффективность моторного научения, является по сути тренажером с элементом биологической обратной связи.

Дополнительные положительные эффекты от функциональной электростимуляции приведены в обзоре под авторством коллектива Гурьяновой Е.А. от 2020 года:

- Уменьшение/задержка развития мышечной атрофии
- Улучшение кровообращения в нижней конечности
- Снижение мышечного тонуса
- Поддержание/увеличение плотности костной ткани
- Повышение выносливости отдельных мышечных групп

Остается открытым вопрос: на чем основывается представление о том, в какой момент следует стимулировать мышцу? Для ответа на этот вопрос и понимания схемы электростимуляции, предложенной Витензоном, следует представлять себе модель нормальной активности мышц при ходьбе. Представим описание такой модели. Она приведена во множестве учебных руководств по физической реабилитации.

Цикл ходьбы представляет собой последовательность движений от касания одной ногой опоры до нового касания этой ногой той же опоры. Ходьбу можно разделить на две большие фазы – переноса и опоры, которые в свою очередь также подразделяются на периоды (рисунок 1).

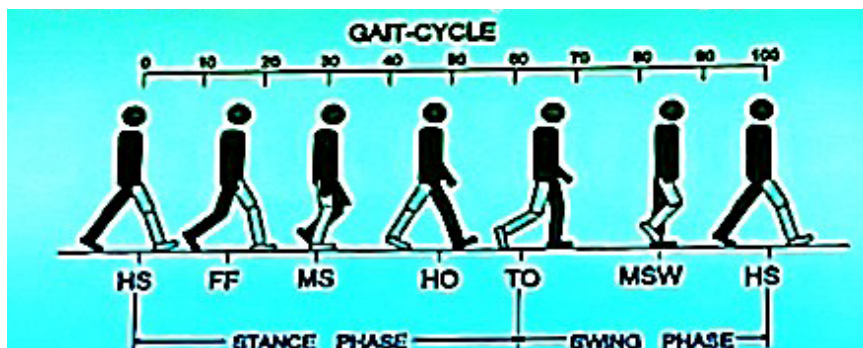


Рис. 1: Цикл походки. Фаза опоры. Фаза переноса.

ФАЗА ОПОРЫ:

1. В начале опоры пятка ударяется о плоскость, что контролируется напряжением дорсифлексоров стопы в эксцентрическом режиме, сильным напряжением квадрицепса, эксцентрической активностью больших ягодичных мышц и мышц задней поверхности бедра.
2. Реакция опоры. В этот момент происходит перенос массы тела на опорную конечность. Происходит сокращение дорсифлексоров стопы в концентрическом режиме, активность плантофлексоров стопы в эксцентрическом режиме. Активность мышц задней поверхности бедра падает, нарастает эксцентрическая активность квадрицепса бедра. Вокруг тазобедренного сустава происходит напряжение большой ягодичной мышцы и большой приводящей мышцы бедра.
3. Середина опоры. Вес тела сместился на опорную ногу. Происходит концентрическое сокращение передней большеберцовой мышцы, эксцентрическая активность камбаловидной мышцы. Квадрицепс бедра напряжен в эксцентрическом режиме, а затем при замыкании коленного сустава расслабляется. Вокруг тазобедренного сустава наиболее важна активность средней ягодичной мышцы, которая предотвращает заваливание таза на противоположной стороне (симптом Тренделенбурга).
4. Окончание опоры. Из дорсифлексии в 10 градусов стопа переходит в положении плантофлексии 5 градусов. Концентрическая активность плантофлексоров стопы. Колено замкнуто в разогнутом положении. Стабильно в основном за счет связочного аппарата и задней капсулы коленного сустава. Бедро пассивно за счет смещения центра массы тела разгибается. Подвздошно-поясничная мышца растягивается. Это предрастяжение важно, так как рефлекторно усиливает сокращение сгибателей бедра в последующую фазу.

ФАЗА ПЕРЕНОСА:

- 1.** Пре-перенос. Происходит мощное концентрическое сокращение плантофлексоров стопы. Колено сгибается в основном пассивно, активно концентрически сокращаются сгибатели бедра (подвздошно-поясничные мышцы, квадрицепс бедра).
- 2.** Начало переноса. Концентрически сокращаются дорсифлексоры стопы. Колено сгибается до 60 градусов, концентрически активны бицепс бедра, портняжная и тонкая мышцы – особенно на высоких скоростях. Концентрически сокращается подвздошно-поясничная мышца, сгибая бедро до 20 градусов. Также активны длинная приводящая мышца.
- 3.** 3. Середина переноса. От максимального сгибания колена до вертикального положения большеберцовой кости. Дорсифлексоры стопы продолжают статическую активность для поддержания положения стопы. Колено пассивно разгибается от 60 градусов до 30 градусов в положении сгибания. Бедро сгибается до 30 градусов за счет активности подвздошно-поясничной мышцы.
- 4.** 4. Окончание переноса. Дорсифлексоры изометрически активны для нейтральной позиции стопы. Колено полностью разгибается, а хамстринги (мышцы задней поверхности бедра) эксцентрически активны для предотвращения переразгибания колена. Начинает включаться квадрицепс бедра. Мышцы-сгибатели бедра все еще активны.

Теперь формализуем показания к применению экзоскелета с ФЭС и ЭМГ контролем.

ПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ЭКЗОСКЕЛЕТА С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ.

Показания к применению и необходимые условия использования экзоскелета в курсе реабилитации:

Экзоскелет применяется при следующих нозологиях:

- Спинальных травмах
- Остром нарушении мозгового кровообращения (инсульте)

- Болезни Паркинсона
- Рассеянном склерозе
- Травме головного мозга
- Церебральном параличе и др.

Реабилитационные показания:

- нарушения вставания и присаживания,
- невозможность стоять,
- невозможность или выраженные изменения в ходьбе.
- неспособность самостоятельно передвигаться в вертикальном положении.

Причинами для нарушений походки и активностей в положении стоя (приготовление еду на кухне, чистка зубов в ванной, мытье в душе стоя, уборка дома стоя и др.) могут быть нижний парапарез, нарушение глубокой чувствительности, нарушение координации движений, неглект и сочетание этих и иных нарушений.

Необходимыми условиями применения экзоскелета являются:

- высокая мотивация к реабилитации,
- способность переносить вертикализацию не менее 15 минут,
- сохранная сила рук для возможности упора о костыли при ходьбе,
- наличие пареза во всех мышцах или в отдельных группах от 0 до 3 баллов по шкале MRC в нижних конечностях,
- динамические контрактуры – отсутствие контрактур, которые нельзя убрать за счет растяжек (стреч-тренингов),
- мышечный тонус по шкале Ашворта не более 3 баллов.

Применение ФЭС совместно с экзоскелетом показано при любом дефиците мышечной функции, нарушении моторного контроля над мышцами ног. Как показывают исследования, наиболее эффективно при спастическом парезе мышц ног (одной ноги), вялом парезе любого происхождения. Стоит помнить о возможности гибкой настройки электростимуляции. К примеру, специалист может задать такую программу электростимуляции, что воздействие происходит только на дорсифлексоры стопы в период переноса при ходьбе. Таким образом, будет направленно осуществляться восстановление функции дорсифлексоров стопы. Более подробно о клинических способах применения стимуляции будет рассказано далее.

ПРОТИВПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ЭКСОСКЕЛЕТА С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ

Противопоказания к применению экзоскелета:

- страх падения, который не может быть скорректирован,
- страх роботизированных устройств и механотерапии,
- разная длина ног пациента (анатомически более 2 см),
- острая инфекция и лихорадка,
- выраженная ортостатическая гипотензия (снижение артериального давления (АД) более чем на 20 мм рт. ст. при вставании),
- эпилепсия,
- приходящие нарушения сознания любой этиологии,
- отсутствие контроля артериальной гипертензии (АД более 140/90 или резкий подъем АД в ответ на использование экзоскелета),
- хроническая сердечная недостаточность выше IIA класса по классификации Н.Д. Стражеско, В.К. Василенко,
- острый инфаркт миокарда менее 6 месяцев назад,
- стенокардия покоя,
- синусовая брадикардия (реже 50 в мин.) и тахикардия (более 90 в мин.),
- незакрытые аневризмы аорты, или сосудов головного мозга,
- острый тромбоз, тромбофлебит,
- лимфедема нижних конечностей 2—3 ст.,
- пролежни в местах крепления экзоскелета,
- невозможность коммуникации с пациентом (неспособность пациента понимать и выполнять инструкции),
- выраженный остеопороз или риск перелома,
- несросшиеся переломы позвоночника, костей таза, нижних конечностей,
- острый артрит,
- фиксированные контрактуры,
- состояние после операций эндопротезирования, артропластики суставов нижних конечностей,
- любое состояние пациента, по мнению специалиста, которое может привести к травме, падению или иному вреду для здоровья при использовании экзоскелета.

Дополнительные противопоказания, специфичные для применения

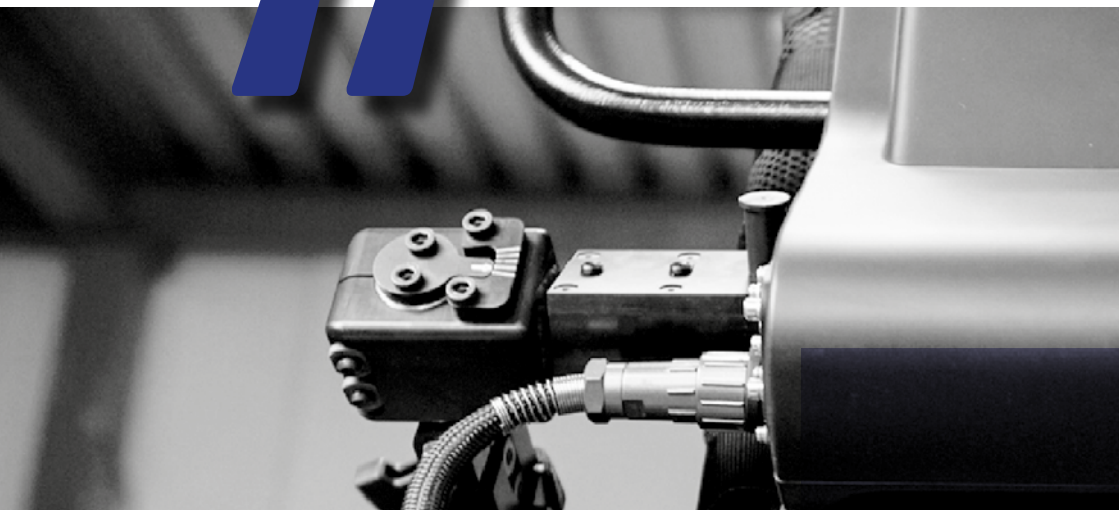
Непереносимость пациентом электрического воздействия,

- Наличие у больного токопродуцирующих имплантатов или металлических осколков,
- Невозможность получить сокращение при электрическом воздействии в пределах его комфортной зоны,
- Заболевания или обширные рубцовые повреждения в предполагаемой области наложения электродов.

Если кабели, электроды повреждены пользоваться ФЭС запрещено.

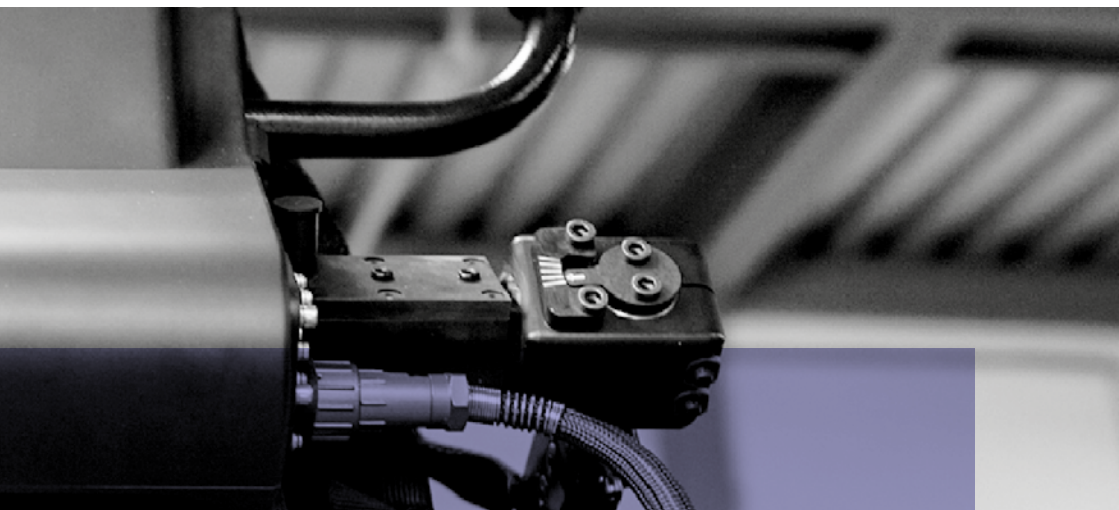
Оценку показаний и противопоказаний к тому или иному методу реабилитации (в том числе применение экзоскелета с ФЭС И ЭМГ-контролем) проводит врач физической и реабилитационной медицины и члены мультидисциплинарной реабилитационной команды в начале курса реабилитации на диагностическом этапе.

