

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИКО-ХИРУРГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИМ. Н.И.ПИРОГОВА»
МИНЗДРАВА РОССИИ

ИНСТИТУТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВРАЧЕЙ ФГБУ «НМХЦ ИМ. Н.И. ПИРОГОВА»
МИНЗДРАВА РОССИИ

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЛОКОМОТОРНОЙ ТЕРАПИИ В БЕЗОПОРНОМ СОСТОЯНИИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ТЯЖЕЛОЙ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
д.м.н. В.Д. Даминова

МОСКВА 2021

Ткаченко П.В., Загородникова Ю.В., Карташов А.В., Сердюк И.Е.

«Применение роботизированного программно-аппаратного комплекса для локомоторной терапии в безопорном состоянии в реабилитации пациентов с последствиями тяжелой позвоночно-спинномозговой травмы». -М.: РАЕН, 2021. – 44 с.

ISBN

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Л.Д. Шалыгин – докт. мед. наук, проф., acad. РАМТН, РАЕН, РЭА, заслуженный врач РФ, Ректор Института усовершенствования врачей ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;

АВТОРЫ:

П.В. Ткаченко – к.м.н., врач по физической и реабилитационной медицине, заведующий отделением медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Ю.В. Загородникова – врач-невролог, врач-рефлексотерапевт, врач-физиотерапевт, врач по лечебной физкультуре отделения медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

А.В. Карташов – к.м.н., врач-невролог, врач-физиотерапевт, врач по лечебной физкультуре отделения медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

И.Е. Сердюк – к.м.н., врач-невролог, врач-физиотерапевт, врач по лечебной физкультуре отделения медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Данное методическое пособие освещает вопросы применения в клинической практике роботизированного программно-аппаратного комплекса для локомоторной терапии в безопорном состоянии у пациентов с последствиями тяжелой позвоночно-спинномозговой травмы.

Пособие предназначено для врачей по физической и реабилитационной медицине, физиотерапевтов, врачей лечебной физкультуры и спортивной медицины, физических терапевтов и других специалистов по медицинской реабилитации, неврологов, нейрохирургов, ортопедов, травматологов.

Учебно – методическое пособие рекомендовано к печати учебно-методическим советом Института усовершенствования врачей НМХЦ им. Н.И. Пирогова. Протокол № 1 от 27.01.2020 года.

© Текст. Авторы, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ.....	6
НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ, ТРЕБОВАНИЯ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ	9
Требования к персоналу.....	9
Требования к месту проведения тренировок.....	9
Требования к одежде пациента	9
Другие требования	9
Основные меры предосторожности во время работы на комплексе	9
ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСА.....	11
Показания	11
Противопоказания.....	11
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ	14
Оценка безопасности реабилитационного лечения	14
Оценка эффективности реабилитационного лечения	15
ПОДГОТОВКА ПАЦИЕНТА К ТРЕНИРОВКЕ	22
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНИРОВКИ	31
Режимы работы комплекса.	31
УПРАВЛЕНИЕ СТИМУЛЯТОРОМ В ПРОГРАММЕ	37
Базовая методика применения электростимуляции	43
Активные тренировки.....	51
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	53
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	57
ЛИТЕРАТУРА.....	58

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации насчитывается более 250 тысяч инвалидов вследствие позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ). Их число нарастает из-за роста травматизма и повышения выживаемости пациентов в остром и отдаленном периодах ПСМТ. В то же время, количество случаев травматизма не имеет тенденции к снижению и отмечается крайне высокая инвалидизация в результате ПСМТ — до 95%, что является серьезной медико-социальной проблемой [Богданова Л.П., 2006].

ПСМТ сопровождается нарушением многих функций организма. Основной инвалидизирующий фактор — утрата возможности поддержания вертикальной позы и ходьбы, что, в свою очередь, приводит к нарушению функции органов дыхания, кровообращения, мочеиспускания, желудочно-кишечного тракта. Длительное пребывание в инвалидной коляске не является физиологичным. Это создаёт условия для формирования многочисленных осложнений, обусловленных вынужденным положением, гиподинамией и позиционным сдавлением. В связи с этим восстановление вертикальной позы и локомоции служит важным саногенетическим фактором для этой категории пострадавших.

Однако, несмотря на то, что имеется понимание важности вертикальной позы и ходьбы, количество обученных ходьбе пациентов после ПСМТ незначительное. Изучение локомоции в однородной группе больных с нижней параплегией (тип А по ASIA) вследствие поражения спинного мозга на уровне груднопоясничного перехода показало, что потенциально способны к адаптивной ходьбе до 80% пострадавших [Потехин Л.Д., 1990]. Но на практике удаётся восстановить вертикальную позу и ходьбу не более чем в 40% случаев. Используют же в повседневной жизни полученные локомоторные навыки менее 10% пациентов с нижней параплегией, что обусловлено сложностью, высокой трудозатратностью и невысокой практической значимостью сформированной адаптивной ходьбы. Помимо глубины патологии, вероятной причиной сложившейся ситуации может быть низкое качество формируемого двигательного стереотипа, что затрудняет или делает невозможным его повседневное использование. Этому также способствует отсутствие единых стандартов реабилитации, критериев формирования реабилитационных программ и научно-обоснованных методик восстановления локомоторных функций.

В рамках восстановительной концепции пациентам с ПСМТ назначается лечение, интегрирующее сегменты ниже уровня поражения в выполнение функции, и подбираются внешние устройства, помогающие максимально включать эти сегменты в двигательную активность. Одной из частных проблем двигательной реабилитации является преждевременная вертикализация, которая даже при использовании высокотехнологичных роботизированных методов не приводит к формированию локомоции, а наоборот, в некоторых случаях способствует нарастанию спастического синдрома, физической перегрузке и дополнительной травматизации тканей пациента. Вместе с тем, раннее начало реабилитационных мероприятий существенно улучшает прогноз на восстановление функций, в том числе локомоции [Даминов В.Д., 2013]. В стремлении улучшить результаты двигательного обучения роботизированными методами требуются новые подходы, основанные на безопорном состоянии при исключении вертикальной позы. Этими свойствами обладает программно-аппаратный комплекс для локомоторной терапии в безопорном состоянии.

Принцип безопорности в реабилитационной практике применяется много лет. Используются технические решения, которые различаются способом компенсации веса тела, формированием активных или пассивных движений в паретичных конечностях, использованием и видом биологической обратной связи для контроля и управления движениями. Принцип безопорности реализуется на эластичных или ригидных подвесных системах типа RedCord или Экзарта, в условиях сухой иммерсии или даже в водной среде. Также безопорное состояние активно изучается с 60-х годов прошлого века и по настоящее время в связи с выполнением космических программ, для изучения физиологических параметров в условиях невесомости при длительном пребывании космонавтов на орбите. Установлено, что в условиях микрогравитации происходит резкое снижение системы тонического мышечного контроля [Козловская И.Б. 2017], что может способствовать снижению конкурентного влияния на нижний мотонейрон со стороны различных двигательных центров, облегчая задачу восстановления коркового компонента моторного контроля. Безопорное состояние нивелирует вес сегментов тела, поэтому реализуется произвольная мышечная активность при силе мышц 3 балла и менее.

Кроме того, безопорные методы кинезотерапии способствуют снижению боли и спазма, препятствуют искажению двигательного стереотипа, что обычно наблюдается при компенсации функции паретичных мышц за счёт вышележащих непораженных сегментов тела. Безопорность (микрогравитация) в подвесе снижает механическую нагрузку и реакцию опоры, но при этом сохраняется объем движений [Козловская И.Б. 2017 г.].

Отдалённо это напоминает внутриутробные условия развития человека. Известно, что первые двигательные навыки ребенок приобретает еще до своего рождения, в условиях микрогравитации, когда плотность околоплодных вод и плода примерно равны. Согласно данным, полученным при нелинейном анализе и ЭМГ новорожденных детей, внутриутробное состояние плода практически идентично условиям иммерсии (гипогравитации) и может служить моделью невесомости [Зарипова Ю.Р. с соавт. 2011]. Как следствие, новорожденный уже имеет примитивные локомоторные рефлексы, которые служат основой для дальнейшего формирования локомоторных навыков. Но в публикациях утверждается, что высокий реабилитационный потенциал пациентов после позвоночно-спинномозговой травмы полностью раскрывается, если соблюдаются принципы последовательного кинезогенеза, когда двигательные задачи перед пациентом постепенно возрастают по сложности [Леонтьев, М.А. 2003]. И в этом плане программно-аппаратный комплекс для локомоторной терапии в безопорном состоянии может с успехом использоваться в ранние сроки после повреждения, способствуя формированию примитивных локомоторных реакций для последующего двигательного обучения. Кроме того, применение комплекса позволяет в большем объёме использовать механизмы саногенеза, что способствует снижению действия инвалидизирующих факторов, повышению эффективности реабилитационного процесса в целом и двигательного восстановления в частности.

ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Комплекс аппаратно-программный для локомоторной терапии в безопорном состоянии (РЗН 2019/8535 от 19.07.2019 года произ-

водитель «МИКОНТ», далее по тексту — комплекс) предназначен для проведения автоматизированной восстановительной терапии пациентов с нарушением двигательной функции, связанной с последствиями травм, операций на головном и спинном мозге, инсультами, а также с детским церебральным параличом. Комплекс позволяет реализовать локомоторное восстановление туловища и нижних конечностей за счет пассивного, пассивно-активного и активного режимов. Активные тренировки пациента на аппарате сочетаются с применением биологической обратной связи — игровой виртуальной среды.

Комплекс представляет собой роботизированный реабилитационный тренажер, позволяющий пациенту совершать телом различные движения, будучи подвешенным на подвесах в горизонтальном положении. При этом на экране пациента отображается игровая среда, которой он может управлять, что создает обратную связь и инициирует его движения. Управление тренажером осуществляется посредством компьютерной программы управления (полное название программы — “Компьютерная программа управления аппаратно-программным комплексом для локомоторной терапии в безопорном состоянии”).

Режим работы комплекса (пассивный, пассивно-активный или активный) выбирается оператором в программе управления. В пас-



Рис. 1. Общий вид комплекса.

сивном режиме работы траектория движения полностью определяется тренажёром, характеристики движения задаются оператором в программе управления. В пассивно-активном режиме характеристики движения также задаются оператором, но пациент имеет возможность влиять на траекторию движения, прилагая определённые усилия. В активном режиме работы траектория движения полностью определяется пациентом.

Механика аппаратно-программного комплекса имитирует состояние человека в воде. Специальная пневматическая система уравнивает вес пациента. Движения задаются системой электроприводов. Таким образом, находясь в состоянии практически безразличного равновесия, пациент сам участвует в построение движения при малой силе и недостатке координации, совместно с системой электроприводов.

Комплекс может использоваться отдельно или синхронизованно с чрескожной электростимуляцией спинного мозга (ЧЭССМ). ЧЭССМ — метод воздействия на спинной мозг посредством электрического тока. При наложении кожных электродов в области поясничного утолщения происходит стимуляция афферентных волокон задних корешков. Для этого применяется пятиканальный электрический стимулятор для стимуляции спинного мозга (Рис. 2).



Рис. 2. Общий вид стимулятора.

Применение ЧЭССМ у пациентов с повреждением спинного мозга в проведенных исследованиях имеет позитивные результаты в виде повышения мышечной силы в конечностях, появления двигательных реакций в конечностях, улучшения устойчивости при поддержании вертикальной позы, улучшения болевой и тактильной чувствительности и расширение их зон (Мошонкина Т.Ю., Шапкова Е.Ю., 2016; Hofstoetter U. et al., 2011; Minassian K. et al., 2011; Даминов В.Д., Ткаченко П.В., 2020 г.).

