

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.И.ПИРОГОВА»**

**А.А. Фролов, Л.А. Черникова, Р.Х. Люкманов,  
О.А. Мокиенко, П.Д. Бобров, Е.В. Бирюкова,  
С.В. Котов, Л.Г. Турбина, Г.Е. Иванова**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
«НЕИНВАЗИВНЫЙ ИНТЕРФЕЙС  
МОЗГ – КОМПЬЮТЕР – ЭКЗОСКЕЛЕТ КИСТИ»**

**Методические рекомендации**

**Москва – 2017**

ISBN  
УДК 616  
ББК 51.1с

**Использование медицинской технологии «Неинвазивный интерфейс мозг – компьютер – экзоскелет кисти».** – Методические рекомендации. – ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И.Пирогова Минздрава России, Москва, 2016 г., 64 с.

В предлагаемых методических рекомендациях приведены краткие данные об актуальности проблемы, на решение которой направлено применение технологии, научной обоснованности подходов и решений, использованных в разработке, а также результаты клинических исследований (как зарубежных, так и отечественных) эффективности применения метода реабилитации у пациентов соответствующего профиля. Методические рекомендации содержат подробное руководство по внедрению и использованию технологии в клинической практике медицинских учреждений, оказывающих помощь пациентам с очаговым неврологическим двигательным дефицитом в руке на фоне перенесённого инсульта или травмы головного мозга. Данные методические рекомендации предназначены для информационного сопровождения медицинских работников в области применения технологии «Неинвазивный интерфейс мозг – компьютер – экзоскелет кисти (ИМК)», основанной на методике представления движения.

#### **А в т о р ы :**

**А.А. Фролов, Л.А. Черникова, Р.Х. Люкманов, О.А. Мокиенко, П.Д. Бобров, Е.В. Бирюкова, С.В. Котов, Л.Г. Турбина, Г.Е. Иванова**

#### **Р е ц е н з е н т ы :**

**А.В.Коршаков** – к.ф.-м.н., научный сотрудник отделения нейрокompьютерных интерфейсов Института трансляционной медицины РНИМУ им. Н.И.Пирогова;

**Н.А.Супонева** – д.м.н., руководитель отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии»

#### **Рекомендовано к печати ЦКМС**

УДК 616 ББК 51.1с

© А.А.Фролов , 2016 г.; ©Л.А.Черникова, 2016 г.; ©Р.Х.Люкманов, 2016 г.;  
©О.А.Мокиенко, 2016 г.; © П.Д.Бобров, 2016 г.; © Е.В.Бирюкова, 2016 г.; ©  
С.В.Котов, 2016 г.

## Содержание

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	3
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
Актуальность	4
Теоретическое обоснование применения медицинской технологии ИМК	4
Клиническая эффективность применения медицинской технологии ИМК	6
Назначение медицинской технологии ИМК	7
Условия использования медицинской технологии ИМК	8
Описание применения медицинской технологии ИМК	9
Безопасность медицинской технологии ИМК	13
Заключение	14
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Монреальская шкала оценки когнитивных функций	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Шкала оценки спастичности Ashworth	38

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ИМК – интерфейс мозг–компьютер

ЭЭГ – электроэнцефалограмма

ЧМТ – черепно-мозговая травма

ФГБНУ НЦН – Федеральное Государственное бюджетное научное учреждение Научный центр неврологии

ГБУЗ МО МОНИКИ – Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научноисследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»

ГБУЗ ГКБ №31 – Государственное бюджетное учреждение здравоохранения городская клиническая больница №31

## **Актуальность**

В Российской Федерации, в зависимости от региона, ежегодно регистрируется 170–380 случаев инсульта на 100 000 человек, а общее количество зарегистрированных случаев составляет около 380 000 в год (из них 270 000 – ишемического и 110 000 – геморрагического характера) [1–3]. При этом частота возникновения нарушений мозгового кровообращения по ишемическому типу в молодом возрасте (до 45 лет), по сравнению с лицами всех возрастных категорий, составляет в российской популяции 14% [4]. Согласно прогностическим данным ВОЗ, в Европе количество инсультов увеличится с 1 100 000 случаев в год (2000 г.) до 1 500 000 случаев в год к 2025 году [5].

Двигательные нарушения в виде гемипарезов различной степени выраженности являются наиболее частым последствием инсульта и приводят к значительному ограничению функциональной независимости и снижению качества жизни больных [6–8]. У людей трудоспособного возраста инсульт является одной из основных причин двигательных нарушений и инвалидности. По оценке некоторых авторов, ведущей причиной потери профессиональных навыков у 80% таких пациентов являются двигательные нарушения в руке, особенно в кисти [9–10].

Другой частой причиной развития синдрома спастического пареза выступает черепно-мозговая травма (ЧМТ). Согласно данным российских эпидемиологических исследований, ежегодно ЧМТ регистрируется примерно у 600 тысяч человек (у мужчин в 2–4 раза чаще, чем у женщин), из которых около 50 тысяч погибают, столько же становятся инвалидами [11]. Наибольший уровень травматизма отмечается у мужчин и женщин в возрасте 20–40 лет, что составляет около 65% от общего количества пострадавших. Высокая распространенность последствий ЧМТ среди наиболее активной и трудоспособной части населения страны имеет большое социальноэкономическое значение для общества.