11



2





МЕТОДИКА ЗАНЯТИЙ НА ЭКЗОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ

МЕТОДИКА ЗАНЯТИЙ НА ЭКЗОСКЕЛЕТЕ С ФЭС И ЭМГ-КОНТРОЛЕМ

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ:

Существуют определенные требования к помещению, в котором проводится занятия с экзоскелетом:

- помещение размером 8*4 м., с окнами,
- нескользкое напольное покрытие
- вентиляция
- зеркало в полный рост

ОСМОТРА ПАЦИЕНТА ПЕРЕД ТРЕНИРОВКОЙ

Перед занятиями проводится краткий осмотр пациента. Оценивают:

- Кожные покровы
- Общесоматический статус
- Неврологический статус
- Ортопедический статус

При оценке кожных покровов стоит обратить внимание на их состояния в местах крепления как экзоскелета, так и электродов. Не должно быть мацерации, пролежней, воспаления, ран.

Оценка общесоматического статуса включает в себя определение артериального давления, частоты дыхания, частоты сердечных сокращений, проведение ортостатической пробы.

Оценка неврологического статуса проводится кратко – оценивается мышечный тонус в нижних конечностях, сила мышц рук. Тонус не должен превышать 3 балла по шкале Ашворта, сила в руках должна быть достаточной для опоры на костыли.

Краткая оценка ортопедического статуса предполагает исключение наличия стойких контрактур в суставах, затрудняющих пассивные движения в ногах.

Порядок осмотра пациента перед занятием можно представить в виде простого чек-листа и применять его на практике (смотри приложение).

СНЯТИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТА И ЗАНЕСЕНИЕ В БАЗУ ДАННЫХ ПЛАНШЕТНОГО КОМПЬЮТЕРА

Следующие размеры снимаются с помощью обычной рулетки и заносятся в базу планшетного компьютера:

- Глубина таза (от большого вертела до поверхности ягодицы)
- Ширина таза (от большого вертела до другого)
- Длина бедра (от вертела до середины колена)
- Длина голени (от середины колена до медиальной лодыжки)
- Длина голеностопа (от лодыжки до пола)
- Объем бедра
- Объем голени
- Обхват живота

Данные сохраняются в базе, что позволяет при повторном посещении занятия использовать сохраненные показания для индивидуальной настройки экзоскелета. Соответствующие размеры не только заносятся в базу данных, но и с помощью динамического ключа выставляются на самом экзоскелете.

При помещении пилота (пациента) в экзоскелет следует обратить внимание на следующие моменты:

- При наклоне тела вперед ягодицы должны плотно соприкасаться со спинкой экзоскелета
- Оценить соосность вращения коленного сустава в вертикальной плоскости и вращения коленного шарнира
- При нахождении в экзоскелете костыли необходимо ставить

шире, чтобы не допустить выбивания костыля ногой экзоскелета, поэтому высота костылей устанавливается чуть длиннее

- Проверить угол сгибания коленного сустава на обеих ногах по подколенной ямке (необходимо провести по ней рукой). Не должно быть стойкой контрактуры коленного сустава. Предельный угол сгибания можно указать в планшете. Максимальный – 10 градусов.
- Пациенту должно быть комфортно, пациент не жалуется на боль или ощущение сильного сдавления. Степень натяжения креплений не должна быть слишком сильной, но достаточной, чтобы пациент не выпал из экзоскелета.

НАСТРОЙКА КАРТЫ МЫШЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Для ЭНМГ и электростимуляции необходимо выбрать расположение электродов на теле пациента и правильно их разместить, а также указать параметры стимуляции этих точек в планшете. Для этого формируется мышечная карта стимуляции.

Карта мышечной электростимуляции – это схема подачи электрических импульсов к той или иной мышечной группе, стимуляцию которой мы собираемся проводить, в определённый момент цикла походки.

Мышечная карта электростимуляции удобно представлена в интерфейсе планшетного компьютера.

Каждый канал имеет свой цвет. Цвет электродов, которые крепятся на пациенте, соответствует цветам на схеме в компьютерном планшете, предназначенном для управления экзоскелетом и ФЭС.

При настройке специалист может сам определить, какие каналы он будет использовать, какие именно мышцы будет стимулировать. В момент настройки на планшете будет отображена схема, которая поможет выбрать точки крепления электродов.

Также для каждой мышцы задается амплитуда, частота воздействия и длительность импульса.

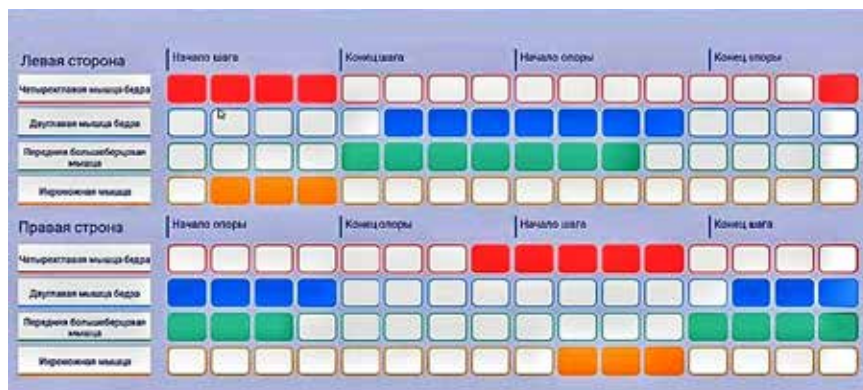


Рис. 2: Интерфейс планшетного компьютера, карта электростимуляции мышц в разные периоды и фазы ходьбы.

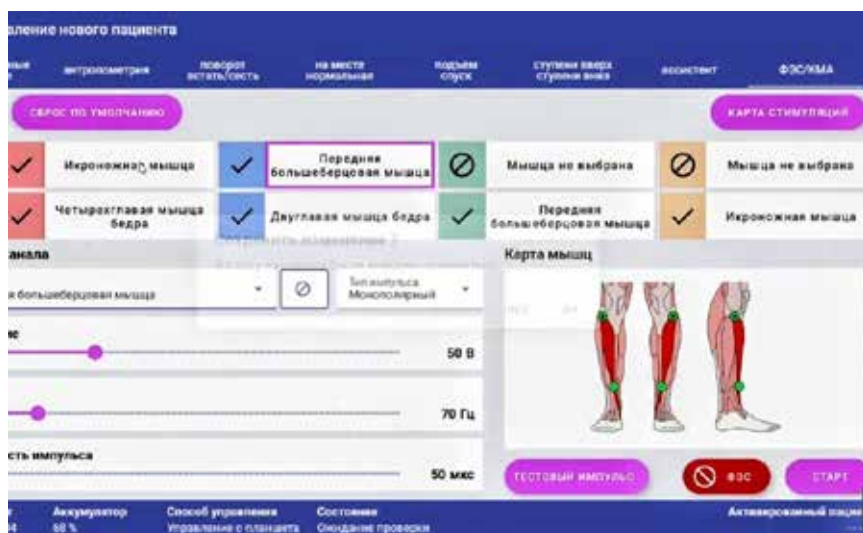


Рис. 3: Интерфейс планшетного компьютера, настройки миостимуляции..

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТЫ СТИМУЛЯЦИИ И НАСТРОЙКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Параметры стимуляции задаются частотой, напряжением тока и длительностью импульса. Чем ниже частота, тем длиннее волна и глубже происходит электростимуляция мышц. Высокая частота предполагает небольшую длину волны и более поверхностную стимуляцию. Настраивать параметры следует индивидуально, учитывая глубину расположения мышцы в тканях, болевой порог пациента. Достижение видимого мышечного сокращения при электростимуляции – показатель правильно подобранных настроек стимуляции.

В экзоскелете в зависимости от комплектации имеется 16 каналов стимуляции или 8. Каждый канал помечен отдельным цветом в планшетном компьютере, и у каждого выхода на корпусе экзоскелета свой цвет.

При наложении электродов следует учитывать, что имеется несколько вариантов электродов: классические электродные пластины, кнопочные электроды, электроды в форме «бананов», которые закрепляются в специальной резиновой пластинке. Электростимуляция может быть проведена любым из типов электродов.

Ток может проводиться между точками крепления электродов в монополярном (в одну сторону от минуса к плюсу) и биполярном режиме (в обе стороны).

ВЫБОР КОРРЕКТИРУЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ И СТИМУЛИРУЕМЫХ МЫШЦ

Это первый этап настройки искусственной коррекции движений. А.С. Витензон рекомендует разделить движения на основные, дополнительные и вспомогательные.

При составлении карты стимуляции не нужно стимулировать все подряд или стараться стимулировать крупные мышцы. Перед составлением карты стимуляции специалист должен провести диагностику и определить какие именно мышцы не включаются в определённую фазу ходьбы. Для диагностики подойдет мануальное мышечное тестирование, анализ походки или просто движений, либо

миография. Результат диагностики описывается в истории болезни как синдром невключения мышц или как проявление слабости в мышце. Далее принимается решение насколько эта слабость и невключение мышцы являются клинически значимыми для походки. Если нарушение значимо для биомеханики походки – тогда миостимуляция в нужную фазу будет целесообразна.

Успех реабилитации и польза от миостимуляции при применении экзоскелета будут зависеть от точности диагностики и правильности выбора времени стимуляции. Поэтому следует уделить достаточно времени для диагностики в начале курса. Ситуация может меняться и спустя несколько процедур придется скорректировать карту стимуляций или интенсивность. Во время процедуры специалист должен отслеживать движения, чтобы стимуляция не была против физиологических движений, и чтобы пациент ей не сопротивлялся.

Не следует стимулировать мышцы, которые находятся в состоянии спастичности. Стимуляция спастических мышц может привести к повышению спастичности. Это нанесет вред пациенту и сделает походку патологической.

ОСНОВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ:

- электростимуляция большой и средней ягодичных мышц в первую половину опорной фазы цикла (начало опоры по мышечной карте электростимуляции). При резком ослаблении функции ягодичных мышц аналогичная коррекция может быть получена и путем ФЭС проксимальных частей полусухожильной мышцы, двуглавой мышцы бедра и отчасти большой приводящей мышцы.

Рассмотрим конкретнее основные стимулируемые мышцы и их роль в осуществлении ходьбы:

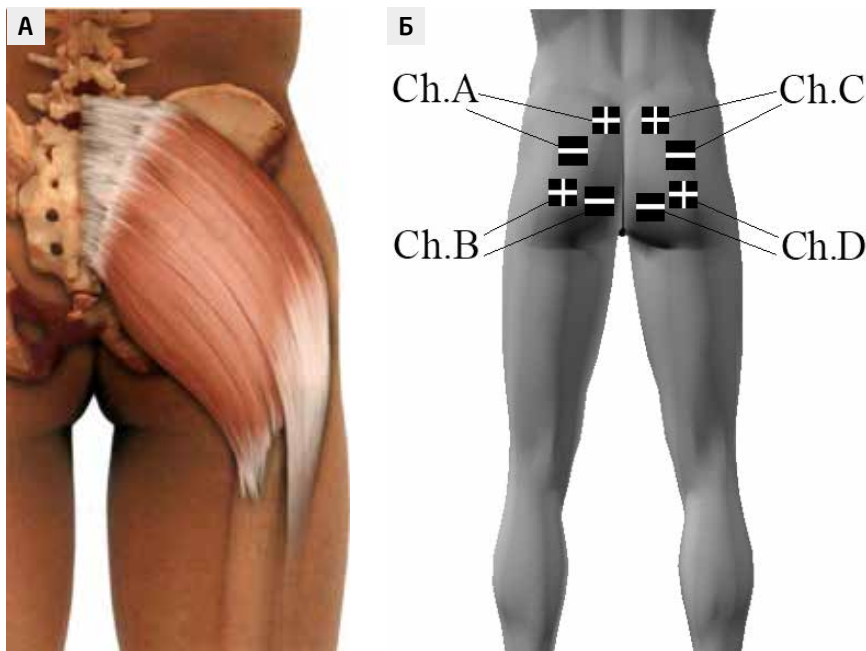


Рис. 4: А. Анатомия большой ягодичной мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт 2016 год)ю Б. Точки миостимуляции большой ягодичной мышцы (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual)

БОЛЬШАЯ ЯГОДИЧНАЯ МЫШЦА

Мышца начинается от задней поверхности крестца, задней части подвздошной кости, задней нижней подвздошной ости и крепится к ягодичной бугристости бедренной кости и подвздошно-большеберцовому тракту. Мышца стабилизирует туловище при смещении вперед во время наклонов, ограничено – во время интенсивной ходьбы.

Следует стимулировать мышцу в первой половине опоры.



Рис. 5: Анатомия средней ягодичной мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год).