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ, ТРЕБОВАНИЯ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Требования к персоналу

К работе с комплексом допускается только квалифицированный медицинский персонал, прошедший специальное обучение, изучивший в полном объеме руководство по эксплуатации, прилагаемое к данному комплексу и имеющий разрешение на работу с комплексом. Специалисты, допускаемые к работе на комплексе: физический терапевт, инструктор-методист по ЛФК, инструктор по ЛФК, врач по физической и реабилитационной медицине, врач по ЛФК.

Требования к месту проведения тренировок

Для проведения тренировок необходимо помещение, отвечающее следующим требованиям: минимальная площадь 20 м², ширина не менее 4 м, высота потолка не менее 2,75 м.

Требования к одежде пациента

Пациент должен быть одет в удобную не стесняющую одежду с длиной рукава, достаточной для закрытия запястья и длиной штанины, достаточной для закрытия лодыжек. Это необходимо для того, чтобы исключить контакт манжеты с кожей пациента.

Другие требования

Для комфорта пациентов, желательно иметь влажные и сухие салфетки, одноразовые стаканы, кулер или бутылки питьевой воды.

Основные меры предосторожности во время работы на комплексе

- Специалист по медицинской реабилитации должен обязательно присутствовать во время занятия пациента на комплексе.
- Проверка состояния комплекса выполняется перед занятием и заключается в проверке целостности тросов, манжет, наличия защитных кожухов, затянутости болтов фиксации блока пациента, целостности кабелей. При обнаружении неисправностей эксплуатировать комплекс запрещается. Необходимо прекратить занятие, если комплекс работает не должным образом (появление стука, вибрации, скрежета).

- В процессе работы специалист по медицинской реабилитации не должен одновременно касаться пациента и любой металлической части комплекса.
- Кнопки “Аварийный стоп” предназначены для экстренного останова тренажёра в случае опасности (например, при потере управления над комплексом).
 При нажатии на любую из кнопок тренажёр отключается как от линии электропитания, так и от пневматической линии (Рис. 3). При этом автоматически сбрасывается воздух из пневмоцилиндров и пациент плавно опускается на кушетку.
 Для активации кнопки нажмите на неё. Для разблокирования кнопки потяните “гриб” вверх, при этом потребуется приложить ощутимое усилие (Рис. 4).
- Не допускается использования комплекса без применения накладки одноразовой на манжету для головы, а также повторное использование одноразовой накладки (Рис. 5).



Рис. 3. Нажатие кнопки аварийной остановки.



Рис. 4. Разблокировка кнопки аварийной остановки.



Рис. 5. Расположение одноразовой прокладки в манжете для головы.

ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСА

Показания

Аппаратно-программный комплекс для локомоторной терапии в безопорном состоянии может применяться у пациентов со следующими патологиями:

- Последствия позвоночно-спинномозговой травмы
- Последствия геморрагического или ишемического инсульта
- Последствия оперативных вмешательств на головном и спинном мозге
- Детский церебральный паралич
- Последствия других неврологических заболеваний с нарушением двигательной функции

В данном методическом пособии будет описана методика проведения тренировок только для пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы.

Комплекс может использоваться у пациентов со следующими антропометрическими данными:

- Рост пациента 120–200 см
- Масса пациента 40–120 кг.

Противопоказания

- Прогрессирующий функциональный дефицит (нарастающий неврологический, кардиологический, дыхательный т.д. дефицит)
- Состояние декомпенсации соматических функций, в том числе требующих их протезирования (ИВЛ, гемодиализ, плазмаферез и т.д.) или коррекции жизненно-важных функций при условии их постоянного мониторинга в отделении реанимации и интенсивной терапии (инотропная поддержка и т.д.)
- Нарастание органной недостаточности (сердечно-сосудистой, почечной, печеночной, дыхательной и т.д.)
- Клинико-лабораторные признаки инфекционно-воспалительного процесса (менингит, пневмония, пролежни, диарея, цистит, остеомиелит, перипротезная инфекция и т.д.)
- Лихорадочный синдром
- Острые инфекционные заболевания

- Статус хронического нарушения сознания с низким потенциалом восстановления до уровня коммуникации, установленный в ходе комплексного обследования; препятствие коммуникации: тяжелый когнитивный дефицит в виде панангнозии (апраксии, афазии, агнозии) MMSE<16 или MoCA<11; синдром поражения лобных долей головного мозга FAB<12; тотальная афазия с отсутствием выполнения инструкции по голосовой команде и по подражанию
- Глубокий водно-электролитный и нутритивный дефицит, сопровождающийся потерей массы тела выше 20% за последние 3 месяца, уровнем альбумина менее 20 г/л, креатинина выше 200 мкмоль/л, сохраняющийся на фоне искусственного питания и инфузии в течение 60 дней от начала заболевания;
- Пролежни 3–4 степени, требующие хирургического лечения или временного двигательного покоя
- Гнойно-некротические заболевания в местах крепления элементов роботизированного комплекса
- Грубый психоорганический синдром или деменция, исключающий продуктивный контакт с окружающими.
- Нарушения поведения и выраженные когнитивно-речевые нарушения, препятствующие проведению мероприятий по медицинской реабилитации и выполнению инструкций
- Отсутствие мотивированности пациента для проведения реабилитационного лечения
- Острый тромбоз вен нижних конечностей, в том числе с признаками флотации
- Тромбоэмболия ветвей легочной артерии и тромбоэмболические нарушения других внутренних органов с наличием клинической симптоматики
- Лимфодема нижних конечностей 2–3 ст.
- Варикозное расширение вен в местах крепления манжет роботизированного комплекса
- Крайне низкая толерантность пациента к физической нагрузке, которая препятствует проведению мероприятий двигательной реабилитации;
- Нарушения сердечного ритма: желудочковые экстрасистолы (более 5000) и тахикардия опасных градаций, бради- или тахиаритмические формы постоянной/пароксизмальной фибрилляции предсердий; сино-атриальная и атрио-вентрикулярная блокады

2–3-ей степени, синдром слабости синусового узла (кроме пациентов с имплантированными кардиостимуляторами)

- Недостаточность кровообращения IIА класса и более по классификации Н.Д. Стражеско и В.Х. Василенко
- Инфаркт миокарда давностью менее 6 месяцев
- Артериальная гипертензия, недостаточно корригируемая медикаментозной терапией с кризовым течением (АД систолическое более 180 мм рт. ст., АД диастолическое более 100 мм рт. ст.), в том числе с признаками нарушения азотовыделительной функции почек
- Стойкая синусовая брадикардия (реже 50 в мин.) и тахикардия (более 90 в мин.)
- Выраженная одышка, приступы стенокардии покоя или ишемия миокарда в покое на ЭКГ
- Снижение сатурации кислорода менее 94%
- Снижение фракции выброса менее 50%
- Сахарный диабет тяжелого течения или в стадии декомпенсации
- Нестабильная стенокардия
- Клинически значимые пороки сердца
- Аневризма левого желудочка
- Аневризма аорты
- Аневризма артерий головного мозга
- Злокачественные новообразования
- Гемоглобин крови ниже 90–100 г/л и/или наличие выраженного анемического синдрома
- Тромбоцитопения с содержанием тромбоцитов менее 90 000
- Артрогенные и десмогенные стойкие некорригируемые контрактуры, ригидность и анкилозы суставов при заболеваниях и состояниях опорно-двигательного аппарата
- Острый артрит/синовит
- Состояние после частичного/тотального эндопротезирования крупных суставов, артропластики суставов нижних конечностей
- Нарастающая компрессия спинного мозга, его корешков, конского хвоста или их сосудов.
- Пароксизмальные нарушения сознания
- Тяжелая степень остеопороза
- Несросшиеся переломы костей таза, нижних и верхних конечностей, нестабильный остеосинтез позвоночника

- Выраженная мышечная спастичность или значительный ее рост после тренировки (4 и более баллов по шкале Эшворт).

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ

Оценка безопасности реабилитационного лечения

Перед началом тренировок на аппаратно-программном комплексе в безопорном состоянии рекомендуется проводить комплексное клинико-инструментальное обследование с целью оценки безопасности проводимого лечения и исключения противопоказаний.

Обязательный перечень обследования:

1. Стандартное ЭКГ в 12 отведениях (исключить нарушения электрофизиологии миокарда — исследование проводится в покое). Проводится двукратно (в начале и в конце реабилитационного курса). Повторно проводится по показаниям.
2. Комплексное УЗДС вен нижних конечностей (исключение острого тромбоза глубоких вен и его предикторов, оценка степени посттромбофлебитического синдрома, оценка степени варикозного расширения вен). Повторно проводится по показаниям.
3. Клинический анализ крови. Обязательный клинический минимум. Проводится однократно. Повторно — по показаниям.
4. Общий анализ мочи. Обязательный клинический минимум. Проводится однократно. Повторно — по показаниям.
5. Биохимический анализ крови: определение глюкозы, общего белка, электролитов (калий, натрий, хлор), АЛАТ, АСАТ, креатинина, мочевины, мочевой кислоты, общего билирубина. Обязательный клинический минимум. Проводится однократно. Повторно — по показаниям.

Рекомендуемый перечень обследования:

1. Компьютерная томография области повреждения позвоночника (для исключения нестабильности металлоконструкции). Повторно проводится по показаниям.
2. Денситометрия (для исключения снижения плотности костной ткани и ее степени). Проводится однократно.

3. Стандартное ЭХО-КГ (исключить патологию со стороны миокарда и клапанного аппарата — исследование проводится в покое). Проводится однократно.
4. Суточное мониторирование ЭКГ в течение 12–24 часов (оценка ЧСС, выявление эпизодов аритмии, блокады проводимости, ишемии и др.). Повторно проводится по показаниям.
5. Комплексное УЗДС артерий нижних конечностей (исключение стено-окклюзирующего поражения и врожденных аномалий развития). Проводится однократно.
6. Лабораторная диагностика состояния гемостаза (фибриноген, Д-димер, протромбиновое время, протромбиновый индекс, АЧТВ). Проводится однократно. Повторно — по показаниям.

Мониторинг во время тренировочного курса:

1. Динамическое измерение АД и подсчет ЧСС во время каждой тренировки с интервалом 10–15 мин., 2–3 раза за одно испытание.
2. Пульсометрия до, в течение и после каждой тренировки.

Оценка эффективности реабилитационного лечения

Для оценки эффективности реабилитационного лечения до и после курса рекомендуется проводить следующий клинический мониторинг:

- Исследование мышечного тонуса (шкала Эшворта — Ashworth Scale);
- Исследование мышечной силы (6-ти балльная шкала оценки — Medical Research Council Scale);
- Модифицированная шкала Рэнкин для оценки инвалидности, независимости и исходов реабилитации;
- Оценка проводимости спинного мозга (чувствительной и двигательной порции) — шкала Американской Ассоциации Спинальной травмы (ASIA);
- Оценка самообслуживания и мобильности — функциональная оценочная шкала для больных с травмой спинного мозга (шкала VFM);
- Оценка психоэмоциональных нарушений — шкала депрессии НИИ психоневрологии им. В.М. Бехтерева, шкала депрессии Бека, шкала самооценки тревоги Цунга;

- Поверхностная интерференционная ЭМГ мышц для объективизации неврологического обследования;
- Проведение исследования на стабиллоплатформе для оценки поструральных функций;
- Объем движений туловища и таза на основе измерений с помощью 3D биомеханических сенсоров — в положении на спине и на животе;
- Измерение окружности бедер и голеней;
- Диагностическая ТМС для оценки проводимости спинного мозга — амплитуды и латентности вызванного моторного ответа.

Шкала Эшворта

Оценки спастичности проводится с использованием Модифицированной шкалы Ashworth (mAS). Мышцы-сгибатели нижних конечностей исследуются из положения наибольшего сгибания, максимально разгибая их за одну секунду. Мышцы-разгибатели нижних конечностей исследуются из положения наибольшего разгибания и максимально сгибают их за одну секунду. Оценка проводится по 5-ти балльной шкале от 0 до 4 баллов: 0 — нет повышения мышечного тонуса; 1 — легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения и быстрого расслабления мышцы или минимального сопротивления в конце пассивного сгибания или разгибания; 2 — более выраженное повышение мышечного тонуса, ощущаемое в течение почти всего пассивного движения, но при этом пораженные сегменты конечности легко поддается движению; 3 — значительное повышение мышечного тонуса, пассивные движения затруднены; 4 — пораженные сегменты неподвижны в положении сгибания или разгибания.