## **Теоретическое обоснование применения медицинской технологии ИМК**

Восстановление нарушенных функций возможно благодаря способности коры головного мозга к спонтанной или модулированной реорганизации нейрональных сетей, обусловленной нейропластическим процессам, что является основой для большинства подходов современной нейрореабилитации [12–19]. Основными условиями благоприятного исхода

двигательной реабилитации считают активное участие самого пациента в обучении, высокую интенсивность и регулярность упражнений, ориентированных на выполнение прикладной задачи, а также использование биологической обратной связи – всё вместе это способствует максимальной активизации процессов нейропластичности и достижению максимально возможных объёма и скорости восстановления двигательных функций [3, 20].

Применение рекомендованных с позиций доказательной медицины методов двигательной реабилитации – таких, как лечение ограничением движения в здоровой конечности (I-терапия), силовые упражнения, тренировка в условиях виртуальной реальности – возможно на фоне хотя бы частичной сохранности двигательных функций [21–22]. Для реабилитации тяжелых постинсультных пациентов с полностью парализованными мышцами, когда отсутствуют даже резидуальные движения, выбор восстановительных методик с активной парадигмой существенно ограничен. По данным мета-анализов, определённой эффективностью обладают зеркальная терапия и мысленные тренировки с представлением движения, рекомендации к применению которых входят в национальные руководства США, Англии и Бельгии [21–23].

Процесс представления движения во многом подчиняется тем же принципам двигательного контроля, что и произвольные движения, и поэтому может стимулировать те же пластические процессы в «целевых» моторных зонах головного мозга, что и тренировки реальных движений [24–31].

Объективизация процесса представления движения и реализация обратной связи для пациента во время проведения мысленных тренировок возможны при помощи интерфейса мозг–компьютер, который преобразует электроэнцефалографические (ЭЭГ) сигналы мозга, возникающие при представлении движения, в команды внешнему устройству [32–37]. Сигналом активности мозга в данном случае является реакция синхронизации/десинхронизации сенсорно-моторного ритма ЭЭГ [35, 38–39]. Внешнее устройство, подключаемое к ИМК, обеспечивает предъявление обратной связи той или иной модальности: визуальной (экран монитора) или кинестетической (экзоскелет кисти) [40].

В небольшом сравнительном исследовании с участием 12 пациентов с постинсультными двигательными нарушениями о . и соавт. продемонстрировали преимущество кинестетической обратной связи, которая предъявлялась с помощью ортеза перед визуальной при тренировках представления движения с помощью ИМК [41]. Так, после 12–

20 тренировок с ИМК длительностью в 1 час улучшение двигательной функции руки наблюдалось только у пациентов, которым обратная связь предъявлялась с помощью ортеза, то есть кинестетически.

Синхронное предоставление объективной информации о выполнении задачи с помощью роботизированных ортезов и визуальных данных повышает качество обучения: пациент получает инструмент для произвольного контроля собственных усилий, а тактильная, проприоцептивная и зрительная афферентация дополнительно активирует структуры головного мозга, лишённые сенсорной информации или ограниченные в получении таковой вследствие инсульта или травмы [42–43]. Немаловажным является применение элементов роботизированной терапии (экзоскелет кисти), обеспечивающей высокую повторяемость движения с оптимальной интенсивностью тренировок [44].

Убедительно показана возможность применения ИМК–экзоскелет у пациентов после перенесённого инсульта (как ишемического, так и геморрагического), травмы головного мозга и имеющих парез в руке различной степени тяжести – от лёгкого до пlegии. При этом качество управления ИМК, основанного на регистрации сенсомоторного ритма, не зависело от латерализации очага повреждения (при сравнении подгрупп пациентов с левосторонним или правосторонним гемипарезом,  $p=0,89$ ), и реабилитационного периода (при сравнении пациентов в раннем, позднем и резидуальном периодах,  $p=0,08$ ) [45]. Кроме того, качество управления интерфейсом у больных достоверно не отличается от данного показателя у здоровых лиц [45–49].

### **Клиническая эффективность применения медицинской технологии ИМК**

Клиническая эффективность восстановительной терапии выше в той группе, в реабилитационную программу которой были включены тренировки с воображением движения под контролем ИМК, особенно у пациентов в раннем восстановительном периоде, по сравнению с контрольной группой [45, 48]. Важно отметить, что в исследовании О.А.Мокиенко с соавт. (2013, 2016) принимали участие пациенты с наиболее тяжёлыми двигательными нарушениями в кисти (плегия или грубый парез), с неблагоприятным прогнозом на восстановление. Важные данные были показаны Аг К. с соавт. (2014): в слепом рандомизированном исследовании (26 больных с грубым постинсультным гемипарезом) использовался реабилитационный робот для руки MI-Mas с управлением через ИМК, основанный на распознавании сенсомоторных ритмов ЭЭГ [50]. Эффекты лечения сравнивались между

группой больных, получавших ИМК+MI-Mas, и группой больных, получавших только робот-терапию с MI-Mas. При этом в группе без ИМК интенсивность тренировок была существенно выше, по сравнению с основной группой (1040 – по сравнению со 136 движениями за сеанс). Лечение продолжалось 4 недели, и по его окончании эффективность терапии была сопоставима в обеих группах. Через 12 недель от начала лечения в группе ИМК+MI-Mas у 63,6% больных отмечалось дальнейшее улучшение двигательных функций в руке, по сравнению с контрольной группой, в которой дальнейшее улучшение наблюдалось только у 35,7% [50].