СРЕДНЯЯ ЯГОДИЧНАЯ МЫШЦА

Начинается от крыла подвздошной кости и крепится к большому вертелу. При ходьбе сокращается на опорной ноге и тем самым предотвращает заваливание таза в сторону переносимой ходьбы. Это важнейший стабилизатор тазобедренного сустава.

Не следует стимулировать мышцу одновременно с большой ягодичной мышцей. Точки крепления электродов для средней ягодичной мышцы сходи с точками крепления для большой ягодичной мышцы.



Рис. 6: Точки миостимуляции напрягателя широкой фасции бедра (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

МЫШЦА, НАПРЯГАТЕЛЬ ШИРОКОЙ ФАСЦИИ

Сгибает бедро. Эта мышца является не только сгибателем бедра, но и его пронатором. Кроме того, она отводит бедро. При закрепленном бедре она участвует во вращении таза. Напрягатель широкой фасции бедра напрягает все мышцы бедра и частично мышц таза, малой и средней ягодичной мышц, способствует его выпрямлению в тазобедренном суставе.

Стоит стимулировать в фазу опоры при применении экзоскелета. Как и средняя ягодичная мышца стабилизирует таз во фронтальной плоскости, напрягаясь на стороне опоры.

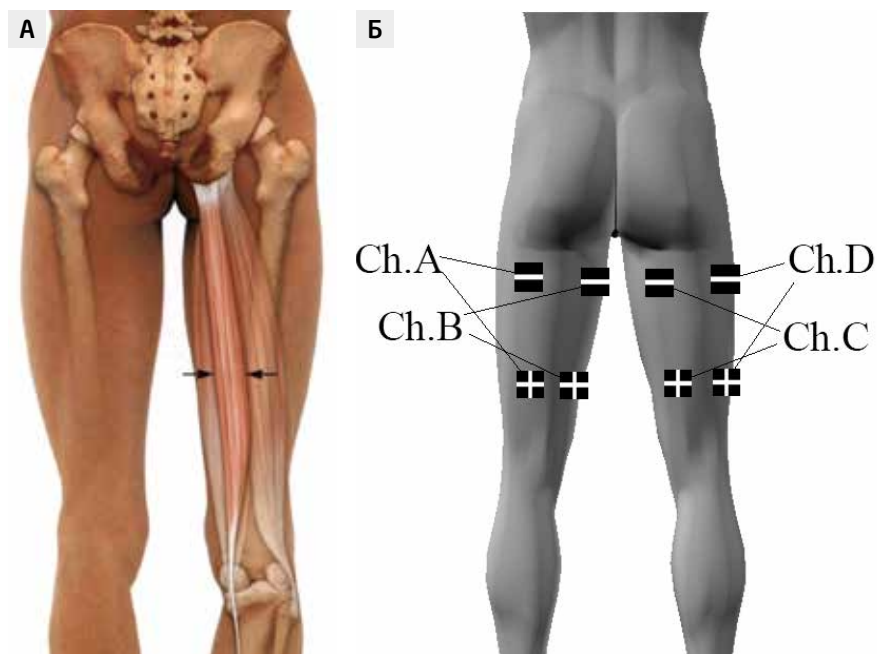


Рис. 7: А. Анатомия полусухожильной и полуперепончатой мышц бедра (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт 2016 год). **Б.** Точки миостимуляции полусухожильной и полуперепончатой мышц бедра (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ПОЛУСУХОЖИЛЬНАЯ И ПОЛУПЕРЕПОНЧАТАЯ МЫШЦЫ БЕДРА

Начинаются от седалищного бугра вместе с бицепсом бедра общей головкой, а крепятся к бугристости большеберцовой кости через сухожилие «гусиной лапки». Способствуют разгибанию опорной ноги при ходьбе, генерируя толчок. При выносе голени вперед предотвращает разгибание коленного сустава.

При применении экзоскелета рекомендовано стимулировать в конце опоры и начале переноса.

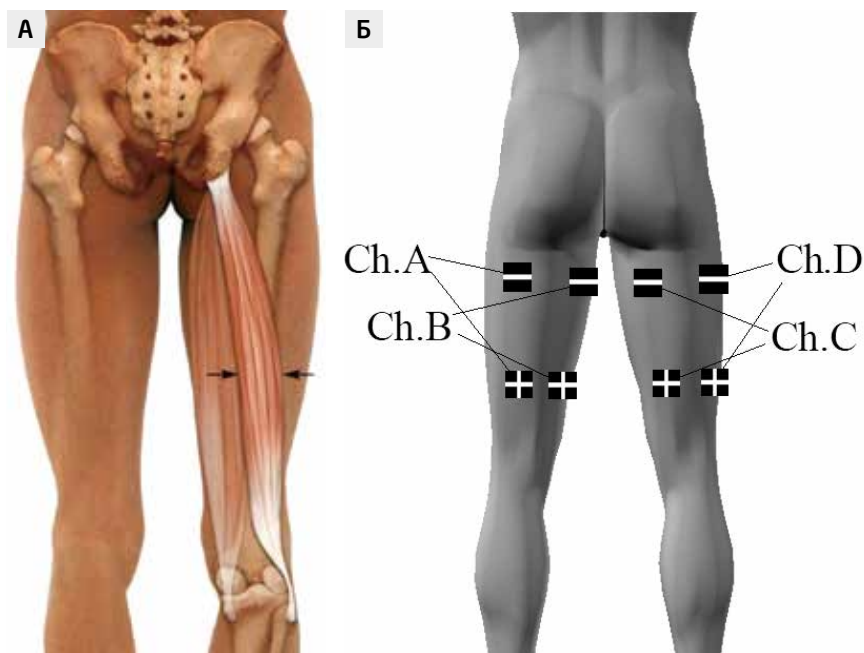


Рис. 8: **А.** Анатомия двуглавой мышца бедра (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт 2016 год). **Б.** Точки миостимуляции двуглавой мышца бедра (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ДВУГЛАВАЯ МЫШЦА БЕДРА

Расположен латеральнее полуперепончатой и полусухожильных мышц на задней поверхности бедра. Начинается общей головкой на седалищном бугре и крепится к боковой поверхности головки малоберцовой кости и боковому мыщелку бедренной кости. Также служит сгибателем коленного сустава. Рекомендовано стимулировать в конце фазы опоры при ходьбе и в первой половине фазы переноса.

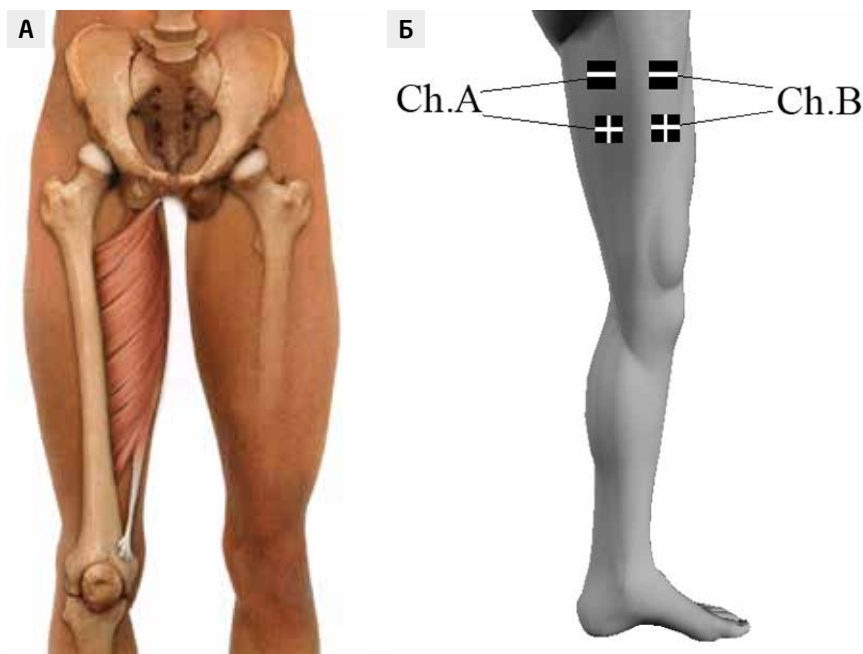


Рис. 9: А. Анатомия большой приводящей мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). **Б.** Точки миостимуляции двуглавой мышца бедра (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

БОЛЬШАЯ ПРИВОДЯЩАЯ МЫШЦА

Начинается от седалищного бугра и нижней ветви лобковой кости и крепится к бедренному гребню и приводящему бугорку бедренной кости. При ходьбе у опорной ноги помогает стабилизировать центр тяжести, предотвращая падение (как и малая ягодичная мышца). Можно стимулировать на старте шага при использовании с экзоскелетом.



Рис. 10: Точки миостимуляции икроножной мышца (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ИКРОНОЖНАЯ МЫШЦА ЖИВОТА

Является антагонистом передней большеберцовой мышцы. При сокращении вызывает плантофлексию стопы и отталкивание стопы в конце фазы опоры, начале переноса при шаге. Стимулировать мышцу рекомендовано в эти фазы шага.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ:

- коррекция разгибания в коленном суставе достигается посредством электростимуляции четырехглавой мышцы бедра во второй половине переноса и в первой половине опоры. Электростимуляция подошвенного сгибания должна быть на границе начала и конца опоры, что приводит к удержанию голени от быстрого наклона вперед и к усилению заднего толчка.

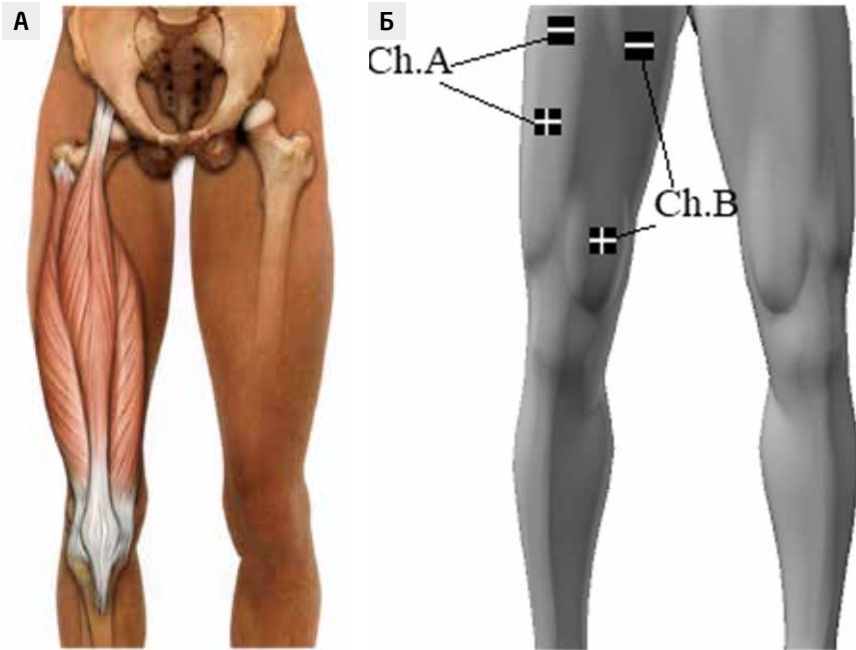


Рис. 11: А. Анатомия четырехглавой мышцы бедра (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции четырехглавой мышцы бедра (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

Рассмотрим каждую из этих мышц и роль в ходьбе:

ЧЕТЫРЕХГЛАВАЯ МЫШЦА БЕДРА

Каждая из четырех головок, которые включают четырехглавую мышцу бедра, латеральную широкую, промежуточную широкую, медиальную широкую мышцы бедра, имеют свое начало. Однако крепятся все составные части общей головной к бугристости большеберцовой кости. Мышца сгибает ногу в тазобедренном суставе и разгибает в коленном. Является важнейшим стабилизатором надколенника и всего коленного сустава при ходьбе. Рекомендовано стимулировать в первой половине переноса при шаге.

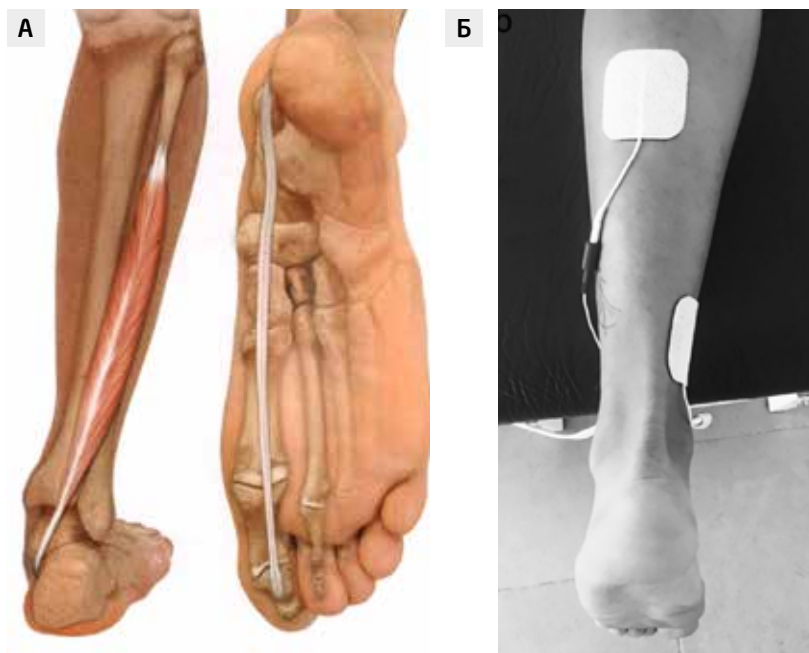


Рис. 12: **А.** Анатомия длинного сгибателя большого пальца стопы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). **Б.** Точки миостимуляции длинного сгибателя большого пальца стопы (иллюстрация из de-la-Cruz-Torres B, 2020).