Шкала Комитета медицинских исследований

6-ти балльная шкала для оценки мышечной силы в конечностях. Ссылки: Medical Research Council Scale, R. Van der Ploeg и соавт, 1984. Интерпретация: 0 — нет движений; 1 — пальпируется сокращение мышечных волокон, но визуальное движения нет; 2 — движения при исключении воздействия силы тяжести; 3 — движения при действии силы тяжести; 4 — движения при внешнем противодействии, но слабее, чем на здоровой стороне; 5 — нормальная мышечная сила.

Модифицированная шкала Рэнкин

Модифицированная шкала Рэнкин является универсальным инструментом оценки инвалидности, независимости и исходов реабилитации. Оценка по данной шкале проводится независимо от причины инвалидности и нарушения здоровья. Время на заполнение шкалы: 5 минут. Интерпретация: 0 — Нет симптомов; 1 — отсутствие существенных нарушений жизнедеятельности, несмотря на наличие некоторых симптомов болезни; способен выполнять обычные повседневные обязанности; 2 — легкое нарушение жизнедеятельности; не способен выполнять некоторые прежние обязанности, но справляется с собственными делами без посторонней помощи; 3 — умеренное нарушение жизнедеятельности; потребность в некоторой помощи, но ходит самостоятельно; 4 — выраженное нарушение жизнедеятельности; не способен ходить без посторонней помощи, справляется со своими физическими потребностями без посторонней помощи; 5 — грубое нарушение жизнедеятельности; прикован к постели, недержание кала и мочи, потребность в постоянной помощи медицинского персонала.

Оценка проводимости спинного мозга

Шкала Американской ассоциации травм позвоночника (ASIA) используется в качестве первичных критериев оценки результатов реабилитационного лечения. Шкала включает оценку моторных баллов для рук и ног (UEMS, LEMS), оценку тактильной чувствительности (LT), оценку глубокой чувствительности (PP), оценку функции на уровне S4-S5 корешков как контроль чувствительности при глубоком надавливании на область анального сфинктера (DAP — Deep Anal Pressure) и контроль произвольного сокращения анального сфинктера (VAC — Voluntary Anal Contraction).

Шкала включает 5 групп оценки остаточной неврологической функции A, B, C, D, E:

A — отсутствие моторной и сенсорной функции в каудальном отделе спинного мозга S4-S5;

B — наличие сенсорной функции ниже неврологического уровня включая S4-S5 и отсутствие моторной функции ниже 3 уровней от неврологического включая уровень S4-S5;

C — моторная неполная, двигательная функция сохраняется в самых каудальных крестцовых сегментах для произвольного анального со-

кращения (VAC) или пациент соответствует критериям сенсорного неполного статуса (сенсорная функция сохраняется в самых каудальных крестцовых сегментах S4-5 посредством LT, PP или DAP) и имеет некоторое сохранение моторной функции более чем на три уровня ниже неврологического уровня, при этом менее половины ключевых мышечных функций ниже неврологического уровня имеют силу ≥ 3 баллов;

D — моторная неполная как определено выше, где половина или более ключевых мышечных функций ниже неврологического уровня имеет мышечный балл ≥ 3 .

E — сенсорные и двигательные функции, оцениваются как нормальные во всех сегментах, и у пациента ранее был дефицит вследствие позвоночно-спинномозговой травмы.

Функциональная оценочная шкала

Для оценки способностей пациента выполнять повседневную деятельность используется функциональная оценочная шкала для больных с травмой спинного мозга — шкала VFM. Функциональные оценки могут быть более прямым измерением клинически значимого изменения функциональных возможностей субъекта исследования. Оценка VFM включает выполнения пациентом 61 задания по 8 субшкалам. Субшкалы включают в себя способность перемещение в постели, прием пищи, пользование креслом-каталкой, одевание, перемещение, начало движения, личная гигиена и социальные навыки. Используется 5-ти бальная система оценок на основании прямого наблюдения за пациентом, с подсчетом суммарной оценки:

- 1 — пациент не может выполнить задание и полностью зависима от окружающих;
- 2 — выраженные затруднения, около 25% задания выполняется самостоятельно;
- 3 — умеренные затруднения, выполняет 75% и более задания самостоятельно;
- 4 — незначительные затруднения;
- 5 — выполнение заданий без затруднений, модификаций, в нормальном темпе, не требует никакой помощи.

Поверхностная интерференционная ЭМГ мышц

Интерференционная ЭМГ предоставляет информацию о функции спинного мозга, которая не может быть получена другими клини-

ческими методами. Оценка ЭМГ может иметь дополнительную ценность как для прогнозирования функциональных результатов, так и для оценки эффективности терапии.

Одним из критериев необходимости введения электрофизиологической оценки изменений в состоянии пациентов с ПСМТ, является низкая чувствительность валидных методов оценки. Отсутствие стандартов в электромиографической (ЭМГ) оценке применительно к пациентам с ПСМТ, требует более детального рассмотрения методов применяемых для настоящего исследования. Использовать поверхностную ЭМГ в качестве контроля изменений предлагается рядом авторов.

Представляется невозможным на сегодняшний день использовать количественные данные иЭМГ для оценки динамики восстановительного процесса. Этому препятствует ряд факторов. По мнению физиологов электромиографический сигнал часто не отражает силу мышц, особенно когда измерения проводятся в разное время. На величину сигнала влияют множество факторов: место наложения электродов, проводимость кожных покровов, затекание сигнала от других мышц, степень напряжения мышц при произвольном усилии. Также является общеизвестным фактом, что большая часть сигнала пропадает при сложении отрицательных и положительных потенциалов от множества двигательных единиц (ДЕ), поэтому величина сигнала напрямую зависит от степени синхронизации сигнала. Чем более синхронизирован сигнал от разных ДЕ, тем большее значение амплитуды будет зарегистрировано. Полная синхронизация сигнала наблюдается, например, при регистрации М-ответа с мышцы при прямой электростимуляции, если разделить значение амплитуды сигнала при произвольном максимальном усилии на значение М-ответа этой же мышцы у здорового пациента, как правило получаем коэффициент менее 0,1, что указывает на потерю 90% сигнала. Более стабильными для разных измерений представляются изменения в частотном диапазоне, что может указывать на вовлечение большего числа моторных единиц в мышечное сокращение, а также на изменение уровня контроля мышечного сокращения.

В работах [Elizabeth Heald et al, Blair Calancie et al, 2004] применяют различные способы преобразования данных иЭМГ в порядковые шкалы, которые сами исследователи признают непростыми в использовании и не подходящими для скрининг метода для общей

Таблица 1.

Тип	Изменения ЭМГ сигнала	Оценка (баллы)
1 тип	нет значимых изменений	0
2 тип	увеличение амплитуды в низкочастотном диапазоне (10–20 Гц)	1
3 тип	увеличение амплитуды в среднем частотном диапазоне (20–50 Гц)	2
4 тип	увеличение амплитуды в высокочастотном диапазоне (50–100 Гц)	3

врачебной практики. В работе [Коваль С.Я. и др.] отечественных специалистов также применяется перевод данных в порядковые, предлагается использовать 4 типа реакции и степени изменения сигнала иЭМГ: 1 тип — без изменений, 2 тип — изменение амплитуды осцилляции, 3 тип — изменение амплитуды и частоты, 4 тип — изменение типа ЭМГ. На основании представленных данных предлагаем порядковую шкалу изменений в амплитудно-частотном спектре после преобразования Фурье (таблица 1). Данное преобразование выполняют в автоматическом режиме последние модели электромиографического оборудования (например, электронейромиограф Нейро-МВП производства ООО «Нейрософт»).

Увеличением амплитуды ЭМГ сигнала считаем увеличение более чем в 2 раза, или более чем на 5 мкВ в абсолютном значении для выбранной частоты. Коллектив авторов не претендует на полноту и точность предложенного метода оценки электромиографических данных. Преследуя цель попытки создания практической основы для альтернативной оценки.

Поверхностную иЭМГ рекомендуем регистрировать со следующих мышц: прямой порции четырехглавой мышцы бедра, передней большеберцовой мышцы, икроножной мышцы и мышцы выпрямляющей позвоночник. Размер электродов для проведения исследования — 11×34 мм. Для прямой порции четырехглавой мышцы бедра электроды размещаются на середине линии между передней остью подвздошной кости и верхней части надколенника, расстояние между центральными линиями электродов — 20 мм. Регистра-

ция биоэлектрической активности мышц проводится с режекцией 50 Гц, фильтром низкой частоты (НЧ) 10 Гц и фильтром высокой частоты (ВЧ) 1000 Гц. Запись иЭМГ проводится 2 раза — в первый день реабилитации и день выписки (на 15 день). Поверхностная интерференционная ЭМГ мышц снимается дважды для каждого измерения, лучший результат используется для анализа:

1. При расслабленной мышце;
2. При максимальном произвольном напряжении мышцы.

Оценка результатов измерения проводилась на основании анализа преобразованной методом Фурье записи ЭМГ активности мышцы при попытке максимального произвольного сокращения.

Оценка постуральной функции

Объективная оценка постуральной функции в клинической практике может осуществляться методом стабилومتрии. Применительно к пациентам со спинальной травмой при условии тяжести состояния и невозможности вертикализации с опорой на стопы, оценку постуральной функции актуально проводить в положении сидя. Стабилметрия, это метод регистрации проекции общего центра масс тела (ОЦМ) на плоскость опоры и его колебаний в положении обследуемого стоя, а также при выполнении различных диагностических тестов. В ряде случаев метод применяется при использовании различных положений тела обследуемого, включая положения сидя и лежа [В.И. Скворцова, Г.Е. Иванова и др. 2003].

Объем движений туловища и таза

Проводится на основе измерений с помощью 3D биомеханических сенсоров — в положении лежа на спине и лежа на животе;

Рекомендуется проводить 3 измерения:

1. Сгибание туловища. Исходное положение — лежа на спине. Активный датчик размещается на груди ниже яремной вырезки.
2. Подъем таза. Исходное положение — лежа на спине. Активный датчик фиксируется в области лонного сочленения.
3. Разгибание туловища. Исходное положение — лежа на животе. Активный датчик фиксируется сразу под остистым отростком 7 шейного позвонка.

Измерения проводятся с помощью программного обеспечения Tyrostation.

Измерение окружности бедер и голеней

Рекомендуется проводить измерения в максимально широких частях голеней и бёдер обеих нижних конечностей до и после курса реабилитации. Данное измерение может косвенно давать информацию об изменениях объема мышечной массы.

Диагностическая транскраниальная магнитная стимуляция

Переменное магнитное поле, генерируемое магнитным стимулятором, свободно проникает через одежду, кожный и волосяной покровы, мозговые оболочки и костные образования. Достигнув проводящих тканей, к которым относятся структуры центральной и периферической нервной системы, это поле генерирует переменное электрическое поле, которое обеспечивает возникновение электрического тока, способного активировать нейроны, как при электростимуляции, однако безболезненно и без необходимости дополнительной подготовки обследуемого. Такое воздействие позволяет проводить целый ряд диагностических тестов.

Если установить отводящие электроды на периферическую мышцу и подключить их к электронейромиографу, то при стимуляции моторной зоны, ответственной за движение данной мышцы, на миографе можно получить ответ. Изучая форму, амплитуду и латентность этого ответа, можно судить о состоянии моторных проводящих путей, начиная от самой коры.