В исследовании A.Ramos-Mrgialday 16 пациентов с постинсультным гемипарезом проходили тренировки с использованием технологии ИМК–ортез, 16 пациентов составили группу контроля: ортез во время тренировок не соединялся с ИМК и срабатывал случайным образом. Тренировки в обеих группах проходили в течение 4 недель (кроме выходных дней). В среднем, пациенты прошли примерно по 18 тренировок. В результате в группе ИМК улучшение двигательной функции по шкале FM было, в среднем, на 3,41 балл выше, чем в группе контроля ( $p=0,018$ ) [51].

Согласно результатам крупного контролируемого многоцентрового исследования iMove с использованием технологии ИМК–экзоскелет кисти, по завершении тренировок только в основной группе выявлено улучшение шарового захвата кисти с 0,5 (0,0; 13,0) до 3,0 (0,0; 15,5) баллов ( $p=0,003$ ) и щипкового захвата пальцев кисти с 0,5 (0,0; 7,5) до 1,0 (0,0; 12,0) балла ( $p=0,005$ ) по шкале ARA. При этом клинически значимое улучшение двигательной функции по шкале ARA показали 33,3%, а по шкале Fgl-Meyer – 30,5% пациентов основной группы. В контрольной группе эти показатели были меньше – 9,1% и 18,2% пациентов соответственно [52].

Способ реабилитации, основанный на обучении представлению движения с использованием технологии ИМК, позволяет реализовать практически все принципы современной нейрореабилитации: активное участие самого пациента, высокую интенсивность, регулярность тренировок, биологическую обратную связь, – тем самым повышая эффективность восстановительных мероприятий [53–54].

## **Назначение медицинской технологии ИМК**

Данная медицинская технология предназначена для использования при реабилитации пациентов с очаговым поражением головного мозга, полученным при инсульте или травме.



Объектом для применения технологии являются нейропластические процессы в головном мозге человека, возникающие при воображении движений в паретичной руке.

Данный подход рекомендуется как дополняющий традиционно используемые в двигательной реабилитации методы и может применяться у пациентов с очаговым повреждением давностью от 1 месяца, разной степенью выраженности пареза руки и степенью когнитивной функции, достаточной для выполнения задания по представлению движения.

Применение реабилитационного подхода, основанного на мысленном совершении движения с подкреплением через экзоскелет кисти, управляемой ИМК, возможно у пациентов с полным отсутствием движений в руке, когда применение активных двигательных методик ограничено или неприменимо. В первую очередь, методику рекомендовано назначать пациентам, основной целью двигательной реабилитации которой является улучшение шарового захвата кисти (захвата крупных предметов).

Противопоказаниями к проведению тренировок с использованием медицинской технологии ИМК являются: отсутствие мотивации у пациента, общие противопоказания к проведению реабилитационных процедур (острое заболевание; декомпенсация хронического заболевания, протекающего с общим тяжёлым соматическим состоянием пациента; высокой лихорадкой; инфекционный процесс, открытые раны в области головы, паретичной руки).

### **Условия использования медицинской технологии ИМК**

*Профиль организаций*, в которых возможно внедрение Технологии: научно-исследовательские учреждения, проводящие исследования в области технологии нейроинтерфейсов, экзоскелетов; медицинские учреждения, оказывающие реабилитационную помощь пациентам с последствиями инсульта и травмы головного мозга.

*Требования к помещению*: отдельное помещение площадью не менее 10 м<sup>2</sup>.

*Требования к кадровому составу*: для применения медицинской технологии требуется назначение врача-невролога.

*Требования к оснащению* и иные требования, необходимые для успешного внедрения технологии: для проведения реабилитационного курса необходим комплекс ИМК, основанный на анализе сенсорно-моторных ритмов электроэнцефалограммы с визуальной и кинестетической обратной связью. Комплекс состоит из следующих элементов:

- системы для регистрации, усиления и аналого-цифрового преобразования электроэнцефалограммы NVX 52 (производства ООО «Медицинские компьютерные системы», Зеленоград, Россия); сигналы ЭЭГ в данной системе фильтруются в полосе частот от 5 до 30 Гц;
- персонального компьютера с установленной операционной системой Windows и программным обеспечением EkzoHead (ООО «Имеджерисофт») для синхронной передачи данных, выделения рабочих показателей ЭЭГ и классификации сигналов для распознавания управляющей команды в реальном времени, а также предъявления пациенту визуальной обратной связи, используется классификатор паттернов ЭЭГ, основанный на методе Байеса [55, 56]; в качестве показателя точности классификации используется индекс «каппа Коэна» – при идеальном распознавании  $k=1$ , при случайном распознавании  $k=0$  [57] и процент правильных ответов классификатора (распознавание выше случайного при  $>33\%$ , так как пациенты выполняют по инструкции 3 ментальные задачи);
  - экзоскелета кисти для предъявления испытуемому кинестетической обратной связи (см. Руководство пользователя «Экзоскелет кисти Экзокисть-2»).