ДЛИННЫЙ СГИБАТЕЛЬ БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА

Начинается от малоберцовой кости и задней межкостной мембраны и крепится к дистальной фаланге большого пальца. Также участвует в толчке стопы от опоры в начале переноса. Стимулировать данную мышцу следует при слабости икроножной для усиления эффекта плантефлексии.

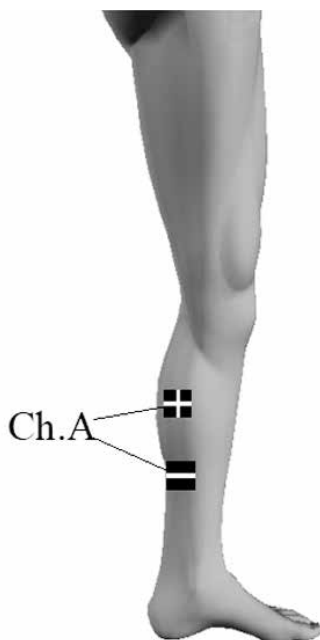


Рис. 13: Точки миостимуляции длинной малоберцовой мышцы (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ДЛИННАЯ МАЛОБЕРЦОВАЯ МЫШЦА

Вместе с короткой малоберцовой мышцей сгибает и пронирует стопу, опуская её медиальный и приподнимая латеральный край. Также отводит стопу. Стимулируют мышцу в конце переноса и конце опоры для поддержания стабильности голеностопного сустава. Не следует стимулировать одновременно с передней большеберцовой мышцей, чтобы избежать поперечных токов от соседствующих электродов на коже.

Стоит отметить, что при слабости крестцово-остистых мышц, наружных косых мышц живота, а также паралитическом искривлении позвоночника показана одновременная электростимуляция этих мышц в конце опорной и первой половине переносной фаз, что обуславливает уменьшение фронтальных и сагиттальных колебаний туловища.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ:

В фазу переноса стимулируют преимущественно мышцы-сгибатели. Коррекция сгибания в тазобедренном суставе посредством электростимуляции поверхностных мышц-сгибателей бедра, коррекция сгибания в коленном суставе путем электростимуляции дистальных порций полусухожильной мышцы и двуглавой мышцы бедра, коррекция тыльного сгибания в голеностопном суставе для подъема отвисающей стопы посредством электростимуляции претибиальных мышц в конце опорной и в начале переносной фаз.

Рассмотрим точки крепления претибиальных мышц и их роль в акте ходьбы.

ПЕРЕДНЯЯ БОЛЬШЕБЕРЦОВАЯ МЫШЦА

Начинается от латерального мыщелка большеберцовой кости и крепится к клиновидной кости и пятой плюсневой кости. Активна при отрыве стопы от земли. Выполняет задачу дорсифлексии и эверсии. Она выполняет функцию стабилизации голеностопного сустава, когда стопа касается земли во время фазы опоры (эксцентрическое сокращение), а позднее поднимает стопу от земли во время фазы переноса (концентрическое сокращение). Вместе с камбаловидной мышцей стабилизирует кости голени на блоке таранной кости. При применении в экзоскелете имеет смысл стимулировать мышцу в начале и в конце фазы переноса.

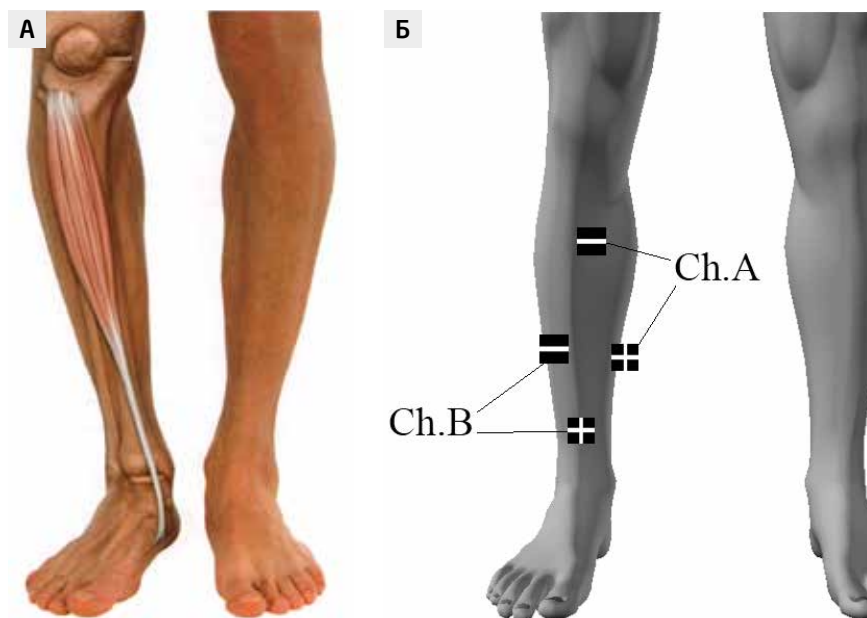


Рис. 14: А. Анатомия передней большеберцовой мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции передней большеберцовой мышцы (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).



Рис. 15: Анатомия длинного разгибателя большого пальца стопы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год).

ДЛИННЫЙ РАЗГИБАТЕЛЬ БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА

Начинается от середины малоберцовой кости и крепится к тылу дистальной фаланги большого пальца. Также участвует в поддержании дорсифлексии стопы при переносе.



Рис. 16: Анатомия длинного разгибателя пальцев стопы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год).

ДЛИННЫЙ РАЗГИБАТЕЛЬ ПАЛЬЦЕВ

Начинается от большеберцовой и малоберцовой кости и крепится к тыльному апоневрозу 2-4 пальцев стопы.

К вспомогательным движениям можно отнести движения туловища. Мышц живота и спины могут быть ослаблены у пациентов, которые длительное время лежали, либо если есть слабость мышц туловища, как результат очагового поражения спинного мозга (например, у пациентов с поражением спинного мозга).

КОСЫЕ МЫШЦЫ ЖИВОТА

При ходьбе в экзоскелете рекомендовано стимулировать мышцы в первой половине фазы опоры соответствующей стороны тела. Она служит для стабилизации таза на опорной стороне тела, помогает сохранить положение туловища при переносе противоположной ноги, избежать инерции движения туловища при ходьбе. Электроды парой располагаются симметрично по сторонам от белой линии живота (пара чуть ниже ребер, пара выше подвздошных гребней). Расположение плюса и минуса накладываемых электродов не имеет большого значения, особенно если речь идет о биполярном токе стимуляции.

ШИРОЧАЙШАЯ МЫШЦА СПИНЫ

Расположение электродов приведено на схеме. Широчайшую мышцу спины можно стимулировать у человека, который занимается без экзоскелета. Широчайшая мышца спины является вспомогательной дыхательной мышцей. В то же время помогает приводить руку к туловищу и пронирует плечо. Участвует в лазании постремянке, подтягивании туловища руками вверх. При использовании экзоскелета ее можно использовать если пациенту трудно опираться на руки из-за слабости широчайшей мышцы. Стимуляция проводится в фазу eJulf идет опора на руку.

ПРЯМАЯ МЫШЦА ЖИВОТА

В зависимости от фиксации верхней или нижней половины тела сгибает позвоночника, наклоня туловище вперед, либо подтягивает таз к грудной клетке. Стимулировать прямую мышцу живота можно без применения экзоскелета. При применении экзоскелета ее стимулируют в фазу опоры в соответствии со стороной.

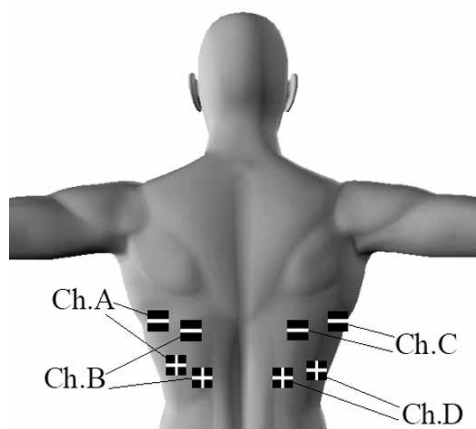


Рис. 17: Точки миостимуляции широчайшей мышцы спины (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

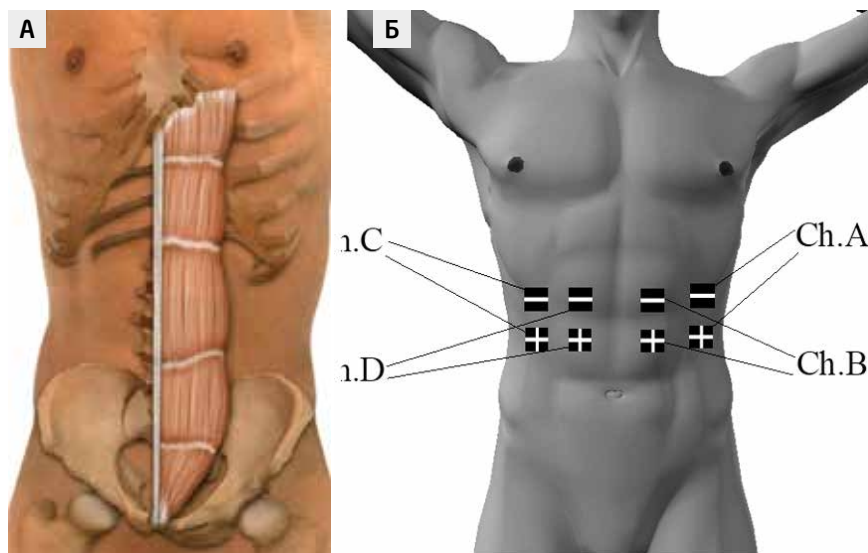


Рис. 18: А. Анатомия прямой мышцы живота (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции прямой мышцы живота (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

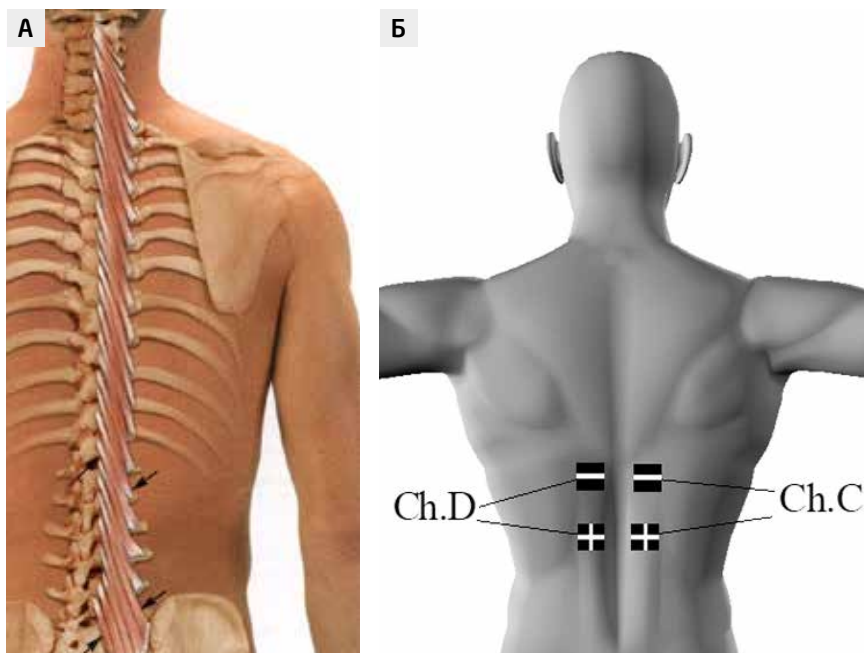


Рис. 18: А. Анатомия мышцы, выпрямляющей позвоночник (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции мышцы, выпрямляющей позвоночник (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

МЫШЦА, ВЫПРЯМЛЯЮЩАЯ ПОЗВОНОЧНИК

Данная мышца при двустороннем сокращении разгибает позвоночный столб и удерживает туловище в вертикальном положении. При одностороннем сокращении наклоняет позвоночный столб в соответствующую сторону. Верхние пучки мышцы тянут голову в свою сторону. Часть своих пучков она опускает рёбра и таким образом участвует в процессе дыхания. Имеет смысл стимулировать мышцу на протяжении всей фазы опоры.