ПОДГОТОВКА ПАЦИЕНТА К ТРЕНИРОВКЕ

1. Перед первым занятием нужно подробно проинформировать пациента о пользе и рисках тренировки.
2. Измеряется вес пациента.
3. Подбираются необходимые размеры манжет для поддержки пациента.

Манжеты имеют три типоразмера: M, L, XL. Информация о размерах, маркировке манжет и безопасной рабочей нагрузке на манжеты подробно представлена в инструкции по эксплуатации комплекса.

Комплект одного типоразмера манжет состоит из 7 видов манжет. Три из них парные, четыре — непарные, всего 10 манжет. Комплект одного типоразмера манжет представлен в таблице 2.

Таблица 2. Комплект одного типоразмера манжет

Наименование	Кол-во	Общий вид
Манжета для головы (маска)	1	
Манжета верхнегрудная	1	
Манжета нижнегрудная	1	
Манжета поясная	1	

Таблица 2. Комплект одного типоразмера манжет (продолжение)

Наименование	Кол-во	Общий вид
Манжета бедренная	2	
Манжета голеностопная	2	
Манжета для руки	2	

4. Перед укладыванием пациента на кушетке размещаются манжеты выбранного типоразмера (Рис. 6).

**Рис. 6.** Расположение манжет на кушетке.



Рис. 7. Накладка одноразовая, наложенная на манжету головы.

5. В манжету для головы помещается накладка одноразовая и закрепляется на манжете с помощью липких вставок (Рис. 7).
6. Пациент самостоятельно или с посторонней помощью размещается на кушетке (Рис. 8). Если пациенту требуется помощь, то физический терапевт помогает пациенту пересесть на кушетку, затем укладывает его на спину и после этого переворачивает на живот.
7. Манжеты закрепляются на теле пациента. Не имеет крепления к телу пациента нижегрудная манжета.



Рис. 8. Расположение пациента на кушетке.

8. Закрепление верхнегрудной манжеты показано на рис. 9.
9. Закрепление поясной манжеты показано на рис. 10.
10. Закрепление бедренной манжеты показано на рис. 11.
11. Закрепление голеностопной манжеты показано на рис. 12.
12. Закрепление манжеты для руки показано на рис. 13.
13. Закрепление манжеты для головы показано на рис. 14.
14. После закрепления манжет кольцо каждой манжеты необходимо закрепить в соответствующем карабине троса. При этом к первому карабину крепится траверса верхнегрудной манжеты и кольцо от манжеты руки (Рис. 15).



а) до закрепления



б) после закрепления

Рис. 9. Закрепление верхнегрудной манжеты.



а) вид сверху



б) вид снизу

Рис. 10. Закрепление поясной манжеты.



а) до закрепления



б) после закрепления

Рис. 11. Закрепление бедренной манжеты.



а) до закрепления



б) после закрепления

Рис. 12. Закрепление голеностопной манжеты.



Рис. 13. Закрепление манжеты руки.



Рис. 14. Закрепление манжеты головы.



Рис. 15. Закрепление первого карабина.

15. Настроить расстояние между модулями, сдвигая их так, чтобы тросы расположились вертикально (Рис. 16).

Передвижение модулей осуществляется за ручку (Рис. 17).



Рис. 16. Настройка расстояния между тросами.



Рис. 17. Ручки для передвижения модулей.

Расстояние между тросами, к которым присоединены бедренные и голеностопные манжеты, нужно настроить так, чтобы расстояние между ногами было комфортным, при работе ноги не должны зацепляться друг за друга. При этом настраиваемое расстояние между ногами может быть 16–21–26–31–36 см. Процедура настройки подробно описана в инструкции по эксплуатации.

16. После выбора пациента и начала сеанса с ним, программа, по нажатию оператором кнопки “Поднять”, производит подъем пациента по следующим этапам:

- предварительное натяжение тросов;
- предварительный подъем пациента на 10 см от кушетки;
- подъем пациента на рабочую высоту.

Кнопка “Поднять” нажимается три раза, по одному разу на каждый этап подъема.

На каждом этапе оператор имеет возможность вернуть пациента на предыдущий этап, нажав кнопку “Опустить”.

17. После каждого этапа необходимо оценить удобство расположения манжет на теле пациента, пациент не должен испытывать дискомфорт. Если у пациента появляются какие-либо жалобы, необходимо поправить расположение и настройки крепления манжет.

18. После подъема пациента на рабочую высоту необходимо подстроить длину эластичной ленты манжеты для головы так, чтобы положение головы было удобным, и пациент имел возможность свободно смотреть на экран. Настроить длину эластичной ленты манжет для рук так, чтобы положение рук было удобным и не стесняло их движение (Рис. 18).



Рис. 18. Настройка длины эластичной ленты манжеты для головы.

19. Коррекция высоты производится после подъема пациента на рабочую высоту таким образом, чтобы положение пациента было комфортным (Рис. 19). Для каждого исполнительного механизма с помощью ползунка корректируется высота в пределах от -15 до 15 см. По умолчанию значение высоты для бедренного отдела установлено с коррекцией -5 см для предотвращения переразгибания в коленном суставе. Значение высоты для бедренного отдела необходимо корректировать при визуальном контроле движения.



Рис. 19. Положение пациента на комфортной рабочей высоте.

20. В дальнейшем специалист по медицинской реабилитации настраивает параметры движения: режим работы, фазы, частоту и амплитуду. Проводится тренировка согласно описанной методике в главе «Методика проведения тренировки».

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНИРОВКИ

Рекомендуем проводить курсы стационарной реабилитации с количеством процедур за один курс — от 10 до 20. Длительность одного сеанса составляет от 30 до 40 минут в зависимости от адаптации пациента к физической нагрузке. Решение о длительности сеанса принимает врач по физической и реабилитационной медицине.

Режимы работы комплекса

Комплекс позволяет реализовать различные движения: прыжки, плавание, имитация ходьбы и ползание. Выбор того или иного двигательного акта осуществляется соответствующими настройками. Наиболее оптимальный способ управления настройками, создание профилей движения. Оператор может создать, сохранить, изменить профиль движения с выбранными параметрами, выбрав меню “Профили” в верхнем левом углу экрана (Рис. 20). Далее изменение типа движения легко осуществляется применением соответствующего профиля. Для удобства настройки профилей движения ниже представлены типовые общие параметры, профили амплитуд и профили фаз.

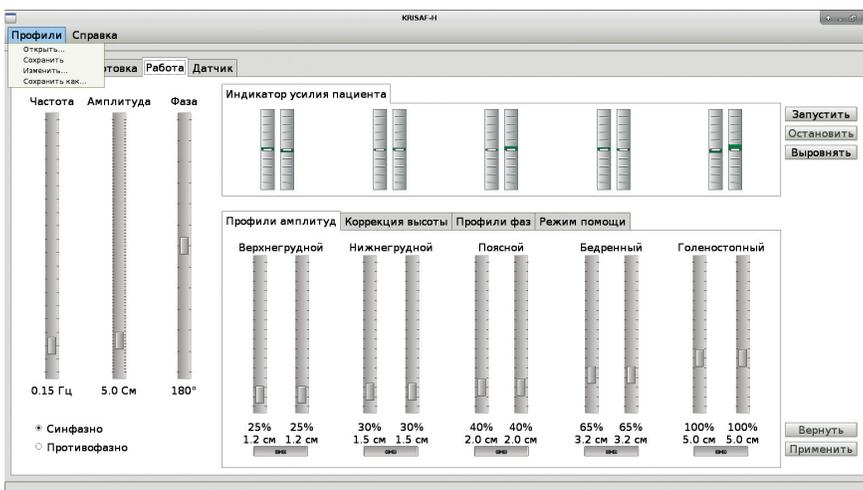


Рис. 20. Кнопка профили.

Профиль «Прыжки»

Движение характеризуется одновременным разгибанием в тазобедренном и коленном суставе. Настройки параметров движения при прыжках представлены на рис. 21, 22.



Рис. 21. Типовые общие параметры и профили амплитуд прыжки.



Рис. 22. Типовые профили фаз при прыжках.

Профиль «Плавание»

Плавание характеризуется волнообразным последовательным вовлечением всех отделов в движение. Настройки параметров движения при плавании представлены на рис. 23, 24.



Рис. 23. Типовые общие параметры и профили амплитуд при плавании.



Рис. 24. Типовые профили фаз при плавании.

Профиль «Ходьба»

Движение реализуемое профилем «ходьба» является реципрокным, имитируется естественная ходьба в безопорном состоянии. Настройки параметров движения при ходьбе представлены на рис. 25, 26.



Рис. 25. Типовые общие параметры и профили амплитуд при ходьбе.



Рис. 26. Типовые профили фаз при ходьбе.

Профиль «Ползание»

Движение, реализуемое профилем «ползание», является реципрокным, поочередное сгибание-разгибание в коленных и тазобедренных суставах в сочетании с наклоном корпуса в сторону сгибающейся нижней конечности. Настройки параметров движения при ходьбе представлены на рис. 27, 28.



Рис. 27. Типовые общие параметры и профили амплитуд при ползании.



Рис. 28. Типовые профили фаз при ползании.

Режим помощи

Оператор имеет возможность перевести каждую группу исполнительных механизмов в «Режим помощи» или ассистирующий режим, нажав кнопку «Включить» под выбранным отделом в вкладке «Режим помощи». «Режим помощи» позволяет пациенту самостоятельно двигаться, при этом комплекс только помогает осуществить движение. В «Режиме помощи» для каждого исполнительного механизма задаются характеристики помощи: коэффициент пропорциональности и коэффициент жёсткости.

Для любого вида стимуляции эффективность возрастает при использовании режима помощи (ассистирующего) в целевом сегменте. Для движения в тазобедренном суставе в режим помощи переводится модуль «бедренный», применяется с профилями движения прыжки и ползание (Рис. 29). Для движения в коленном суставе модуль «голеностопный», применяется с профилями движения плавание и ходьба (Рис. 30).



Рис. 29. Режим помощи для модуля «бедренный», коэффициент пропорциональности 65%.

ВНИМАНИЕ! По окончании процедуры роботизированной механотерапии в безопорном состоянии, при переводе пациента в вертикальное положение контролируется его состояние из-за угрозы ортостатического коллапса. Сначала пациент пе-



Рис. 30. Режим помощи для модуля «Голенистопадный», коэффициент пропорциональности 48%.

реводится в положение сидя, после адаптации — осуществляется пересаживание в коляску.

УПРАВЛЕНИЕ СТИМУЛЯТОРОМ В ПРОГРАММЕ

Комплекс поддерживает совместную работу с аппаратно-программным комплексом для чрескожной электростимуляции спинного мозга (регистрационное удостоверение № РЗН 2014/1523 от 04 марта 2019 года), далее по тексту — стимулятор. Комплекс управляет стимулятором через радиоканал посредством использования стандартного радиоадаптера, входящего в состав стимулятора. Перед началом совместной работы необходимо подключить данный радиоадаптер к одному из USB-портов монитора компьютера, на котором установлена программа управления комплексом. Управление работой стимулятора происходит с помощью программы на компьютере. Возможность запуска стимулятора через компьютер позволяет задавать сложные сценарии стимуляции и синхронизировать работу стимулятора с комплексом, регистрирующими устройствами.

Для работы со стимулятором в программе управления комплексом предусмотрена отдельная вкладка “Стимуляция”. В процессе работы, помимо управления с помощью программы, можно также пользоваться и органами управления, расположенными на стимуляторе. На рис. 31 показан внешний вид вкладки “Стимуляция”. На вкладке размещены пять одинаковых окон, в каждом из которых находятся органы управления и индикации, относящиеся к одному каналу стимуляции. Справа от этих окон расположены органы управления и индикации, относящиеся к стимулятору в целом. На рис. 32 представлено описание органов управления и индикации на примере первого канала стимуляции.

На рис. 33 представлено описание кругового индикатора.