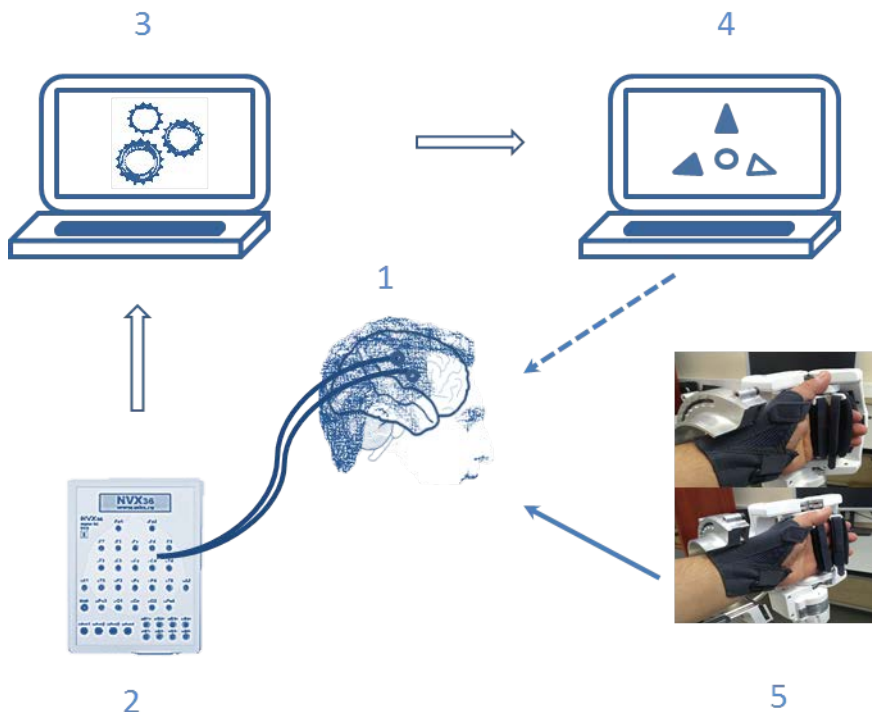
Комплекс должен обеспечивать: распознавание паттернов ЭЭГ, соответствующих воображению разгибания пальцев кисти с задержкой не более 250 мсек; синхронное предъявление визуальной и кинестетической обратной связи; разгибание пальцев кисти с помощью экзоскелета по сигналу от интерфейса мозг-компьютер не менее, чем на 30 градусов (рис. 1).

## **Описание применения медицинской технологии ИМК**

1. Перед началом процедур необходимо проведение скринингового медицинского осмотра, который предполагает оценку критериев включения и исключения.

Критериями *включения* являются:

- возраст пациентов от 18 лет;
- пациенты с нарушением мозгового кровообращения по ишемическому или геморрагическому типу, травмой головного мозга и очагом повреждения супратенториальной локализации;
- давность развития очага повреждения от 1 месяца;
- двигательные нарушения в кисти различной степени тяжести – от легкого пареза до пlegии.



**Рис. 1.** Комплекс ИМК – экзоскелет:

*Блок-схема комплекса ИМК: 1 – электроды ЭЭГ, 2 – энцефалограф NVX 52 (производство компании «Медицинские компьютерные системы»); 3 – компьютер (операционная система Windows 7) – передача данных в реальном времени, выделение рабочих показателей ЭЭГ, распознавание управляющей команды; 4 – презентационный монитор; 5 – экзоскелет кисти; пунктирная стрелка – визуальная обратная связь, непрерывная стрелка – кинестетическая обратная связь.*

Критериями *исключения* являются:

- оценка по шкале MoA менее 11 баллов (Приложение 1);
- сенсорная афазия, грубая моторная афазия, исключающая адекватный контакт между медицинским персоналом и пациентом;
- грубое нарушение зрения, не позволяющее выполнять визуальные инструкции на экране компьютера;
- спастичность в руке 4 балла по шкале Ashworth (Приложение 2);
- двигательные нарушения в руке иной природы.

## 2. Подготовка к проведению процедуры.

Пациента усаживают за столом перед компьютерным монитором, руки пациента лежат на подлокотниках кресла или на столе перед ним в удобном положении. На протяжении процедуры нежелательны перемещения пациента, активные движения головой, руками, предпочтительны приглушённый свет, отсутствие отвлекающих шумов.

На голову пациента надевают энцефалографический шлем для регистрации ЭЭГ, расположение электродов соответствует системе «10–20». Под каждый из электродов наносят электродный гель для снижения сопротивления между кожей головы и электродом.

Фиксируют экзоскелет (см. «Руководство пользователя «Экзоскелет кисти Экзокисть-2»).

3. Включение и подготовка программного обеспечения описаны в «Руководство пользователя «Экзоскелет кисти Экзокисть-2».

## 4. Проведение процедуры.

В начале тренировки пациенту предлагают ознакомиться с объектами на экране монитора. В центре экрана находится круг, служащий для фиксации взгляда, вокруг него расположены 3 стрелки, направленные вверх, влево и вправо и предназначенные для предъявления инструкции пациенту. В ходе тренировки происходит автоматическое изменение цвета одной из стрелок – с серого на зелёный. Это является сигналом для пациента к началу выполнения той или иной инструкции (рис. 2, 3, 4).