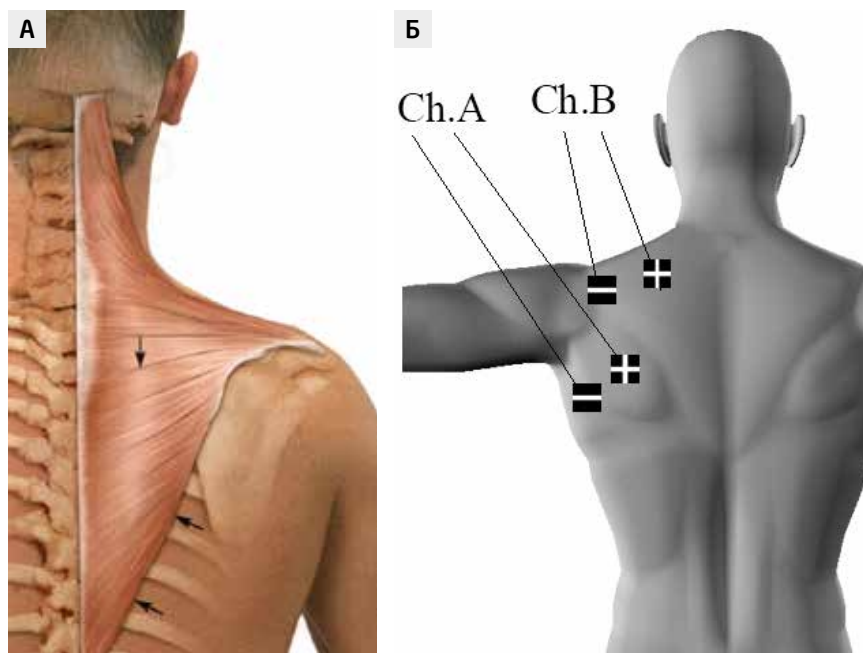


Рис. 19: А. Анатомия верхней и нижней порций трапецевидной мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции верхней и нижней порций трапецевидной мышцы (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ВЕРХНЯЯ И НИЖНЯЯ ТРАПЕЦИЕВИДНАЯ МЫШЦА

Нижняя порция опускает плечевой пояс, а верхняя поднимает лопатки. Средняя порция приводит лопатки к позвоночному столбу. Стимуляция осуществляется вне связи с циклами ходьбы, без применения экзоскелета. Может быть актуально при болевой синдроме.

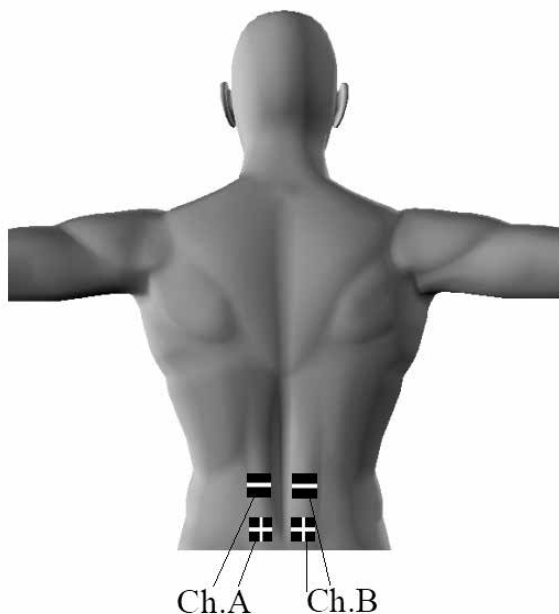


Рис. 20: Точки миостимуляции паравертебральных мышц (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫЕ МЫШЦЫ

Стимуляция может осуществляться при болевом синдроме в спине, вне связи с циклами ходьбы, без применения экзоскелета.

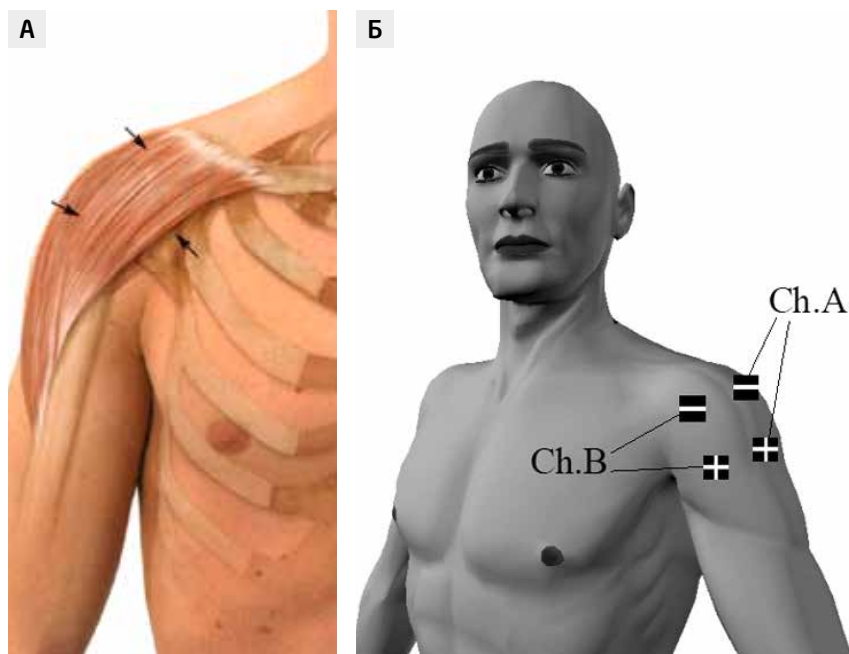


Рис. 21: А. Анатомия дельтовидной мышцы плеча (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). Б. Точки миостимуляции дельтовидной мышцы плеча (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

ДЕЛЬТОВИДНАЯ МЫШЦА ПЛЕЧА

Участвует в подъеме и отведении руки. Возможна стимуляция у человека со сниженной силой этой мышцы, которая как правило, наблюдается при гемипарезе на стороне пареза.

А



Б



В



Г

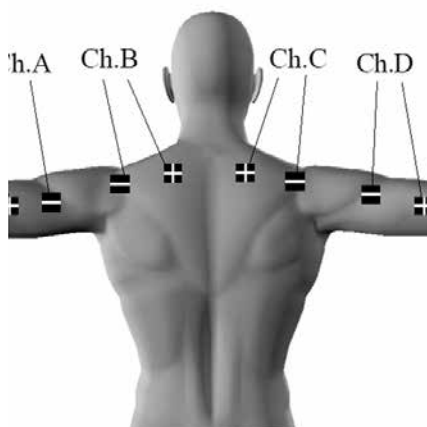


Рис. 22: **А.** Анатомия подостной мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). **Б.** Анатомия надостной мышцы (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). **В.** Анатомия трехглавой мышцы плеча (иллюстрация из учебника Валериус К.-П. и соавт. 2016 год). **Г.** Точки миостимуляции мышц вращательной манжеты и трицепса плеча (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

МЫШЦЫ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ МАНЖЕТЫ И ТРИЦЕПС ПЛЕЧА

Мышцы вращательной манжеты стабилизирует плечо в плечевом суставе, осуществляют наружную ротацию плеча, разгибание плеча в плечевом суставе, трицепс – разгибании руки в локтевом суставе. Стимуляция не связана с занятиями в экзоскелете. Может применяться как самостоятельная интервенция для повышения мышечной силы, снижения спастичности, повышения включаемости мышцы в двигательные акты.

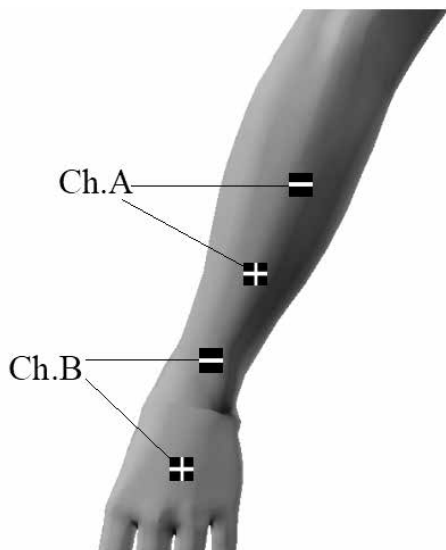


Рис. 23: Точки миостимуляции мышц разгибателей предплечья (иллюстрация из Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual).

РАЗГИБАТЕЛИ ЗАПЯСТЬЯ

Стимуляция мышц, которые помогают разгибать запястье. Это движение антагонистично повышенному тонуусу мышц сгибателей при центральном парезе к примеру.

В то же время при формировании карты тренировок специалист может модифицировать карту по своему усмотрению, основываясь на данных диагностики моторного контроля, оценки мышечной силы. К примеру, преимущественная слабость дорсифлексоров стопы, выявленная при мануально-мышечном тестировании может послужить толчком к применению изолированной стимуляции именно претибиальной группы мышц. Аналогично слабость мышц проксимальных после длительной иммобилизации станет причиной для акцента на стимуляции ягодичных мышц, а также мышц задней поверхности бедра (хамстрингов: бицепса бедра, полусухожильной и полуперепончатой мышц).

В приведенной ниже таблице указаны периоды стимуляции для разных мышц. Обратите внимание, что стимуляция синхронизирована со стороной, на которой происходит движение (фаза опоры или переноса). Смотри таблица 1.

Таблица 1. Период походки и стимуляция мышц.

Мышцы левая сторона	Старт шага	Конец шага	Старт опоры	Конец опоры
Косая мышца живота				
Широчайшая мышца спины				
Передняя большеберцовая мышца				
Прямая мышца живота				
Икроножная мышца				
Большая приводящая мышца бедра				
Прямая мышца бедра				
Латеральная головка прямой мышцы бедра				
Полусухожильная мышца/полуперепончатая мышца				
Мышца напрягатель широкой фасции бедра				
Длинная малоберцовая мышца				
Большая ягодичная мышца				
Мышца выпрямляющая позвоночник				
Средняя ягодичная мышца				
Верхняя трапецевидная мышца				
Средняя трапецевидная мышца				
Нижняя трапецевидная мышца				
Паравертбральная мышца				
Бицепс бедра				
Дельтовидная мышца плеча				
Надосная мышца				
Подосная мышца				
Трехглавая мышца плеча				
Разгибатель запястья				

УСТАНОВКА НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СТИМУЛЯЦИИ, ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ

Учитывая, что в пациенты могут быть разного веса и размера, то характеристики миостимуляции могут отличаться, и поэтому данные характеристики необходимо подбираются индивидуально. Необходимо при настройке прибора подобрать интенсивность таким образом, чтобы это не приводило к повреждению или дискомфорту, но вызывало мышечное сокращение. Так пациент при стимуляции не должен ощущать боли. В то же время стимуляция должна приводить к ощущению слабой вибрации, мышечному сокращению. В таком случае она будет наиболее эффективной. Как правило, частота варьирует от 25 до 100 Гц. Все параметры следует изменять постепенно, отслеживая реакцию пациента, предупреждать об изменении параметров заранее до стимуляции. В процессе курса занятий интенсивность миостимуляции может увеличиваться.

НАЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ

Для электростимуляции используют пластинчатые электроды с гидрофильными прокладками, размер которых должен соответствовать ширине мышцы, или пользуются точечным (круглым) электродом с кнопчным прерывателем. Рекомендуется пользоваться электродами длиной 5—10 см и шириной 2,5—3 см. Выбор электрода зависит от области воздействия. Так, для стимуляции мышц конечностей и туловища чаще применяют пластинчатые электроды (чем больше масса мышцы, тем больше площадь электрода). При стимуляции поперечнополосатых мышц электроды располагают на определенных участках — двигательных точках нервов и мышц. Точки наложения электродов также подсказывает схема, приведенная в планшетном компьютере. Электроды располагают продольно или поперечно. При наложении электродов на стимулируемые участки тела необходимо соблюдать следующие условия: электроды должны быть достаточно увлажненными; кожу (зоны наложения электродов) необходимо протирать антисептиком; электроды должны плотно прижиматься к телу специальными фиксаторами или резиновым бинтом; межэлектродный участок должен быть сухим; расстояние



Рис. 24: Вид экзоскелета E-helper с ФЭС.

между электродами должно быть не менее 2 см. Подвергаемая воздействию часть тела должна находиться в свободном и удобном положении, чтобы сокращение мышц проходило беспрепятственно и было хорошо видно.

ПРИМЕР ПРОГРАММЫ ТРЕНИРОВОК

Экзоскелет с ЭС и ЭМГ-контролем применяется на курсе реабилитации для решения задач, необходимых для достижения цели реабилитации, которую поставила команда совместно с пациентом. Одновременно с пациентом занимаются разные члены команды, работая над кругом проблем, вносящих свой вклад в инвалидизацию. Занятия с экзоскелетом могут проводить специалист по физической реабилитации, а также врач физической и реабилитационной медицины.