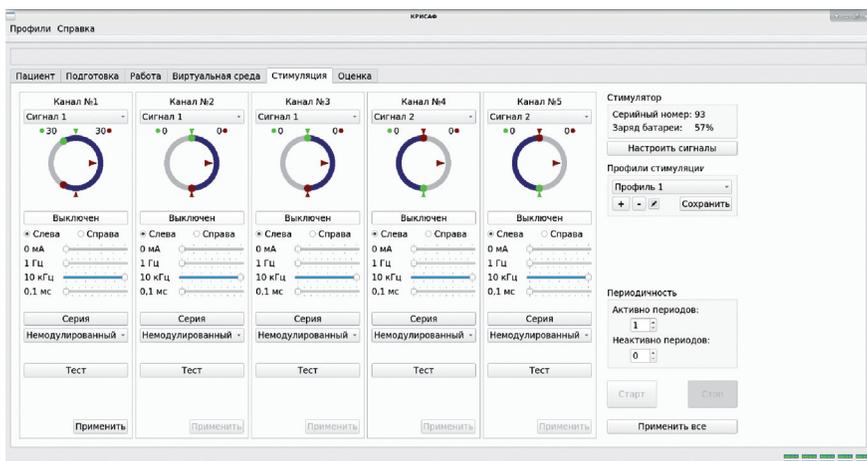


Рис. 31. Вкладка “Стимуляция”.

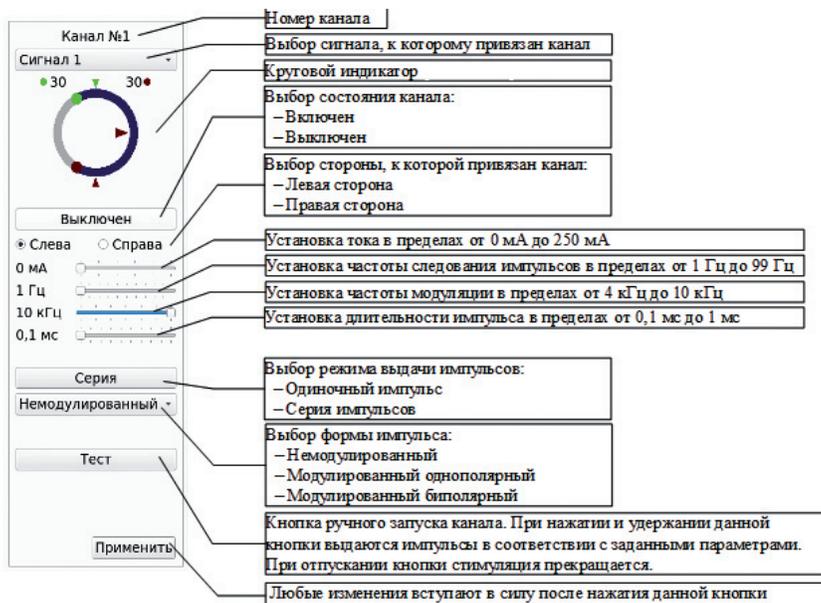


Рис. 32. Органы управления и индикации канала.

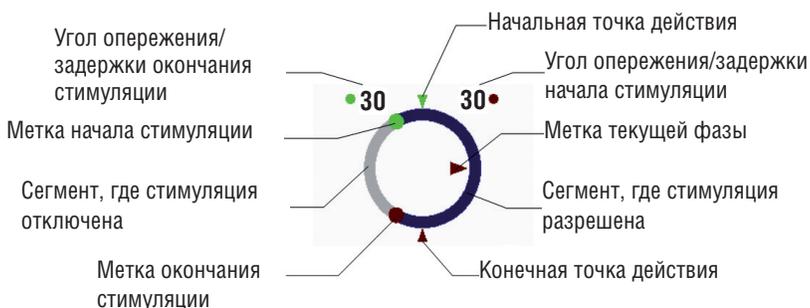


Рис. 33. Круговой индикатор.

Начальная точка действия	Точка, где начинается момент выбранного действия (сгибания, либо разгибания). Действие, на которое реагировать, выбирается в настройках сигнала (в инструкции по эксплуатации см. п. 1.4.10). Данная точка рассчитывается программой, изменению вручную не подлежит.
Конечная точка действия	Точка, где заканчивается момент выбранного действия (сгибания, либо разгибания). Действие, на которое реагировать, выбирается в настройках сигнала (в инструкции по эксплуатации см. п. 1.4.10). Данная точка рассчитывается программой, изменению вручную не подлежит.
Метка текущей фазы	Данная метка отображает текущую расчётную фазу движения. Метка совершает круговые движения по часовой стрелке.
Метка начала стимуляции	Момент времени, в который будет разрешена стимуляция для данного канала. Данную метку можно двигать по круговому индикатору с помощью манипулятора «мышь», тем самым изменяя момент включения стимуляции относительно расчётной начальной точки действия.
Метка окончания стимуляции	Момент времени, в который отключится стимуляция для данного канала. Данную метку можно двигать по круговому индикатору с помощью манипулятора «мышь», тем самым изменяя момент отключения стимуляции относительно расчётной конечной точки действия.
Угол опережения/задержки начала стимуляции	Разность между Меткой начала стимуляции и Начальной точкой действия.
Угол опережения/задержки окончания стимуляции	Разность между Меткой окончания стимуляции и Конечной точкой действия.
Сегмент, где стимуляция разрешена	При прохождении данного сегмента Меткой текущей фазы стимуляция по данному каналу разрешена. Обратите внимание: для того, чтобы стимулятор начал выдавать импульсы тока на электроды, необходимо выполнение ещё двух условий: – канал Включен; – нажата кнопка Старт.
Сегмент, где стимуляция отключена	При прохождении данного сегмента Меткой текущей фазы стимуляция по данному каналу отключена.

На рис. 34 представлено описание органов управления и индикации, относящихся к стимулятору в целом.

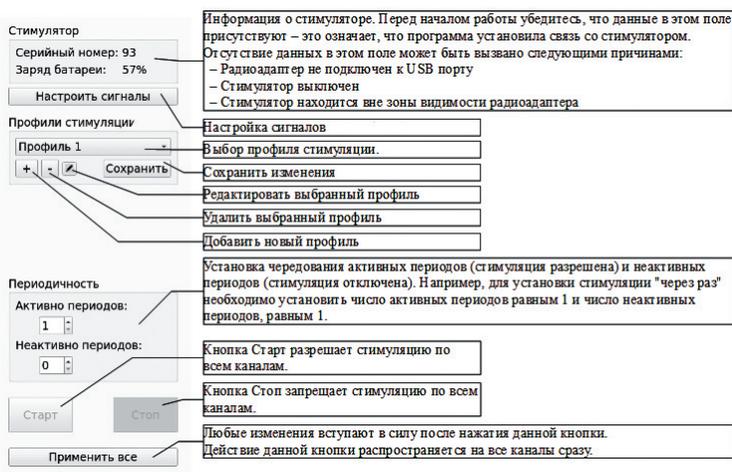


Рис. 34. Общие органы управления и индикации.

Оператор может создавать, редактировать, удалять профили стимуляции с выбранными параметрами, и применять созданные профили стимуляции. При создании или редактировании профиля стимуляции сохраняются все параметры для всех каналов, кроме силы тока. В целях безопасности в начале работы сила тока устанавливается на уровне 0 мА.

На рис. 35 представлено описание настройки сигналов.

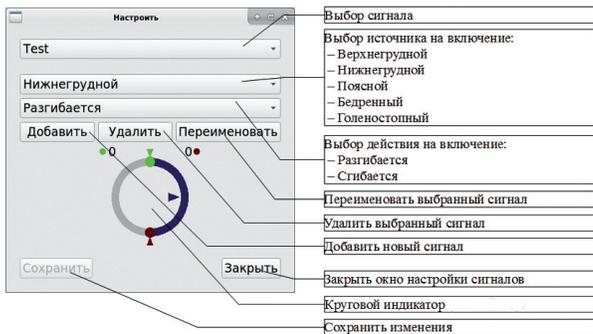


Рис. 35. Настройка сигналов.

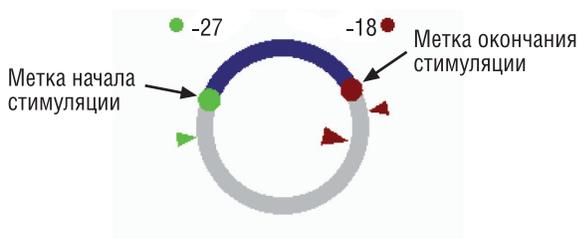


Рис. 36. Настройка времени начала и окончания стимуляции.

Для эффективной стимуляции начало воздействия необходимо осуществлять в процессе движения. Таким образом, достигается наибольший вклад в сокращение мышцы. Для этого необходимо метку начала стимуляции передвинуть, мышью зажав левую кнопку в отрицательное значение (Рис. 36).

Окончание воздействия, при стимуляции серией импульсов, необходимо завершить ранее окончания мышечного сокращения, для этого метку окончания стимуляции сдвигаем со знаком «минус».

Для любого вида стимуляции эффективность возрастает с использованием режима помощи (ассистирующего) в целевом сегменте. Для движения в тазобедренном суставе в режим помощи переводится модуль «бедренный», для движения в коленном суставе модуль «голеностопный».

Периодичность стимуляции (Рис. 37) позволяет выбирать количество активных и неактивных периодов стимуляции. При этом, если число неактивных периодов равно нулю, то все периоды активны.

Периодичность	
Активно периодов:	<input type="text" value="2"/>
Неактивно периодов:	<input type="text" value="2"/>
<input type="button" value="Старт"/>	<input type="button" value="Стоп"/>
<input type="button" value="Применить все"/>	

Рис. 37. Периодичность стимуляции.

Базовая методика применения электростимуляции

Использование стимулятора совместно с комплексом позволяет применять различные виды стимуляции: функциональная миоэлектрическая стимуляция, чрескожная стимуляция спинного мозга, стимуляция периферических нервов.

Общим для всех видов стимуляции при совместном использовании с комплексом является возможность синхронизировать электрические импульсы с фазами сокращения различных мышечных групп. Отличительными свойствами видов стимуляции являются места наложения электродов и различия в модуляции мышечной активности в результате воздействия электрического импульса.

Функциональная электрическая стимуляция (ФЭС) — воздействие электрических импульсов на мышцу, синхронизированных с фазой физиологического действия данной мышцы. Одновременно может стимулироваться несколько мышц или мышечных групп, при этом каждая мышечная группа будет стимулироваться в ту фазу движения, когда эти мышцы должны сокращаться. Наложение электродов при ФЭС производится непосредственно на мышцу, требующую стимуляции: активный электрод накладывается на брюшко мышцы, пассивный электрод ближе к месту прикрепления данной мышцы. При такой стимуляции сокращение мышцы происходит вследствие прямой стимуляции нервных окончаний в мышце. Электромиографическим результатом такой стимуляции является регистрация М-ответа.

Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ) сравнительно молодой метод, пришел взамен ранее более изученной эпидуральной стимуляции спинного мозга. Отличием является отсутствие инвазивного вмешательства по установке электродов в эпидуральное пространство. Накожное размещение электродов в проекции шейного и поясничного утолщения спинного мозга, позволяет легко интегрировать метод в клиническую практику. Стимуляция производится одиночными или ритмическими импульсами (1–50 Гц), при этом регистрируются потенциалы практически со всех мышц нижних конечностей (при стимуляции поясничного утолщения). Сокращение мышцы происходит вследствие активации афферентных Ia интрафузальных волокон, которые непосредственно возбуждают гомонимные альфа-мотонейроны, то есть через реализацию моносинаптического рефлекса. В зарубежной литературе

используются различные термины для обозначения такого мышечного ответа — задний корневой мышечный рефлекс (PRM), спинно-вызванные моторные потенциалы (sEMP), трансспинальные вызванные потенциалы (TEPs), мультисегментарный моносинаптический ответ (MMR- далее по тексту будем использовать данный термин). В виду удаленности активного электрода от места регистрации ответа, на электромиограмме M-ответ либо отсутствует, либо представлен очень низкой амплитудой, а вызванный потенциал MMR обладает латентностью, зависящей от длины проводящих путей. Так, средняя латентность MMR для мышц передней группы бедра составляет 14–16 мс, для мышц задней группы бедра 17–18 мс, для мышц голени 21–24 мс, для мышц стоп 27–31 мс. Наложения электродов при ЧЭССМ: активный электрод между остистыми отростками Th12–L1 (существуют различные вариации Th11–Th12, L1–L2), пассивный электрод на животе медиальнее гребней подвздошных костей. Также для селективной стимуляции правой и левой сторон тела возможно накладывать активные электроды паравертебрально.