Рис. 2. Инструкция «Расслабиться».



**Рис. 3.** Инструкция «Представление движения правой рукой».



**Рис. 4.** Инструкция «Представление движения левой рукой».

Пациент выполняет одну из трех инструкций: «расслабиться», «представить движение левой или правой руки». В качестве движения руки предлагается представлять медленное разгибание пальцев кисти. При этом важно подчеркнуть, что представление должно быть кинестетическим: пациенту предлагают отчётливо представить ощущения в кисти, возникающие при движении пальцев. По инструкции «расслабиться (покой)» пациент должен спокойно сидеть и смотреть в центр экрана, качественно переключившись от выполнения инструкции, связанной с представлением движения.

Инструкция по «представлению движения» в правой и левой кисти предъявляется в случайном порядке: каждая в течение 10 секунд. Инструкции по «представлению движения» обязательно чередуются с инструкцией «расслабиться» (10-секундный период покоя).

Результаты распознавания выполняемой ментальной задачи предъявляются пациенту по зрительной и кинестетической обратной связи:

в случае успешного распознавания классификатором задачи, соответствующей предъявляемой инструкции, фиксирующая взор метка в середине экрана принимает зеленый цвет, а экзоскелет разгибает пальцы кисти. При распознавании других задач или при отсутствии такого распознавания метка цвет не меняет, экзоскелет не срабатывает.

Процедура содержит до трех вышеописанных сессий, каждая длительностью 10 минут, между сессиями пациент отдыхает в течение 5 минут. Общая продолжительность тренировки, включающая подготовку ЭЭГ-системы и настройку программного обеспечения, в среднем составляет 40 минут. Требуется не менее 10 описанных тренировок. Допускаются интервалы между процедурами от 1 до 3 дней.

5. По окончании процедуры выключают компоненты комплекса ИМК, снимают ЭЭГ-шлем, освобождают паретичную руку от экзоскелета, проводят гигиеническую обработку кожи головы пациента с помощью бытового шампуня. Дезинфекцию и очистку ЭЭГ-шлема и электродов от геля проводят в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

### **Безопасность медицинской технологии ИМК**

В ходе мультицентрового клинического исследования у пациентов не наблюдалось значимого ухудшения функции руки по шкалам ARA и FM [52]. В процессе тренировок у 3 пациентов возникла незначительная головная боль: у 2 пациентов из основной группы (у 1 из них данный симптом наблюдался в процессе 2 из 10 тренировок, у 2 – в процессе всех 10 тренировок) и у 1 пациента из контрольной группы (в ходе 3 из 10 тренировок).

Большинство пациентов сообщали об утомлении на фоне концентрации внимания после 20–30 минут тренировки. Утомление было более выражено при бессоннице накануне тренировки (у 2 пациентов основной группы), при наличии элементов депрессивного расстройства (2 пациента основной группы), на фоне большой нагрузки от других процедур, полученных пациентом до начала тренировки (1 пациент основной группы), а также при исходной общей слабости пациента.

Большинство больных считали, что чувство утомления свидетельствует об эффективности тренировки и относились к данному явлению положительно.

При жалобе на головную боль или усталость тренировка в данный день прекращалась, а одному пациенту из основной группы при появлении усталости было увеличено время между отдельными сессиями в рамках одной тренировки (по разрешению врача и желанию самого пациента). Из-

за усталости и плохого общего состояния одному пациенту пришлось увеличить интервал между процедурами до 2–3 дней.

У одного пациента основной группы после 3-й тренировки при прохождении повторного курса терапии отмечался эпизод увеличения артериального давления до 200/100 мм рт. ст., что потребовало медикаментозной коррекции после отмены процедуры.

В целом ни один из пациентов не выбыл из исследования из-за развития нежелательных явлений. На основании полученных при клиническом исследовании данных можно предполагать, что технология является безопасной [52].

Так как более выраженной усталости в процессе тренировок предшествовали бессонница, значимая физическая нагрузка от предшествующих процедур, элементы депрессивного расстройства, а также общая слабость, вероятность возникновения данного нежелательного явления можно снизить путем подбора оптимальной последовательности реабилитационных процедур и опроса пациента перед каждой тренировкой о его самочувствии и качестве сна.

## **Заключение**

В заключение можно отметить, что реабилитационный подход, основанный на представлении движения, контролируемом с помощью интерфейса мозг–компьютер с предъявлением нескольких видов обратной связи, является действенным методом нейрореабилитации и может активировать те же нейрональные структуры, что и при реальном движении. При этом такая активация, выявляемая лишь сложными нейрофизиологическими инструментами, может иметь вполне реальное, клинически значимое проявление в виде улучшения двигательных функций.

Согласно опыту по внедрению и использованию в рутинной клинической практике нескольких научно-клинических учреждений (ФГБНУ «Научный центр неврологии», ГБУЗ МО «Московский областной научноисследовательский клинический институт им. М.Ф.Владимирского», ГБУЗ ГКБ №31), можно выделить несомненные преимущества медицинской технологии ИМК:

– активное участие пациента в реабилитационной процедуре (когнитивная парадигма – представление движения, «motor imagery») независимо от тяжести двигательного дефицита и восстановительного периода;

- приближение реабилитационной среды к реальной (воображение прикладных, функционально значимых, движений);
- возможность адекватного контроля интенсивности и регулярности занятий; применение различных видов биологической обратной связи (визуальной и кинестетической).