Первый этап экзореабилитации – подготовительный. Он может занимать 1-2 недели. За это время специалист по физической реабилитации тщательно осматривает пациента (см протокол осмотра –

приложение 1), оценивает силу мышц, выносливость, тонус, моторный контроль над мышцами, координацию пациента. Проводится оценка спастичности по шкале Ашворта, мышечной силы, оценка по Канадской шкале оценки деятельности специалистом по эргореабилитации, оценка по FIM. **Обязательно берётся дополнительное информированное согласие с пациентом!** (приложение 2)

В дальнейшем специалист по физической реабилитации проводит подготовительные упражнения – растяжки укороченных мышц, упражнения на включения мышц со слабым двигательным контролем. Также работает над повышением толерантности к нагрузке, физической выносливости, вертикализацией пациента.

Формируется карта тренировок. Стационарный пациент: 5 дней в неделю, длительностью 2 недели.

Амбулаторный - 2-3 раза в неделю, 6-8 недель.

Следует учитывать, что пациентов, которые ранее длительно лежали или сидели, ходьба в экзоскелете может быть большой нагрузкой. Поэтому на каждом занятии следует контролировать толерантность к физической нагрузке с оценкой тренировочного пульса, частоты дыхания, сатурации кислорода, мышечного тонуса и других физикальных показателей. Важно помнить о кумулятивном эффекте занятий и что усталость может накопиться за несколько занятий. Любая перегрузка может затормозить как тренировку толерантности к нагрузке, так и механизмы моторного контроля. Поэтому важно избегать перегрузок. Следует согласовывать тренировки на экзоскелете с другими занятиями (ЛФК в зале, эрготерапия, логопедия, занятия с психологом). Однако при составлении программы занятия на экзоскелете следует разработать программу, построенную по принципам прогрессии, где постепенно увеличивается нагрузка, сложность занятий и дистанция ходьбы. На первых занятиях следует уделить достаточно внимания инструктажу и обучению пациента. От качества на начальном этапе будет зависеть результат реабилитации в целом. Увеличение нагрузки производится в диапазоне длительности одного занятия от 5 минут до 60 минут.

Основной этап экзореабилитации включает от 5 занятий и более.



Рис. 25: Процесс подключения пациента к экзоскелету E-helper.

ЗАНЯТИЕ 1

Цель занятия: пациент проинформирован о работе экзоскелета и ФЭС, способен принимать участие в процессе надевания экзоскелета, помогать специалисту-реабилитологу.

Проводится настройка экзоскелета, внесение размеров пилота в компьютерный планшет, выставление размеров на самом роботе, формирование мышечной карты электростимуляции.

После настройки размеров приступаем к помещению пилота (пациента) к экзоскелету. Для этого

- поместить стопы пациента в обувь;
- расположить пациента плотно к спинке экзоскелета (контрольный прием: при наклоне тела вперед ягодицы должны плотно соприкасаться со спинкой экзоскелета);

- оценить соосность оси вращения коленного сустава в вертикальной плоскости и оси вращения коленного шарнира экзоскелета
- контролировать плотность соприкосновения со спинкой экзоскелета.

При отклонении более 2 см провести корректировку настроек

При помещении пациента в экзоскелет нога скелета отводится на специальном шарнире, что удобно и физическому терапевту, и пациенту, позволяет соблюдать и тренировать подходящую технику пересаживания с поверхности на другую поверхность.

Затем терапевт с планшета (основное управляющее устройство по умолчанию) проводит диагностику положения скелета. Робот сам определяет свое положение и принимает его, увеличивая жесткость моторов. Также можно провести пробные электромиостимуляции в пассивном режиме.

На этом первое занятие может быть завершено. Пациент и робот готовы к занятиям.

ЗАНЯТИЕ 2

Цель занятия: пациент может встать и стоять в экзоскелете с опорой на костыли или на дорожке.

Включает:

- Первая вертикализация в скелете
- Тренировки удержания положения стоя
- Перерывы по 5 минут
- Осваиваем перенос тела с ноги на ногу
- Обучение упоры о ходунки, или костыли

Основные сложности могут возникнуть на этапе вертикализации в экзоскелете. Пациенту обязательно должна быть предварительно оценена толерантность к нагрузке в ходе ортостатической пробы!

Также на занятии может присутствовать медицинский психолог, который помогает справиться со страхом движения и падения.

Следующий сложный момент – научиться опоре о костыли.

Экзоскелет может быть синхронизирован с дорожкой Реатерра, и тогда применение костылей не понадобится. Однако обучению опоре на костыли может быть посвящена не одна тренировочная сессия.

Уже на втором занятии можно применять электростимуляцию, формируя мышечную карту стимуляции, подбирая подходящие амплитудные, частотные параметры.

ЗАНЯТИЕ 3

Цель занятия: пациент шагает на месте в экзоскелете с равномерным переносом веса тела с одной ноги на другую.

Включает:

- Перенос центра масс с ноги на ногу
- Ходьба на месте с задержкой
- Ходьба на месте без задержки
- Ходьба на месте с высоко поднятым бедром
- Ходьба на месте с переносом костылей
- Ходьба на месте с дозированием усилия
- Пробная ходьба по прямой

На этом этапе ходьбой и ей настройками полностью управляет специалист по физической реабилитации с планшета. Или с устройства управления второго уровня – пульта. Специалист подбирает подходящие, комфортные для пациента настройки шага – длину, высоту, скорость, величину пауз между шагами. Может применяться электростимуляция.

ЗАНЯТИЕ 4

Цель занятия: Пациент с помощью специалиста проходит в экзоскелете фиксированное расстояние.

Включает:

- Ходьба на месте
- Ходьба вперед с различными настройками шага
- Отработка поворотов
- Ходьба змейкой
- Посадка

Здесь начинается этап «творческой работы» совместно пациента и терапевта. Он очень индивидуален и зависит от задач, поставленных перед специалистом на курсе реабилитации.

ЗАНЯТИЕ 5

Цель занятия: Пациент самостоятельно без команд специалиста, встает, инициирует шаг и проходит определённое расстояние (расстояние указывается исходя из сложности задачи)

- Включаем биологическую обратную связь
- Ходьба при инициации шага с усилием
- Ходьба при инициации шага с переносом веса

Особенность экзоскелета – наличие биологической обратной связи. Пациент может сам инициировать шаг с помощью переноса веса с одной ноги на другую, или путем усилия по сгибанию бедра. Он может сам инициировать шаг с помощью напальчной кнопки.

На этом этапе при включении режима ассистент можно применять инициацию шага с помощью ЭМГ-контроля. При мышечном усилии Экзоскелет совершит шаг.

Последующие занятия проводятся согласно выстроенной прогрессии тренировок специалистом по физической реабилитации.



3



ОБЗОР КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ РАЗНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ

ОБЗОР КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ РАЗНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯ

Нарушение ходьбы при разных заболеваниях, может быть, в связи с рядом патологических состояний, приводящих к нарушению биомеханики, опорной функции ног, уменьшающих стабильность того или иного сустава. Источники описывают эффективность и особенности применения электростимуляции в различных клинических ситуациях. Приведем небольшой обзор таких ситуаций с указанием принципов применения электростимуляции.

СПИНАЛЬНАЯ ТРАВМА

В публикации от 2018 года под редакцией Ткаченко П.В. [Ткаченко П.В. и соавт. 2018] описано исследование, при котором группа испытуемых получала 15 тренировок на экзоскелете с ФЭС, а также группа сравнения получала обычную физическую терапию и занятия на системе Локомат. Результаты в двух группах имели достоверные различия. Тренировка в экзоскелете с ФЭС показала значимую эффективность в отношении увеличения силы мышц, снижения патологически повышенного мышечного тонуса, улучшилась стабильность туловища в поперечной плоскости, продольном направлении. Кроме того, показатели улучшения качества жизни и депрессивных проявлений по соответствующих шкалам были лучше в группе испытуемых.

ГИПЕРЭКСТЕНЗИЯ КОЛЕНА ПОСЛЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЦНС

Гиперэкстензия колена после инсульта – это патологическое состояние, сопровождающееся переразгибанием коленного сустава паретичной ноги в фазу опоры при ходьбе. В таком случае пациент жалуется на хромоту, боль в пораженном колене.

Гиперэкстензия колена после инсульта часто бывает связана со слабостью мышц-стабилизаторов коленного сустава – бицепса бедра, полусухожильной и полуперепончатых мышц, икроножной мышцы, квадрицепса бедра [Geerars M. et al 2021]. В фазу стояния гиперэкстензия колена может привести к неустойчивости, боли. Также она приводит к уменьшению скорости ходьбы, баланса при ходьбе, проприоцептивному дефициту, снижающему общий контроль двигательных паттернов ходьбы соответствующей конечности. Следует помнить, что при занятии в экзоскелете допустимо гиперэкстензия колена не более 1-2 градусов. Как показываются исследования, наиболее эффективными методами физической реабилитации для решения данной проблемы являются проприоцептивные тренировки, которые представляют собой упражнения на нестабильной опоре (балансировочная подушка, нестабильная платформа). Ограниченную пользу имеет применение коленных ортезов [Sahrmann S.A. 2006]. Данных по эффективности функциональной электростимуляции недостаточно. Однако применение ФЭС в данном клиническом случае является перспективной темой для исследований. В то же время согласно Витензону для стабилизации коленного сустава в фазу опоры целесообразна стимуляция квадрицепса бедра на всем протяжении опоры, бицепса бедра в начале опоры, икроножной мышцы и претибимальной группы мышц в конце опоры [Витензон А.С. 2002]. Стоит напомнить, что специалист должен провести мануально-мышечное тестирование при данной проблеме мышц-стабилизаторов коленного сустава и выбрать слабое звено. В дальнейшем в ходе тренировок может направленно проводить функциональную электростимуляцию слабого мышечного звена.

ШЛЕПАЮЩАЯ СТОПА (DROP-FOOT)

Шлепающая походка (стапажная) – это патологический паттерн походки, при котором стопа не имеет достаточной силы для дорсифлексии (разгибания) в фазу переноса при ходьбе и поэтому при начальном контакте шлепает, либо начальный контакт происходит передним отделом стопы.

Это проблема, при которой пациент не может полноценно совершить дорсифлексию стопы из-за снижения контроля над мышцами-дорсифлексорами стопы (передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель пальцев стопы, длинный разгибатель большого пальца). Особенно явление заметно в фазу переноса при ходьбе, когда пациент может задевать стопой за порог, или край ступеньки. Шлепающая стопа бывает при ОНМК, повреждении малоберцового нерва, соответствующих корешков и сегментов спинного мозга (L4, 5, S1, 2), болезни Шарко-Мари-Тута. Слабость дорсифлексоров нередко ведет к эквиноварусной деформации стопы. Иногда данная проблема сочетается с особым паттерном ходьбы – степпаж, при котором человек чрезмерно сгибает бедро и колено при ходьбе, словно предохраняет пальцы от касания земли при ходьбе. При патологии существенно увеличивается риск падения. В клинической практике применяется специальный ортез для поддержания дорсифлексии стопы типа AFO. Однако наиболее важным является регулярная физическая терапия, направленная на увеличение силы и контроля целевых мышц. Проведение стреч-тестов может выявить укорочение икроножной мышцы, плантофлексоров стопы. В таком случае пациенту в качестве домашнего задания важно рекомендовать растяжки этих мышц. Функциональная электростимуляция также эффективна при данном состоянии и проводится во второй половине шага и начале опоры.

СЛАБОСТЬ ПЛАНТОФЛЕКСОРОВ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

Слабость плантофлексоров (сгибателей) голеностопного сустава – это патологическое состояние, при котором сила отталкивания стопы в начале переноса недостаточна для того, чтобы качественно начать фазу переноса при ходьбе, что приводит к компенсаторному включению мышц сгибателей голени, бедра.

К плантофлексорам относится икроножная мышца, камбаловидная, подошвенная, задняя большеберцовая, длинный сгибатель пальцев стопы, длинный сгибатель большого пальца, а также собственные мышцы-сгибатели стопы. Слабость плантофлексоров стопы приводит к уменьшению отталкивания стопы от поверхности, что укорачивает длину шага, увеличивает частоту. L.N. Awad и коллеги в своем исследовании от 2020 года показали, что у пациентов после ОНМК с сохранной независимой ходьбой может наблюдаться скрытая слабость плантофлексоров стопы, которая уменьшает скорость ходьбы. Функциональная электростимуляция может проводиться во второй половине опоры, а также небольшой промежуток времени в самом начале шага.

ЦИРКУМДУКЦИЯ

Комбинация сгибания и разгибания бедра со отведением и приведением в фазу переноса, в процессе которого нога совершает маленькие и большие дуги называется циркумдукцией. Циркумдукция является патологическим паттерном для коррекции отсутствия или низкого клиренса. Эта проблема характерна для синдрома свисающей стопы, когда пациенту не хватает дорсифлексии и передний отдел стопы задевает за поверхность в фазу переноса. Очень часто эта проблема является проявлением, моно-, геми- или парапареза, которые могут быть результатом полиневропатии, мононевропатии малоберцовых нервов, инсульта или спинальных проблем. Как правило специалисты сталкиваются с этой проблемой при церебральном инсульте, что является характерной составляющей позы Вренике-Манна и походки, связанной с ней. При этой походке у пациента перегружается средняя ягодичная мышца с двух сторон. Возможно развитие тендинопатии средней ягодичной мышцы.