Стимуляция периферических нервов — хорошо известная в клинической практике стимуляция, по сути это реализация моносинаптического H-рефлекса (рефлекс Хофмана). Электрический импульс распространяется как ортодромно (прямое направление — от центра к периферии), так и антидромно (в обратном направлении — от периферии к центру). При этом ортодромный импульс по аксонам альфа-мотонейрона напрямую возбуждает мышцу, реализуя M-ответ. Антидромный импульс возбуждает афференты 1а интрафузальных волокон, которые непосредственно возбуждают альфа-мотонейроны, реализуя H-рефлекс. Наложение электродов при стимуляции периферических нервов: активный электрод накладывается в проекции нервного ствола для данной мышечной группы, референтный (пассивный) электрод накладывается паравертебрально на уровне остистых отростков Th12–L1 на соответствующей стороне. Четырехглавая мышца бедра стимулируется наложением активного электрода над пупартовой связкой в проекции бедренного нерва. Задняя группа мышц бедра (бицепс бедра, полусухожильная мышца, полуперепончатая мышца) стимулируется наложением активного электрода в проекции седалищного нерва ниже ягодичной складки по центру задней поверхности бедра. Стимуляция производится одиночными или ритмическими импульса-

ми (1–10 Гц). На рисунках 38–40 показана реализация Н-рефлекса с четырехглавой мышцы бедра.

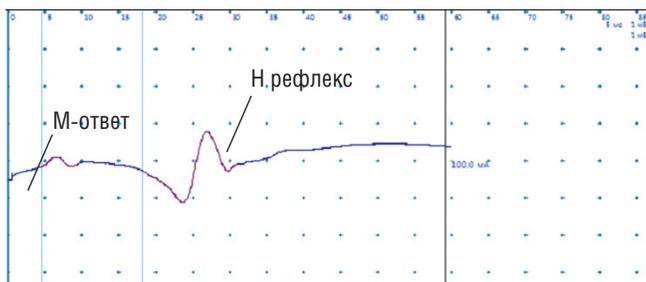


Рис. 38. Кривая с латеральной широкой мышцы бедра при стимуляции бедренного нерва. Максимальная амплитуда: Н-рефлекс 1,88 мВ, М-ответ 0,287 мВ. Соотношение Н/М — 656%.

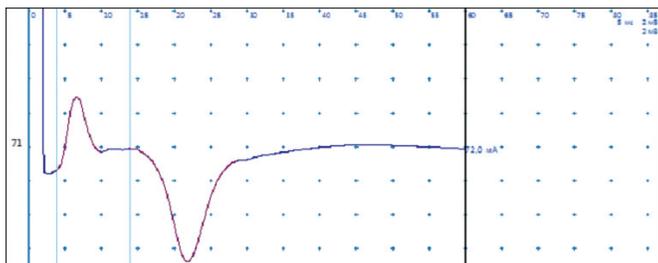


Рис. 39. Кривая с прямой мышцы бедра при стимуляции бедренного нерва. Максимальная амплитуда: Н-рефлекс 6,68 мВ, М-ответ 4,36 мВ.

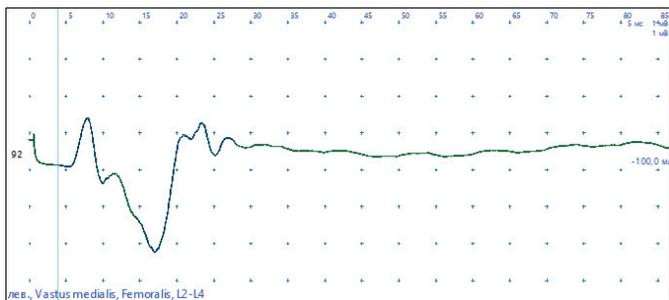


Рис. 40. Кривая с медиальной широкой мышцы бедра при стимуляции бедренного нерва. Максимальная амплитуда: Н-рефлекс 3,49 мВ, М-ответ 1,75 мВ.

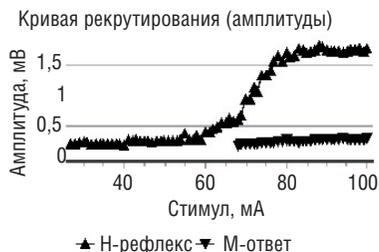


Рис. 41. Кривая рекрутирования с латеральной широкой мышцы бедра.

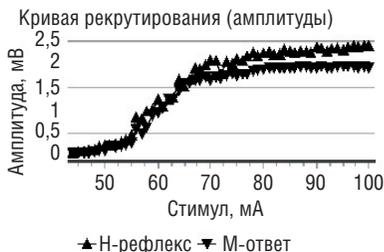


Рис. 42. Кривая рекрутирования с прямой мышцы бедра.

Кривая рекрутирования при подобном наложении электродов показывает отсутствие ингибирования Н-рефлекса при возрастании стимула от 0 до 100 мА, длительность стимула 0,5 мс (Рис. 41, 42).

Модуляция мышечной активности.

- Движение — активное, пассивное, активно-пассивное;
- Мышечное сокращение в ответ на электрическую стимуляцию;
- Собственная активность пациента.

Импульс альфа-мотонейрона является результатом суммации приходящих к нему возбуждающих и тормозных влияний. Для достижения порогового возбуждения альфа-мотонейрона и возникновения импульса необходима суммация влияний определенного количества оканчивающихся на нем нервных окончаний. Важность гамма-эфферентной системы подчеркивает тот факт, что 31% всех двигательных нервных волокон к мышцам представлены эфферентными волокнами гамма-мотонейрона. Модуляция рефлексов центральной нервной системой имеет решающее значение для успешного движения. В ряде работ было показано, что рефлекс растяжения вносит вклад до 40–60% в силу мышечного сокращения в отдельных двигательных задачах.

Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ)

Наложение электродов при ЧЭССМ показано на рисунке 43. Электроды 1,2 — активный (синий провод); 3,4 — пассивные (красный провод), первый канал электроды 1,4 — левая сторона, второй канал электроды 2,3 — правая сторона.

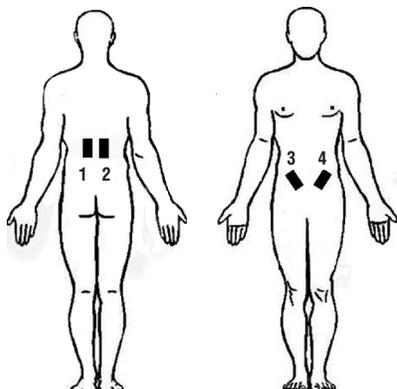


Рис. 43. Наложение электродов при ЧЭССМ.

При частоте стимуляции 1–15 Гц наибольший ответ вызывается в мышцах разгибателях. Стимуляцию проводим, используя профили движения прыжки, плавание. Общие настройки, профили амплитуд и фаз для данных локомоций представлены выше.

Стимуляция при прыжках и ползании осуществляется при разгибании в тазобедренном суставе, типовые настройки стимуляции показаны на рис. 44.

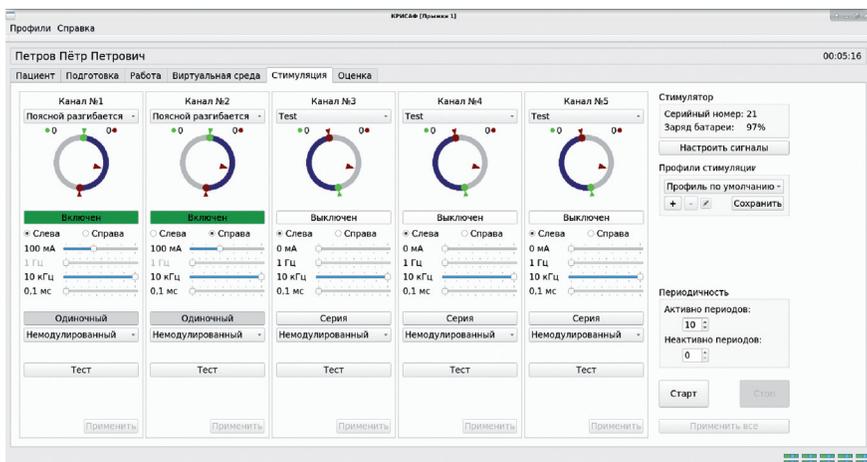


Рис. 44. Параметры стимуляции при прыжках и ползании.

Стимуляция при плавании и ходьбе осуществляется при разгибании в коленном суставе, типовые настройки стимуляции показаны на рис. 45.

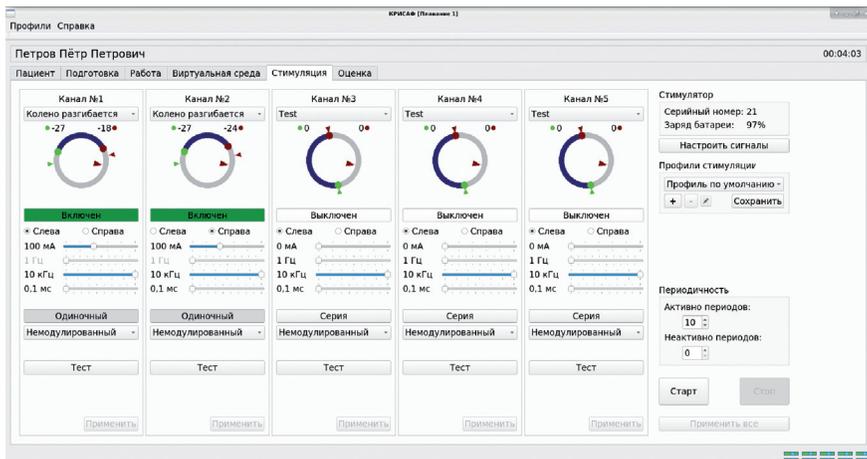


Рис. 45. Настройки стимулятора при плавании и ходьбе.

Стимуляция четырехглавой мышцы бедра

Наложение электродов показано на рис. 46. Электроды 3, 4 — активный (синий провод); 1, 2 — пассивные (красный провод), первый канал электроды 1, 4 — левая сторона, второй канал электроды 2, 3 — правая сторона.

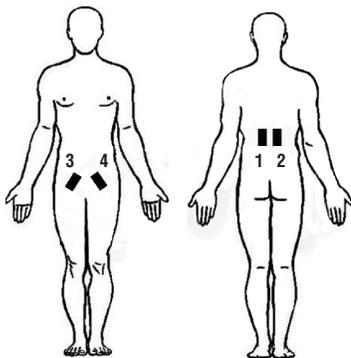


Рис. 46. Наложение электродов при стимуляции четырехглавых мышц бедра.

Четырехглавая мышца бедра представлена четырьмя порциями. Прямая мышца бедра — является двухсуставной. Три других: латеральная широкая, медиальная широкая и промежуточная широкая мышцы — односуставные. Основная функция разгибание колена, прямая мышца принимает участие в сгибании бедра. Стимулировать четырехглавую мышцу бедра только в фазу разгибания коленного сустава, используя профили движения плавание и ходьба, в основном режиме и в режиме «помощи».

Стимуляция четырехглавой мышцы бедра в основном режиме, профиль плавание. Настройки параметров стимуляции четырехглавой мышцы бедра при плавании представлены на рис. 47.