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стаховская Л.В. et al. Эпидемиология инсульта в России по результатам территориально-популяционного регистра (200–2010). ЖУРНАЛ НЕВРОЛОГИИ И ПСИХИАТРИИ, 2013. 5: p. 4–10.
2. Александрова Г.А., Поликарпов А.В. Общая заболеваемость взрослого населения России в 2014 году. Статистические материалы. Ч. IV. 2015.
3. Кадыков А.С., Черникова Л.А., Шапаронова Н.В. ed. Реабилитация неврологических больных 3 ed. 2014, МЕДпресс-информ: Москва.
4. Добрынина, Л.А. Ишемический инсульт в молодом возрасте: причины, клиника, диагностика, прогноз восстановления двигательных функций. 2013: Москва. 48 с.
5. relse . et al. Stroke icidece ad prevalece i Eроpe: a review of available data. Er J Nerol, 2006. 13(6): p. 581–98.
6. Heller A. et al. Arm fctio after stroke: measremet ad recovery over the first three moths. J Nerol Nerosrg Psychiatry, 1987. 50(6): p. 714–9.
7. Wade D.. et al. he hemiplegic arm after stroke: measremet ad recovery. J Nerol Nerosrg Psychiatry, 1983. 46(6): p. 521–4.
8. Mercier . ad Borboais D. Relative sholder flexor ad hadgrip strenght is related to pper limb fctio after stroke. li Rehabil, 2004. 18(2): p. 215–21.
9. Jorgese H.S. et al. Stroke. Nerologic ad fctioal recovery the opehage Stroke Stdy. Phys Med Rehabil li N Am, 1999. 10(4): p. 887–906.
10. Nakayama H. et al. Recovery of pper extremity fctio i stroke patiets: the opehage Stroke Stdy. Arch Phys Med Rehabil, 1994. 75(4): p. 394–8.
11. Овсянников Д.М., Черникова Л.А., Колесов В.Н., Бубашвили А.И. Социальные и эпидемиологические аспекты черепно-мозговой травмы (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал., 2012. 8(3): с. 777–785.
12. М. А. Пирадов и др. Современные технологии нейромодуляции. Неврология XXI века: диагностические, лечебные и исследовательские технологии. 2015, Москва: АТМО.
13. Ndo R.J. Adaptive plasticity i motor cortex: implicatios for rehabilitatio after brai ijry. J Rehabil Med, 2003(41 Sppl): p. 7–10.
14. Ndo R.J. Fctioal ad strctral plasticity i motor cortex: implicatios for stroke recovery. Phys Med Rehabil li N Am, 2003. 14(1 Sppl): p. S57–76.
15. Ndo R.J. Postifarct cortical plasticity ad behavioral recovery. Stroke, 2007. 38(2 Sppl): p. 840–5.
16. Siegelbam S.A. ad Kadel E.R. Learig-related syaptic plasticity: LP ad LD. rr pi Nerobiol, 1991. 1(1): p. 113–20.

17. Takechi, N. ad Izmi S. Rehabilitatio with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res Treat*. 2013; p. 1286–41.
18. Kramer S. ad Riley J.D. Neuroplasticity ad brain repair after stroke. *Current Biology*, 2008. 21(1): p. 76–82.
19. Liepert J. et al. Reorganized cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke*, 2000. 31(6): p. 1210–6.
20. Черникова Л.А. Восстановительная неврология. Инновационные технологии в нейрореабилитации. 2016, Москва: Медицинское Информационное Агентство. 344.
21. Hatem S.M. et al. Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple Systematic Review Focused on Techniques to Stimulate Upper Extremity Recovery. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016. 10: p. 442.
22. Weinstein J. et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/ American Stroke Association. *Stroke*. 47(6): p. e98–e169.
23. Neuper C. et al. Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic ad visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. *Brain Research*, 2005. 25(3): p. 668–77.
24. Мокиенко О.А. Воображение движения и его практическое применение. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. В. Павлова*, 2013. 63(2): p. 195.
25. Het S. et al. The neural network of motor imagery: a ALE meta-analysis. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*, 2013. 37(5): p. 930–49.
26. Lotze M. ad Halsband U. Motor imagery. *J Physiol Paris*, 2006. 99(4-6): p. 386–95.
27. Mada R. ad Sighal A. Motor imagery ad higher-level cognition: for hurdles before research can sprint forward. *Cognitive Processing*. 13(3): p. 211–29.
28. Sharma N., Pomeroy V.M., ad Baro J.. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke*, 2006. 37(7): p. 1941–52.
29. Frolov A.A. et al. [Changes in the Hemodynamic Activity of the Brain during Motor Imagery using the Use of Brain-computer Interface]. *Fiziologiya*, 2016. 42(1): p. 5–18.
30. Frolov A.A. et al. [Localization of brain electrical activity sources ad hemodynamic activity foci during motor imagery]. *Fiziologiya*, 2014. 40(3): p. 45–56.
31. Mokiienko O.A. et al. Increased motor cortex excitability during motor imagery in brain-computer interface trained subjects. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014. 7: p. 168.
32. Frolov A.A. et al. Localization of Sources of Brain Activity Relevant to Motor Imagery Brain-computer Interface Performance, Using Individual Head Geometry, in *Advances in Neural Networks – ISNN 2012: 9th International Symposium on Neural Networks*, Sheyag, Hsia, July 11–14, 2012. Proceedings, Part I, J. Wang G.G. Ye, ad Polycarpo M.M. , Editors. 2012, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 369–378.