Использование экзоскелета позволяет убрать отведение ноги, что блокирует у пациента возможность отведения ноги в сторону. Однако этого может быть недостаточно. Важно помнить, что причиной, которая подталкивает пациента ходить так, является слабость стопы (отсутствие дорсифлексии). Чтобы избежать циркумдукции необходимо улучшить клиренс в фазу переноса (высоту подъёма

переднего отдела стопы). Но если пациент ходил с циркумдукцией долгое время, может сформироваться привычка и возвращение движение в стопе может привести к сохранению циркумдукции.

Что делать, чтобы избежать циркумдукции:

1. С раннего периода реабилитации обучать пациента проносить ногу в фазу переноса по прямой траектории, даже если стопа касается поверхности пола. Нельзя разрешать пациенту продвигать ногу за счет отведения. На практике проще научить пациента правильно проносить стопу сразу, чем переучивать, когда циркумдукция уже сформировалась.
2. Если парез в стопе выражен, и вы уверены, что движение в стопе не восстановится – следует подобрать ортез типа AFO, который позволит держать стопу в нейтральном положении (угол ноль градусов). Этого достаточно для нормального клиренса и компенсация в виде циркумдукции не потребуется. Также можно использовать нейроортезы с нейростимуляцией малоберцового нерва, которые стимулируют нерв в фазу переноса, что приводит к появлению движения в виде дорсифлексии и эверсии в фазу переноса.
3. Если вы уверены, что есть перспектива восстановления движений в стопе – рекомендуется использовать миостимуляцию передней большеберцовой мышцы в фазу переноса, когда вы используете экзоскелет или без него. Также целесообразно тренировать стопу используя методику проприоцептивной нейромышечной фасилитации или моторного обучения. В качестве дополнительной поддержки можно использовать коррекционную технику кинезиотепирования, однако только одного тейпирования точно будет недостаточно.
4. В ряде случаев причиной циркумдукции является спастичность, при которой стопа находится в сгибании (плантефлексии). При наличии спастичности будет показана ботулинотерапия, проведение растяжек для сохранения длины икроножной и задней большеберцовой мышц.

Если у пациента сохраняется циркумдукция, несмотря на устранение выше указанных причин, следует использовать обучение пациента на дорожке, когда специалист следит за правильной траекторией передвижения стопы в фазу переноса и стимулирует правильное движение по прямой траектории без отведения бедра. Это может потребовать от пациента больших когнитивных усилий, чтобы пациент следил за походкой на дорожке и вне дорожки. Очень важно, как специалист поддерживает пациента.

Циркумдукция может быть связана с контрактурой коленного сустава. При наличии циркумдукции следует проверить у пациента объём движений в коленном суставе. Если есть разгибательная контрактура, то следует выяснить причину ее и устранить причину. В этом может помочь суставная мобилизация или стретчинг (растяжка) мышц.

Очень часто при компенсаторной походке с циркумдукцией встречается слабость четырехглавой мышцы бедра и, в частности, прямой мышцы бедра, которая проявляется отсутствием сгибания колена в фазу переноса и коллапсом колена (в фазу опоры колено может сгибаться и быть не устойчивым, уходить в динамический «вальгус» или «варус»). При циркумдукции рекомендуется проверять силу разгибателей колена. Если выявляется слабость разгибателей колена целесообразно проводить миостимуляцию четырехглавой мышцы бедра. Обычно в такой ситуации рекомендуется проводить стимуляцию четырехглавой мышцы начиная от 85% фазы опоры до 15% периода переноса [Springer S, 2012]. Однако следует обратить внимание, что у пациента при не решенной проблеме плохого клиренса может сформировать степажная походка, при которой пациент вынужден высоко поднимать колено в фазу переноса. Степажная походка тоже является патологическим паттерном, который повышает риск падения и затрудняет нормальное восстановление походки, поэтому следует избегать формирования такой компенсации. Обучение степажной походке у пациентов со слабой стопой является частой ошибкой специалистов по ЛФК и характеризует низкое качество реабилитации.

СИНДРОМ СПАСТИЧНОСТИ

Спастичность – это симптом, при котором повышен тонус отдельных мышечных групп, что физиологически обусловлено повреждением центрального мотонейрона или проводящих путей от него к спинальному мотонейрону.

При спастичности повышен тонус мышечных групп нижних конечностей из-за повреждения кортикоспинального пути. Во многих исследованиях рекомендуют проводить электростимуляцию мышц-антагонистов для уменьшения уровня спастичности. В то же время надежных источников, доказывающих эффективность электростимуляции с этой целью, недостает. Требуются дальнейшие исследования данного вопроса. Витензон рекомендует при электростимуляции сделать акцент на включении мышц-стабилизаторов таза и позвоночного столба. Повышение контроля над локальными стабилизаторами крупных суставов приводит к снижению тонуса крупных мышц глобального контроля. Основными целями электростимуляции будут средние ягодичные мышцы, околопозвоночные, в некоторых случаях – квадрицепс бедра.

При спастичности может увеличиваться тонус при экзорееабилитации или при боли. На протяжении занятия следует отслеживать состояние мышечного тонуса. Значимое повышение мышечного тонуса является основанием для прекращения занятий с целью избежать ятрогении. В таком случае следует избрать другие методики реабилитации.

РАССЕЯННЫЙ СКЛЕРОЗ

Рассеянный склероз (РС) – это аутоиммунное демиелинизирующее заболевание центральной нервной системы. Для РС характерно возникновение очагов демиелинизации белого вещества в разных локусах центральной нервной системы, в разное время жизни. Следствием демиелинизации может быть, к примеру, та же спастичность, парез.

При рассеянном склерозе может самая разнообразная картина неврологических нарушений, что обусловлено локализацией очагов демиелинизации. Johann Szecsi и коллеги в 2009 году оценили

эффективность функциональной электростимуляции у группы пациентов с рассеянным склерозом. Тренировки проводились в режиме по 3 в неделю, на протяжении 2 недель. Исследование показало существенное кратковременное снижение уровня спастичности, однако двухнедельного курса было недостаточно для увеличения мышечной силы и качества ходьбы, оцененного с помощью теста десятиметровой ходьбы.

ДЕТСКИЙ ЦЕРЕБРАЛЬНЫЙ ПАРАЛИЧ (ДЦП)

ДЦП – это группа состояний, при которых имеется перинатальное повреждение центральной нервной системы, приводящее к непрогрессирующим двигательным нарушениям.

Петрушевская К.А. и Витензон А.С. в публикации от 2009 года показали эффективность функциональной электростимуляции при детском церебральном параличе, диплегической форме. Применялась направленная стимуляция больших ягодичных мышц в первой половине опоры, а также передней большеберцовой мышцы во второй половине опоры и на протяжении всего переноса. Для проведения ФЭС эффективна последовательность электрических импульсов амплитудой 50—250 мА, длительностью 50—200 мкс и частотой 50—60 Гц. В результате курса ФЭС наблюдается увеличение силы паретичных мышц, улучшение периферического кровообращения, нормализация биомеханической и иннервационной структуры локомоции, снижение энерготрат при ходьбе. Тренировки проводились в течение 30—45 мин на расстояние до 2 км в течение 15—20 сеансов. В то же время следует соблюдать осторожность при наличии спастичности или дистонического синдрома. Помнить об общих противопоказаниях применения технологии при высоком мышечном тоне (выше 3 баллов по шкале Ашворта).

Таким образом, мы видим, что применение функциональной электростимуляции эффективно и безопасно при разных клинических состояниях (ОНМК, рассеянный склероз, ДЦП, спинальная травма). Каждое заболевание имеет ряд характерных особенностей клинической картины, что приводит к специфическим подходам к формированию мышечной карты электромиостимуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение экзоскелета с функциональной электростимуляцией и ЭМГ-контролем сохраняет преимущества использования экзоскелета как отдельного инструмента в реабилитации, так и включает в себя положительные эффекты от электростимуляции в части увеличения эффективности восстановления моторного контроля. Метод является сравнительно новым в сфере физической и реабилитационной медицины, представляет живой интерес для исследовательской работы. В то же время накопившиеся исследовательские данные говорят о безусловных преимуществах применения такой технологии у пациентов с последствиями острого нарушения мозгового кровообращения, спинальной травмой, рассеянным склерозом, детским церебральным параличом. Восстановление активности и участия пациента в ходе реабилитации – сложный и комплексный процесс. Применение даже самых передовых технологий не избавляет от необходимости тщательно проводить диагностику нарушенных функций, активности и участия, факторов среды силами мультидисциплинарной реабилитационной команды, ставить цель курса реабилитации и осуществлять весь комплекс реабилитационных мероприятий в соответствии с планом реабилитации. Повышение качества жизни, увеличение уровня независимости пациентов зависит от слаженной работы команды реабилитологов, а эффективность нашей работы повышает применение таких технологий, как описанная в этом пособии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валериус К.-П., Франк А., Колстер Б.К. «Мышцы. Анатомия. Движения. Тестирование», издательство Практическая медицина, 2016 год, 432 стр.
2. Витензон А. С.; Гончаров Н. Г.; Грищенко Г. П. Разработка метода и средств искусственной коррекции движений посредством электрической стимуляции мышц при патологической ходьбе, Москва: 2002, ФЦЭРИ Министерство Труда и социального развития Российской Федерации.
3. Гурьянова Е. А., Ковальчук В. В., Тихоплав О. А., Литвак Ф. Г. Функциональная электростимуляция при восстановлении ходьбы после инсульта. Обзор научной литературы. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2020;2(3):244–262. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab34831>
4. Доценко В.И., Куренков А.Л. (2012). Теоретическое обоснование и практическое использование технологии функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе у неврологических больных. Вестник Восстановительной Медицины, 2, 21–28.
5. Доценко В.И., Титаренко Н.Ю. (2008). Функциональная программируемая электромиостимуляция в ходьбе у детей и подростков со сколиотической болезнью. Медицинский Алфавит. Больница, 2, 11–15.
6. Доценко, В. И. (2009). Современные безмедикаментозные методы лечения с рефлекторным механизмом действия в нейрореабилитации детей, подростков и взрослых В.И.pdf. Медицинский алфавит. Больница 4.

7. Доценко, В. И. (2011). Перестройка патологического двигательного стереотипа с ремоделированием «правильных» движений у ортопедо-неврологических больных с использованием современных аппаратных средств. Научный центр здоровья детей РАМН, Научно-медицинская фирма «Статокин».
8. Доценко, В. И. (2012). Клинико-теоретические аспекты использования функциональной электромиостимуляции в ходьбе у больных с неврологической патологией (рр. 32–33). ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, ООО Научно-медицинская фирма «Статокин».
9. Доценко, В. И., & Титаренко, Н. Ю. (2012). Возможности функциональной электромиостимуляции в ходьбе у детей и подростков со сколиотической болезнью. 268 практическая медицина, 2(57), 268–271.
10. Костенко Е.В., Петрова Л.В. (2014). Функциональная электростимуляция в комплексной реабилитации пациентов с постинсультной спастичностью нижней конечности. Аппаратная Реабилитация, 13(101), 15–21.
11. Рева В.Д., Куликов М.П., Кочетков А.В., Костин Л.Н., Горбешко Г.А., Доценко В.И., Куренков А.Л., (2007). Функциональная программируемая электростимуляция локомоторного аппарата в клинической нейрореабилитации. In гоу «институт повышения квалификации федерального медико-биологического агентства» кафедра восстановительной медицины центральная клиническая больница восстановительного лечения (Vol. 9, Issue 2).
12. Ткаченко П.В., Даминов В.Д. (2018). Синхронизированное применение экзоскелета с функциональной электростимуляцией у пациентов с последствиями травмы спинного мозга. Вестник Восстановительной Медицины, 471, 122–130.

13. Awad LN, Hsiao H, Binder-Macleod SA. Central Drive to the Paretic Ankle Plantarflexors Affects the Relationship Between Propulsion and Walking Speed After Stroke. *J Neurol Phys Ther.* 2020 Jan;44(1):42-48. doi: 10.1097/NPT.0000000000000299. PMID: 31834220; PMCID: PMC8049399.
14. Belda-Lois JM, Mena-del Horno S, Bermejo-Bosch I, Moreno JC, Pons JL, Farina D, Iosa M, Molinari M, Tamburella F, Ramos A, Caria A, Solis-Escalante T, Brunner C, Rea M. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *J Neuroeng Rehabil.* 2011 Dec 13;8:66. doi: 10.1186/1743-0003-8-66. PMID: 22165907; PMCID: PMC3261106.
15. Cameron, M. H., & Monroe, L. G. (2007). Physical Rehabilitation. In *Physical Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-0361-2.X5001-7>
16. Chang, S. R., Nandor, M. J., Li, L., Kobetic, R., Foglyano, K. M., Schnellenberger, J. R., Audu, M. L., Pinault, G., Quinn, R. D., & Triolo, R. J. (2017). A muscle-driven approach to restore stepping with an exoskeleton for individuals with paraplegia. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0258-6>
17. de-la-Cruz-Torres B, Barrera-García-Martin I, Romero-Morales C. Comparative Effects of One-Shot Electrical Stimulation on Performance of the Flexor Hallucis Longus Muscle in Professional Dancers: Percutaneous Versus Transcutaneous? *Neuro-modulation*. 2020 Aug;23(6):865-870. doi: 10.1111/ner.13040. Epub 2019 Aug 25. PMID: 31448488.
18. European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 11. Challenges and perspectives for the future of PRM. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 311-321.
19. European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 10. Science and research in PRM: specificities and challenges. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 287-310.