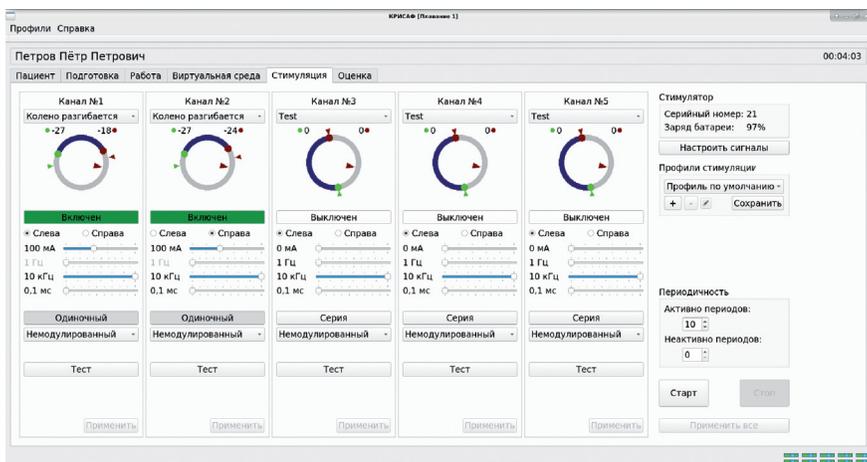


Рис. 47. Параметры стимуляции четырехглавой мышцы бедра при плавании.

Стимуляция четырехглавой мышцы бедра в основном режиме, профиль прыжки. Настройки параметров стимуляции четырехглавой мышцы бедра при прыжках представлены на рис. 48.

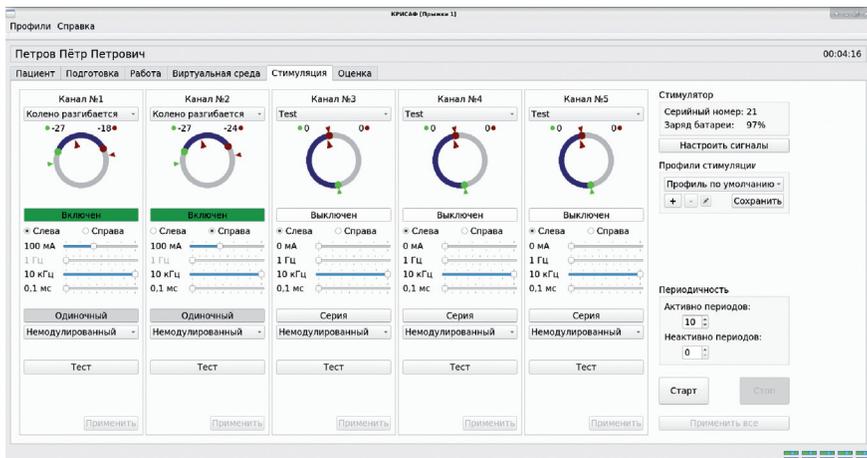


Рис. 48. Параметры стимуляции четырехглавой мышцы бедра при прыжках.

Стимуляция задней группы мышц бедра

Задняя группа мышц бедра представлена тремя мышцами: бицепс бедра, полусухожильная мышца и полуперепончатая мышца. Являясь двухсуставными мышцами, при фиксированном тазе сгибают голень в коленном суставе, при фиксированной голени разгибают бедро в тазобедренном суставе.

Наложение электродов показано на рис. 49. Электроды 3, 4 — активный (синий провод); 1, 2 — пассивные (красный провод), первый канал электроды 1, 4 — левая сторона, второй канал электроды 2, 3 — правая сторона.

Стимуляция в фазу сгибания колена, используя профили движения плавание. Настройки параметров стимуляции задней группы мышц бедра представлены на рис. 50.

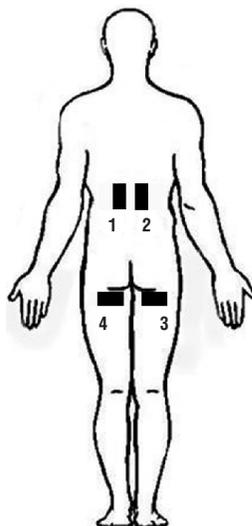


Рис. 49. Наложение электродов при стимуляции задней группы мышц бедра.

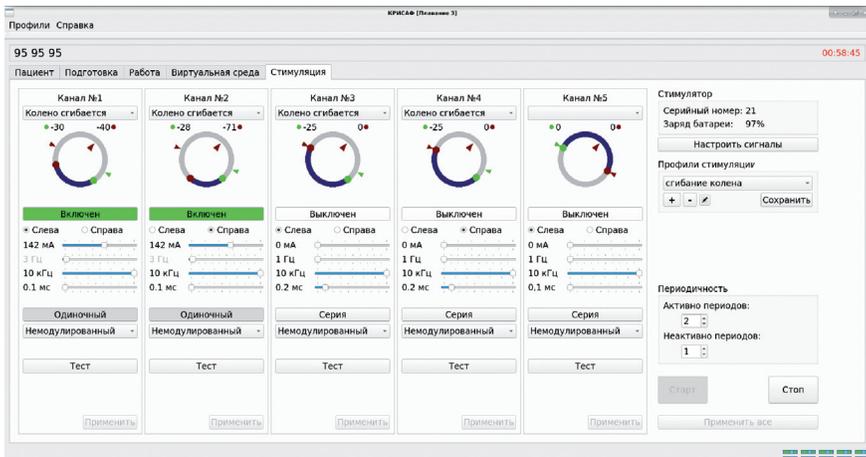


Рис. 50. Параметры стимуляции задней группы мышц бедра при плавании.

Активные тренировки

Активные реабилитационные мероприятия можно проводить с использованием виртуальной игровой среды, для повышения мотивации пациента. Использовать игровую среду рекомендуется, если она вызывает положительные эмоции у пациента и не затрудняет выполнение упражнений.

Для управления персонажем в виртуальной среде применяют 3D-сенсоры (датчики). При помощи датчика движения пациента передаются в виртуальный игровой мир.

Для полноценного управления игрой используются три датчика: один расположен на корпусе, один на левой руке и один на правой руке рис. 51.



а) на корпусе пациента



б) на руке пациента

Рис. 51. Расположение датчиков.

Датчик, расположенный на корпусе, используется для выбора направления движения в игровой среде и распознаёт следующие движения корпуса:

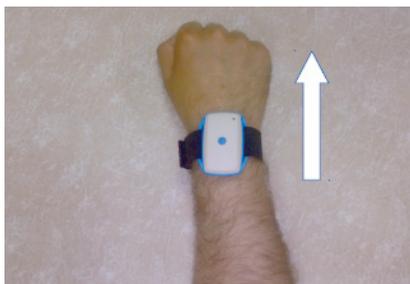
- вверх;
- вниз;
- влево;
- вправо.

Датчики, расположенные на руках, могут использоваться для:

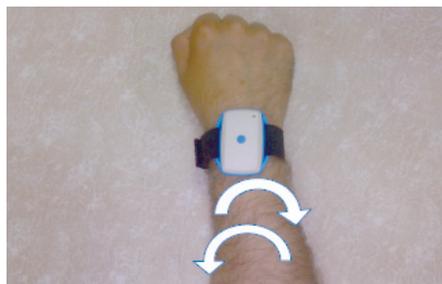
- выбора направления движения в игровой среде (вверх, вниз, влево, вправо);
- для управления скоростью движения;
- для распознавания жестов.

Для управления движением в игровой среде (направление и скорость) необходимо на каждую руку надеть по датчику. В процессе игры датчики распознают стиль плавания брассом (по-морскому). Чем интенсивнее совершает гребки пациент, тем быстрее его скорость в игре. Для поворота налево необходимо совершать более интенсивные гребки правой рукой, соответственно для поворота направо необходимо совершать более интенсивные гребки левой рукой. Для движения вверх необходимо начать как бы отталкиваться от дна руками, при этом ладони должны быть направлены вниз (необходимо совершать поступательные движение руками вверх-вниз, ладони направлены вниз). Для движения вниз необходимо выполнять те же самые движения, но при этом ладони должны быть направлены вверх.

- Датчик, расположенный на руке, распознаёт следующие жесты (Рис. 52):



а) действие



б) смена предмета в руках

Рис. 52. Управляющие жесты датчика на руке.

- выпад рукой вперед — действие (выстрел из гарпуна / сделать фото);
- поворот запястья по часовой/против часовой стрелке — смена предмета в руках (гарпун / фотоаппарат / пустые руки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Данная методика была апробирована в Пироговском Центре с сентября по декабрь 2021 год. Было проведено исследование с включением 30 пациентов с тяжелой позвоночно-спинномозговой травмой. Цель исследования: оценить безопасность и эффективность применения роботизированного программно-аппаратного комплекса для локомоторной терапии в безопорном состоянии в реабилитации пациентов с последствиями тяжелой позвоночно-спинномозговой травмы.

Популяция пациентов, как материал исследования, сформирована на основании критериев включения и исключения.

Критерии включения:

- Возраст: от 18 до 50 лет
- Пол: мужчины и женщины
- Рост: до 200 см.
- Вес: не более 120 кг.
- Позвоночно-спинномозговая травма. Период заболевания: давность от 3 месяцев после травмы;
- Уровень поражения: шейный, грудной, грудно-поясничный отделы позвоночника.
- Степень нарушения проводимости по ASIA: A, B, C, D
- Степень парапареза: от 0 до 3 по 6-ти балльной шкале

Все пациенты, включенные в исследование, разделены на 2 группы: основная группа (15 человек), контрольная группа (15 человек).

Протокол локомоторной терапии в безопорном состоянии с применением чрескожной стимуляции спинного мозга и функциональной стимуляции мышц.

Наложение электродов

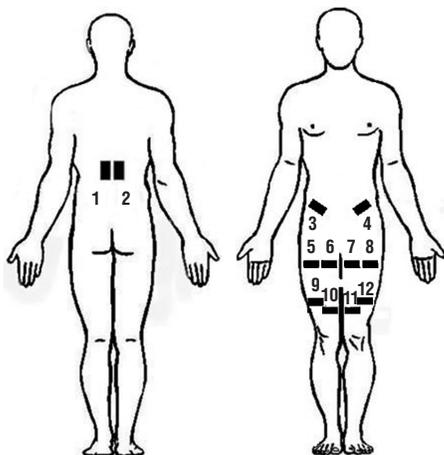


Рис. 53. Наложение электродов при проведении электростимуляции.

Наложение электродов осуществляется согласно рис. 53:

- Первый канал — 1 — активный (черный), 4 — пассивный (красный)
- Второй канал — 2 — активный, 3 — пассивный
- Третий канал — 11, 12 — активный, 7, 8 — пассивный
- Четвертый канал — 9, 10 — активный, 5, 6 — пассивный

Выход каждого канала — два провода. Активные электроды (катоды), черный цвет. Пассивные электроды (аноды), красный цвет. Все электроды для электрофизиотерапии одноразовые, размерами 45×85 мм, с кнопкой и клейким слоем.

Электроды первого и второго канала для ЧЭССМ накладываются следующим образом:

- активные в предполагаемую зону поясничного утолщения на уровне остистых отростков Th12–L1 позвонков, по правой и левой паравертебральным линиям, ближе к остистым отросткам так, чтобы расстояние между электродами было 5–10 мм;
- пассивные в проекции подвздошных гребней.

Такая установка электродов позволяет селективно стимулировать левую и правую нижние конечности при реципрокном движении.

Первый и третий канал соответствуют левой стороне, второй и четвертый канал — правой.

Третий и четвертый каналы, для стимуляции четырехглавой мышцы бедра, используют по два пассивных и два активных электрода,

в связи с большой площадью мышцы. При этом активные электроды устанавливаются на двигательные точки латеральной и медиальной широкой мышцы бедра и прямую мышцу бедра. Пассивные электроды в верхней трети бедра. Для подключения двух электродов используется разветвитель канала.