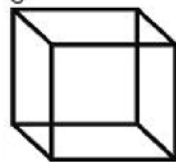
33. Черникова Л.А. Новые подходы к нейрореабилитации: интерфейс мозг–компьютер. Современные медицинские технологии, 2013. 10: р. 44–48.
34. Мокиенко О.А. Интерфейс мозг–компьютер: физиологические предпосылки и клиническое применение. Информационно-измерительные и управляющие системы, 2013. 11(4): р. 44–56.
35. Фролов А.А. Локализация источников электрической и фокусов гемодинамической активности мозга при воображении движений. Физиология человека, 2014. 40(3): р. 45.
36. Prasad G. et al. Applyig a brai-comptter iterface to sport motor imagery practice i people with stroke for pper limb recovery: a feasibility stdy. J Neroeg Rehabil, 2010. 7(1): р. 60.
37. Bobrov P.D. et al. [Bayesia classifier for brai-comptter iterface based o metal reresetatio of movemets]. Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova, 2012. 62(1): р. 89–99.
38. Frolov A.A. Sorses of EEG activity most relevat to performace of brai-comptter iterface based o motor imagery. Neral etwork world, 2012. 22(1): р. 21-37.
39. Pfrtscheller G. ad Lopes da Silva F.H. Evet-related EEG/MEG sychroizatio ad desychroizatio: basic priciples. li Nerophysiol, 1999. 110(11): р. 1842–57.
40. Фролов А.А. Принципы нейрореабилитации, основанные на использовании интерфейса «мозг–компьютер» и биологически адекватного управления экзоскелетом. Физиология человека, 2013. 39(2): р. 99.
41. o . et al. Brai–comptter iterface with somatosesory feedback improves fctioal recovery from severe hemiplegia de to chroic stroke. Frotiers i eroegeeerig, 2014. 7: р. 19.
42. Laghore P., Berhardt J., ad Kwakkel G. Stroke rehabilitatio. Lacet. 377(9778): р. 1693–702.
43. hiew M., Laote S.M., ad Graham S.J. Ivestigatio of fMRI erofeedback of differetial primary motor cortex activity sig kiesthetic motor imagery. Neroimage. 61(1): р. 21–31.
44. Черникова Л.А. Роботизированные системы в нейрореабилитации. Анналы клинической и экспериментальной неврологии, 2009. 3(3): р. 30–36.
45. Мокиенко О.А. Интерфейс мозг–компьютер: первый опыт клинического применения в России. Физиология человека, 2016. 42(1): р. 31.
46. Мокиенко О.А. Основанный на воображении движения интерфейс мозг–компьютер в реабилитации пациентов с гемипарезом. Бюллетень сибирской медицины, 2013. 12(2): р. 30–35.
47. Birykova E.V. et al. Recovery of the motor fctio of the arm with the aid of a had exoskeleto cotrolled by a brai–comptter iterface i a patiet with a extesive brai lesio. Hma Physiology, 2016. 42(1): р. 13–23.

48. Мокиенко О.А. Интерфейс мозг–компьютер, основанный на воображении движения, в реабилитации больных с последствиями очагового поражения головного мозга. Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. 2013: Москва.
49. Mokiieko .A. et al. Brai-computer interface: the first experience of clinical use in Russia. *Human Physiology*, 2016. 42(1): p. 24–31.
50. Ag K.K. et al. A Randomized Controlled Trial of EEG-Based Motor Imagery Brain-Computer Interface Robotic Rehabilitation for Stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2014.
51. Ramos-Murgalday A. et al. Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 2013. 74(1): p. 100–8.
52. Фролов А.А., Мокиенко О.А. Люкманов Р.Х. и др. Предварительные результаты контролируемого исследования эффективности технологии ИМК–экзоскелет при пост-инсультном парезе руки. *Вестник российского государственного медицинского университета*, 2016. 2: p. 17–25.
53. Черникова Л. А., Мокиенко О.А., В.Ю. Рощин, П.Д. Бобров, А.А. Фролов. Способ реабилитации больных, перенесших инсульт. Ф.с.п.и.с.Р. Федерации, Editor. 2014: Российская Федерация.
54. Kotov S.V. et al. Rehabilitation of Stroke Patients with a Bioengineered Computer Interface with Exoskeleton System. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 46(5): p. 518–522.
55. Frolov A., Hsek D., and Bobrov P. Comparison of classification methods for brain-computer interface. *Neural Network World*, 2011. 21(2): p. 101–111.
56. Bobrov P.D. et al. [Bayesian classifier for brain-computer interface based on metal representation of movements]. *Zhurnal vysshej nervoi deyatelnosti imei I P Pavlova*, 2012. 62(1): p. 89–99.
57. Kohavi R. and Provost F. Glossary of terms. *Machine Learning – Special Issue of Applications of Machine Learning and the Knowledge Discovery Process*, 1998. 30: p. 271–274.
58. Фролов А.А., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д., Курганская М.Е., Павлова О.Г., Кондур А.А., Турбина Л.Г., Котов С.В. (2016) Эффективность комплексной нейрореабилитации пациентов с постинсультным парезом руки с применением нейроинтерфейса «мозг–компьютер» + экзоскелет. *Альманах клинической медицины*, 44(3), 280–286.
59. Котов С.В., Турбина Л.Г., Бобров П.Д., Фролов А.А., Павлова О.Г., Курганская М.Е., Бирюкова Е.В. (2015) Применение комплекса «интерфейс «мозг–компьютер» и экзоскелет» и техники воображения движения для реабилитации после инсульта. *Альманах клинической медицины*, 39, 15–21.