- 20.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 9. Education and continuous professional development: shaping the future of PRM. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 279-286.
- 21.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 8. The PRM specialty in the healthcare system and society. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. Vol. 54, Iss. 2. – P. 261-278.
- 22.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 7. The clinical field of competence: PRM in practice. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 230-260.
- 23.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 6. Knowledge and skills of PRM physicians. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 214-229.
- 24.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 5. The PRM organizations in Europe: structure and activities. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 198-213.
- 25.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 4. History of the specialty: where PRM comes from. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 186-197.
- 26.** European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 3. A primary medical specialty: the fundamentals of PRM. Eur. J. Phys. Rehabil. Med. – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 177-185.

27. European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine in Europe. Chapter 2. Why rehabilitation is needed by individual and society. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 166-176.
28. European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine (PRM) in Europe. Chapter 1. Definitions and concepts of PRM. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 156-165.
29. European Physical and Rehabilitation Medicine Bodies Alliance. White Book on Physical and Rehabilitation Medicine in Europe. Introductions, Executive Summary, and Methodology. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* – 2018 Apr. – Vol. 54, Iss. 2. – P. 125-155.
30. Fabrication, W., Testing, F., & Lsi, T. (1998). FES Coupled with a Powered Exoskeleton for Cooperative Muscle contribution in persons with paraplegia. *Journal of Personality*, 74(4), 238–241.
31. Geerars M, Minnaar-van der Feen N, Huisstede BMA. Treatment of knee hyperextension in post-stroke gait. A systematic review. *Gait Posture*. 2022 Jan;91:137-148. doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.08.016. Epub 2021 Aug 24. PMID: 34695721.
32. Inoue, J., Kimura, R., Shimada, Y., Saito, K., Kudo, D., Hatakeyama, K., Watanabe, M., Maeda, K., Iwami, T., Matsunaga, T., & Miyakoshi, N. (2022). Development of a Gait Rehabilitation Robot Using an Exoskeleton and Functional Electrical Stimulation: Validation in a Pseudo-paraplegic Model. *Progress in Rehabilitation Medicine*, 7(0), n/a. <https://doi.org/10.2490/prm.20220001>
33. Latash, M. L., & Zatsiorsky, V. M. (2015). Biomechanics and Motor Control: Defining Central Concepts. In *Biomechanics and Motor Control: Defining Central Concepts*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18342-0>

- 34.** Mazzoleni, S., Battini, E., Rustici, A., & Stampacchia, G. (2017). An integrated gait rehabilitation training based on Functional Electrical Stimulation cycling and overground robotic exoskeleton in complete spinal cord injury patients: Preliminary results. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 289–293. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009261>
- 35.** Neuromuscular Stimulation (NMS): Electrode Placement Manual), сайт veritymedical.com/, 40 P.
- 36.** Park JH, Restrepo C, Norton R, Mandel S, Sharkey PF, Parvizi J. Common peroneal nerve palsy following total knee arthroplasty: prognostic factors and course of recovery. The Journal of arthroplasty. 2013 Oct 1;28(9):1538-42
- 37.** Pennati GV, Bergling H, Carment L, Borg J, Lindberg PG, Palmcrantz S. Effects of 60 Min Electrostimulation With the EXO-PULSE Mollie Suit on Objective Signs of Spasticity. Front Neurol. 2021 Oct 15;12:706610. doi: 10.3389/fneur.2021.706610. PMID: 34721255; PMCID: PMC8554021.
- 38.** Petrushanskaia KA, Vitenzon AS. [Rehabilitation treatment of patients with children cerebral palsy using functional muscle electrostimulation during gait]. Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova. 2009;109(1):27-34. Russian. PMID: 19156083.
- 39.** Sahrman, S. A. (2006). Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes. In Mosby (Vol. 1999, Issue December).
- 40.** Springer S, Vatine JJ, Lipson R, Wolf A, Laufer Y. Effects of dual-channel functional electrical stimulation on gait performance in patients with hemiparesis. ScientificWorldJournal. 2012;2012:530906. doi: 10.1100/2012/530906.
- 41.** Stampacchia, G., Olivieri, M., Rustici, A., D'Avino, C., Gerini, A., & Mazzoleni, S. (2020). Gait rehabilitation in persons with spinal cord injury using innovative technologies: an observational study. Spinal Cord, 58(9), 988–997. <https://doi.org/10.1038/s41393-020-0454-2>

42. Szecsi J, Schlick C, Schiller M, Pillmann W, Koenig N, Straube A. Functional electrical stimulation-assisted cycling of patients with multiple sclerosis: biomechanical and functional outcome--a pilot study. *J Rehabil Med*. 2009 Jul;41(8):674-80. doi: 10.2340/16501977-0397. PMID: 19565162.
43. World Health Organization & World Bank. (2011). World report on disability 2011. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44575>
44. Yang, Z., Gu, W., Zhang, J., & Gui, L. (2017). Force Control Theory and Method of Human Load Carrying Exoskeleton Suit. In *Force Control Theory and Method of Human Load Carrying Exoskeleton Suit*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54144-9>
45. Yao D, Jakubowitz E, Ettinger S, Claassen L, Plaass C, Stukenborg-Colsman C, Daniilidis K. Funktionelle Elektrostimulation zur Therapie des neurogenen Fallfues : Klinisches Outcome [Functional electrostimulation for drop foot treatment : Clinical outcome]. *Orthopade*. 2017 Mar;46(3):227-233. German. doi: 10.1007/s00132-016-3371-5. PMID: 27995271.





ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЧЕК-ЛИСТ «ОСМОТР ПАЦИЕНТА ПЕРЕД ЗАНЯТИЕМ С ЭКЗОСКЕЛЕТОМ И ФЭС»

ФИО Пациента: _____

Дата: _____

Параметры осмотра	Да	Нет
Пролежни при осмотре кожный покровов		
Повреждение кожный покровов в местах крепления электродов экзоскелета		
АД выше 140/90		
АД ниже 100/60		
Пульс выше 100		
Ортостатическая проба положительная на низкую толерантность к нагрузке		
Тонус мышц ног и рук выше 3 баллов по шкале Ашворта		
Сила мышц рук менее 4 баллов по шкале мышечной силы		
Стойкие контрактуры в суставах рук и (или) ног		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

ПАМЯТКА ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ПИЛОТА В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ

- При наклоне тела вперед ягодицы должны плотно соприкасаться со спинкой экзоскелета
- Соосность вращения коленного сустава в вертикальной плоскости и вращения коленного шарнира
- При нахождении в экзоскелете костыли необходимо ставить шире, чтобы не допустить выбивания костыля ногой экзоскелета, поэтому высота костылей устанавливается чуть длиннее
- Проверить угол сгибания коленного сустава на обеих ногах по подколенной ямке (необходимо провести по ней рукой). Не должно быть стойкой контрактуры коленного сустава. Предельный угол сгибания можно указать в планшете. Максимальный – 10 градусов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ИНФОРМИРОВАННОЕ ДОБРОВОЛЬНОЕ СОГЛАСИЕ ПАЦИЕНТА

ИНФОРМИРОВАННОЕ ДОБРОВОЛЬНОЕ СОГЛАСИЕ/ОТКАЗ ПАЦИЕНТА НА ВЫПОЛНЕНИЕ МАНИПУЛЯЦИИ В АМБУЛАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Настоящее добровольное согласие составлено в соответствии
статьей 20, 21 Федерального закона от 21.11.2011г. №323-ФЗ
“Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации”

Я, _____

(Ф.И.О. пациента - полностью)

_____ года рождения, проживающая по адресу: _____

**данный раздел бланка заполняется только на лиц, не достигших
возраста 15 лет, или недееспособных граждан**

Я, _____

(фамилия, имя, отчество - полностью)

паспорт: _____

(серия, номер паспорта, когда и кем выдан)

_____ являюсь законным представителем (мать, отец, усыновитель,
опекун, попечитель) ребенка или
лица, признанного недееспособным: _____

(Ф.И.О. ребенка или недееспособного гражданина - полностью, дата рождения)

находясь на лечении (обследовании) в _____

_____ отделении, _____ я (представляемый)
ознакомлен(а) с тем, что его специалисты при необходимости окажут
мне (представляемому) квалифицированную медицинскую помощь
по медицинской реабилитации.

Настоящим _____ я _____ (представляемый) добровольно _____ (вписать: «даю», «не даю») согласие врачам на проведение лечебной физкультуры с применением экзоскелета и функциональной электростимуляцией в амбулаторных (стационарных) условиях и прошу медицинский персонал о ее проведении.

Мне (представляемому) объяснены и понятны суть моего (представляемого) заболевания, опасности, связанные с дальнейшим развитием этого заболевания. Подтверждаю, что я (представляемый) ознакомлен(а) с характером предстоящей мне (представляемому) манипуляции и я (представляемый) понимаю особенности и ход предстоящего лечения.

Мне (представляемому) разъяснено, и я (представляемый) осознаю, что во время манипуляции могут возникнуть обстоятельства, препятствующие ее выполнению или выявиться ситуация, требующая изменения плана манипуляции. В такой ситуации врач должен поступить согласно возникшим обстоятельствам.

Я (представляемый) осведомлен(а) обо всех возможных осложнениях, которые могут произойти во время и после манипуляции. Я (представляемый) уполномочиваю врача выполнить любую процедуру или дополнительное вмешательство, которое может потребоваться в целях лечения, а также в связи с возникновением непредвиденных ситуаций.

Я (представляемый) поставил(а) в известность врача обо всех проблемах, связанных с моим (представляемого) здоровьем, в том числе об аллергических проявлениях или индивидуальной непереносимости лекарственных препаратов, обо всех перенесенных мною (представляемым) и известных мне (представляемому) травмах, операциях, заболеваниях, в том числе носительстве ВИЧ - инфекции, вирусных гепатитах, туберкулезе, инфекциях, передаваемых половым путем, об экологических и производственных факторах физической, химической или биологической природы, воздействующих на меня (представляемого) во время жизнедеятельности, принимаемых лекарственных средствах, проводившихся ранее переливаниях крови и ее компонентов. Сообщил(а) правдивые сведения о наследственности, а также об употреблении алкоголя, наркотических, психоактивных и токсических средств.

В случае возникновения неотложных ситуаций даю согласие на госпитализацию меня (представляемого) в стационар.

Я (представляемый) имел(а) возможность задавать любые вопросы и получил(а) исчерпывающие и понятные мне (представляемому) ответы. Я (представляемый) имел(а) достаточно времени для принятия решения о согласии на предложенное мне (представляемому) обследование и лечение, проведение манипуляции. В случае отказа от проведения манипуляции всю ответственность за исход беру на себя.

Я (представляемый) подтверждаю, что вышеизложенное мною (представляемым) прочитано, оно мне (представляемому) полностью понятно, пустые строки заполнены до подписания документа, что я и подтверждаю своей подписью. Мое (представляемого) решение является свободным и добровольным и представляет собой информированное добровольное согласие/отказ на проведение медицинского вмешательства. Слова текста, не относящиеся ко мне (представляемому), вычеркнуты, пустые строки зачеркнуты.

Пациент (законный представитель)

_____ « ____ » _____ 20__ г.
подпись Ф.И.О (полностью) дата

Пациент (законный представитель) уяснил(а) цель, пользу, риск, альтернативу запланированных обследования и лечения и расписался в моем присутствии:

Врач _____ « ____ » _____ 20__ г.
подпись Ф.И.О (полностью) дата

Переводчик (если использовался)

(фамилия, имя, отчество) (подпись)

Этот раздел заполняется при отсутствии возможности пациенту/законному представителю поставить подпись лично

Ввиду объективных причин (_____)

пациент/законный представитель может изъявить свою волю, но не может поставить подпись лично. Данный документ заполнен врачом на основании ответов пациента/законного представителя. Содержание информированного согласия пациенту/законному представителю зачитано, необходимые разъяснения проведены.

Получено устное согласие на проведение вышеуказанных медицинских вмешательств.

Дата: «_____» _____ 20____г

Время: _____ час _____ мин.

Врач _____ (_____)

Врач _____ (_____)

ШМОНИН А.А.
ЛЕБЕДЕВ П.В.

**ЭКЗОРЕАБИЛИТАЦИЯ
С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЕЙ**

Учебно-методическое пособие