Сеанс терапии длится 30 минут, делится на три периода по 10 минут каждый.

Первые 10 минут работа в профиле «плавание», при частоте движения 0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента. Голеностопный модуль переводится в «режим помощи». Подбирается коэффициент пропорциональности для стоп (5 модуль), значение от 30 до 100%. Стимуляция стартует в фазу разгибания коленного сустава.

Вторые 10 минут работа в профиле «прыжки», при частоте движения 0,6–0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента. Бедренный и модуль переводятся в режим помощи. Подбирается коэффициент пропорциональности для бедер (4 модуль), значение от 30 до 100%. Стимуляция стартует в фазу разгибания тазобедренного сустава.

Третьи 10 минут работа в профиле ползание, при частоте движения 0,6–0,7 Гц, амплитуда подбирается исходя из двигательных возможностей пациента. Бедренный и голеностопный модули переводятся в «режим помощи». Подбирается коэффициент пропорциональности для бедер (4 модуль), значение от 30 до 100%. Стимуляция в фазу разгибания тазобедренного сустава.

Программы реабилитации в основной и контрольной группах были идентичными, за исключением 1 компонента — роботизированной механотерапии. В основной группе — это роботизированный программно-аппаратный комплекс для локомоторной терапии в безопорном состоянии, в контрольной группе — роботизированный комплекс для локомоторной терапии Локомат. В остальном реабилитационный курс в обеих группах включал 3 процедуры по двигательной реабилитации (каждая N = 10) — робот, лечебная гимнастика, механотерапия, и 3 процедуры по физиотерапии (каждая N = 10) — чрескожная электростимуляция спинного мозга, электромиостимуляция, массаж. ЧЭССМ в основной группе проводилась синхронизировано с роботизированной локомоторной терапией.

По завершению исследования мы получили следующие результаты.

Различия в частоте достижения клинического ответа на терапию между группами основной и контрольной не были выявлены.

При этом наблюдалась тенденция в пользу основной группы, в виде достоверной положительной динамики изменения моторной порции по шкале ASIA, также в виде положительных исходов в виде перехода 2 пациентов на другой уровень по ASIA в основной группе.

Значимые изменения в функциональном состоянии пациентов в обеих группах (оценивалось по шкале VFM) говорят о необходимости проведения реабилитационных мероприятий независимо от сроков давности после травмы, так как это улучшает способность пациентов к выполнению повседневной деятельности. И, как следствие, может привести к повышению качества жизни.

Анализ ЭМГ данных выявил достоверно значимые различия между группами в пользу основной группы. Всего у 9 пациентов основной группы и 5 пациентов контрольной группы выявлены изменения в динамике ЭМГ сигнала в одной тестируемой мышце (прямой мышце бедра), а в сравнении со шкалой ASIA — 5 пациентов в основной и 1 в контрольной группе имели позитивные сдвиги. Это указывает на более высокую чувствительность метода ЭМГ к определению изменений произвольного контроля мышц.

Выявлены достоверное снижение мышечного тонуса (оценивалась по модифицированной шкале Ashworth (mAS) в обеих группах. Различий в снижении спастичности в ответ на терапию между группами не выявлены.

Выявлены значимые достоверные различия в улучшении постуральной функции (оценивалась на стабиллоплатформе Тумо с закрытыми глазами) в положении сидя между основной и контрольной группами. Это может указывать на рост силы и улучшение контроля мышц корпуса в основной группе. Данные результаты во многом предопределены, так как метод, применяемый в основной группе, задействует при работе аксиальную мускулатуру, в отличие от метода сравнения.

Выявлена значимая достоверная корреляция неврологических и функциональных изменений в основной группе. Это может указывать на восстановительную концепцию нового метода терапии.

Однако, необходимо проведение дальнейших исследований с повышением мощности.

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ЛФК — лечебная физкультура
ПАК — программно-аппаратный комплекс
ПСМТ — позвоночно-спинномозговая травма
ЦНС — центральная нервная система
ЭМГ — электромиография
иЭМГ — интерференционная электромиография
НЧ — низкая частота
ВЧ — высокая частота
ЭС — электростимуляция
ASIA — Шкала Американской ассоциации травм позвоночника
LEMS — моторные баллы в нижних конечностях по ASIA
UEMS — моторные баллы в верхних конечностях по ASIA
LT — оценка тактильной чувствительности
PP — оценка глубокой чувствительности
DAP — Deep Anal Pressure — глубокое надавливание на область
анального сфинктера
VAC — Voluntary Anal Contraction — контроль произвольного
сокращения анального сфинктера
RF (ПМБ) — прямая мышца бедра
BF (ББ) — бицепс бедра (двуглавая мышца бедра)
GM (МИМ) — медиальная головка икроножной мышцы
TA (ПБМ) — передняя большеберцовая мышца
ДЕ — двигательная единица

ЛИТЕРАТУРА

1. Батышева Т.Т., Скворцов Д.В., Труханов А.И. Современные технологии диагностики и реабилитации в неврологии и ортопедии. — М.: Медика, 2005. — 256 с. — (Библиотека восстановительной медицины).
2. Богданова Л.П. Восстановительное лечение больных с трав-матической болезнью спинного мозга при осложненных пере-ломах позвоночника // Тез. докл. VI Всерос. съезда физио-терапевтов. — СПб., 2006. — С. 188.
3. Витензон А.С. Искусственная коррекция движения (ИКД) как метод экспериментального изучения ходьбы человека. Российский журнал биомеханики. 1999. Т. 3. № 2. С. 18–19.
4. Витензон А.С., Петрушанская К.А. Физиологические обоснования метода искусственной коррекции движений посредством программируемой электростимуляции мышц при ходьбе // Российский журнал биомеханики. — 2010. — Т. 14 (2). — С. 7–27.
5. Даминов В.Д. Автореферат докторской диссертации «Совершенствование системы технологий роботизированной механотерапии в реабилитации больных с поражением центральной нервной системы»; Москва; 2013 г. — 259 с.
6. Даминов В.Д. Совершенствование системы роботизированной механотерапии в реабилитации больных с поражением центральной нервной системы.
7. Даминов В.Д., Ткаченко П.В., Низаметдинова А.А. Применение имитирующих шагоподобные движения механотерапевтических устройств в сочетании с электростимуляцией у пациентов со спинальной травмой. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-99-5-53-61>
8. Зарипова Ю.Р., Соколов А.Л., Мейгал А.Ю. Активность двигательных единиц у здоровых детей на первом году жизни. (журнал Детская больница №3 2011 год).
9. Коваль С.Я., Хомякова О.В., Черная В.Н. Использование метода электромиографии в оценке эффективности выбора физических упражнений в восстановлении двигательной активности у больных со спинномозговой травмой. УДК 615.834:616.85.
10. Козловская И.Б. Гравитация и Позно-тоническая двигательная система. (Авиакосмическая и экологическая медицина 2017 Т. 51 № 3 стр. 5–21).
11. Козловская И.Б. Гравитация и позно-тоническая двигательная система (Авиакосмическая и экологическая медицина 2017 Т. 51 № 3 стр. 5–21).
12. Коновалова, Н.Г. Адаптивная двигательная реабилитация инвалидов / Н.Г. Коновалова // Адаптивная физическая культура №2 (14), 2003. — С. 35.
13. Леонтьев, М.А. Двигательная реабилитация инвалидов с нарушением локомоторной функции вследствие параличей и парезов: Метод. рекомендации / М.А. Леонтьев, М.М. Малашенко. — Новокузнецк, 2003. — 26 с.
14. Мاستицкий С.Э., Шитиков В.К. (2014) Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. — Электронная книга, адрес доступа: <http://r-analytics.blogspot.com>
15. Мейгал, А.Ю. Перинатальная модель перехода человека от гипогравитации к земной гравитации на основе нелинейных характеристик электромиограммы. (Авиакосмическая и экологическая медицина 2017 Т. 43 № 6 стр. 14–18).
16. Мейгал, А.Ю. Перинатальная модель перехода человека от гипогравитации к земной гравитации на основе нелинейных характеристик электромиограммы. (Авиакосмическая и экологическая медицина 2017 Т. 43 № 6 стр. 14–18).
17. Петри А., Сэбин К. Наглядная медицинская статистика: учебное пособие для вузов / пер. с англ. под ред. В.П. Леонова. -- М. Гэотар-медиа, 2015. — 216 с., ISBN 978-5-9704-3373-7/

18. Потехин, Л.Д. Позвоночно-спинномозговая травма на грудном уровне, осложненная грубыми двигательными расстройствами, и принципы адекватной реабилитации: Дис. ... канд. мед. наук / Л.Д. Потехин. — Новокузнецк, 1989.
19. Потехин, Л.Д. Электростимуляция мышц в комплексе санаторно-курортного лечения больных с последствиями травм и заболеваний спинного мозга на Сакском курорте / Л.Д. Потехин, В.Н. Горбунов, А.Г. Стопоров // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ.* — 1978. — №2. — С. 28–30.
20. Скворцова В.И., Г.Е. Иванова, Д.В. Скворцов, Л.В. Климов. Оценка поструральной Функции в клинической практике. *Лечебная физкультура и спортивная медицина* № 6 (114) 2013. УДК 616-71 С 42.
21. Ткаченко П.В. Автореферат кандидатской диссертации «Реконструкция ходьбы с применением экзоскелета в реабилитации больных с последствиями травмы спинного мозга»; Москва; 2018 г. - 123 с.
22. Blair Calancie, Maria R Molano, James G Broton. EMG for assessing the recovery of voluntary movement after acute spinal cord injury in man. doi.org/10.1016/j.clinph.2004.03.002.
23. Burns AS, Ditunno JF. Establishing prognosis and maximizing functional outcomes after spinal cord injury: a review of current and future directions in rehabilitation management. *Spine* 2001; 26: S137–S145. DOI: 10.1097/00007632-200112151-00023.
24. Elizabeth Heald, Ronald Hart, Kevin Kilgore, P Hunter Peckham. Characterization of Volitional Electromyographic Signals in the Lower Extremity After Motor Complete Spinal Cord Injury. DOI: 10.1177/1545968317704904.
25. J D Steeves, D Lammertse, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury (SCI) as developed by the ICCP panel: clinical trial outcome measures. *Spinal Cord* volume 45, pages 206–221 (2007) <https://www.nature.com/articles/3102008>
26. J W Fawcett, A Curt, J D Steeves et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal Cord* volume 45, pages 190–205 (2007) <https://www.nature.com/articles/3102007>
27. McKay WB, Lim HK, Priebe MM, Stokic DS, Sherwood AM. Clinical neurophysiological assessment of residual motor control in post-spinal cord injury paralysis. doi.org/10.1177/0888439004267674.
28. Steven Kirshblum, Scott Millis, William McKinley, David Tulskey. Late neurologic recovery after traumatic spinal cord injury. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.03.015> [https://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993\(04\)00386-7/fulltext](https://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993(04)00386-7/fulltext)
29. Waters RL. Donald Munro lecture: functional and neurologic recovery following acute SCI. *J Spinal Cord Med* 1998; 21: 195–199. DOI: 10.1080/10790268.1998.11719526.

Методическое пособие

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНО-
АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЛОКОМОТОРНОЙ ТЕРАПИИ
В БЕЗОПОРНОМ СОСТОЯНИИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ
С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ТЯЖЕЛОЙ ПОЗВОНОЧНО-
СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

Ткаченко П.В., Загородникова Ю.В.,
Карташов А.В., Сердюк И.Е.

ISBN 978-5-94515-214-4

ФОРМАТ 145×210

Усл. печ. л. 3,7. Уч.-изд. л. 1,8

Тираж 500 экз.

ОПЕЧАТАНО В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «МАСКА»
МОСКВА, УЛ. МАЛАЯ ЮШУНЬСКАЯ, Д. 1