**Монреальская шкала оценки  
КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ**

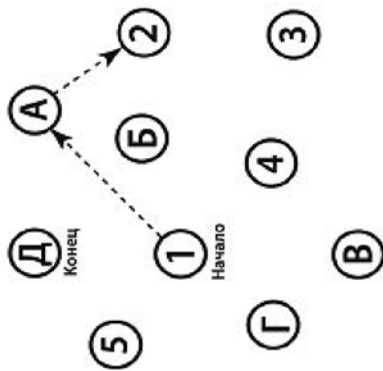
Образование: \_\_\_\_\_ Дата рождения: \_\_\_\_\_  
Пол: \_\_\_\_\_ ДАТА: \_\_\_\_\_

**Зрительно-конструктивные/исполнительные навыки**



Скопируйте  
куб

БАЛЛЫ



[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

\_\_\_/5

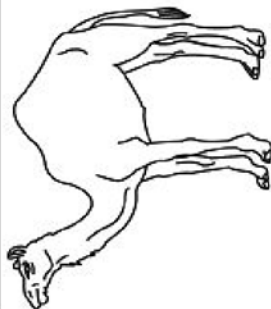
**НАЗЫВАНИЕ**



[ ]



[ ]



[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

\_\_\_/5

<b>ПАМЯТЬ</b>	Прочтите список слов, испытуемый должен повторить их. Делайте 2 попытки. Попросите повторить слова через 5 минут.						ЛИЦО	БАРХАТ	ЦЕРКОВЬ	ФИАЛКА	КРАСНЫЙ	нет баллов
		Попытка 1										
<b>ВНИМАНИЕ</b>	Прочтите список цифр (1 цифра/сек). Испытуемый должен повторить их в прямом порядке. [ ] 2 1 8 5 4						Испытуемый должен повторить их в обратном порядке. [ ] 7 4 2					
	Прочтите ряд букв. Испытуемый должен хлопнуть рукой на каждую букву А. Нет баллов при > 2 ошибок.						[ ] Ф Б А В М Н А А Ж К Л Б А Ф А К Д Е А А Ж А М О Ф А А Б					
<b>РЕЧЬ</b>	Серийное вычитание по 7 из 100. [ ] 93 [ ] 86 [ ] 79 [ ] 72 [ ] 65						4-5 правильных отв.: 3 балла, 2-3 правильных отв.: 2 балла, 1 правильный отв.: 1 балл, 0 правильных отв.: 0 баллов.					
	Повторите: Я знаю только одно, что Иван – это тот, кто может сегодня помочь. [ ]						Кошка всегда пряталась под диваном, когда собаки были в комнате. [ ]					
<b>АБСТРАКЦИЯ</b>	Что общего между словами, например, банан-яблоко = фрукты [ ] поезд - велосипед [ ] часы - линейка						еглость речи/ за одну минуту назовите максимальное количество слов, начинающихся на букву Л [ ] ____ (N ≥ 11 слов)					
	<b>ОТСРОЧЕННОЕ ОСПРИЗВЕДЕНИЕ</b>	Необходимо назвать слова БЕЗ ПОДСКАЗКИ						ЛИЦО [ ]	БАРХАТ [ ]	ЦЕРКОВЬ [ ]	ФИАЛКА [ ]	КРАСНЫЙ [ ]
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНО ПО ЖЕЛАНИЮ</b>		Подсказка категории										
	Множественный выбор											
<b>ОРИЕНТАЦИЯ</b>	[ ] Дата	[ ] Месяц	[ ] Год	[ ] День недели	[ ] Место	[ ] Город						
	<b>Z.Nasreddine MD</b> Version 7.1						<b>www.mocatest.org</b> Норма 26 / 30					
реvisedено: _____						перевод: Песохина О. В. Смирнова А. Ю.						
						КОЛИЧЕСТВО БАЛЛОВ _____/30						
						Добавить 1 балл, если образование ≤ 12						

**Модифицированная шкала Ashworth (1964 г.) для клинической оценки мышечного тонуса**

Балл	Описание
0	Нет увеличения мышечного тонуса
1	Незначительное увеличение мышечного тонуса, проявляющееся хватанием, напряжением и расслаблением при минимальном сопротивлении в конце движения, когда пораженная часть(и) совершает движение в сгибателях или разгибателях
1+	Легкое повышение мышечного тонуса, которое проявляется при захватывании предметов и сопровождается минимальным сопротивлением (менее половины объема движения)
2	Более заметное увеличение мышечного тонуса практически во всем объеме движения, но движение производится легко
3	Значительное увеличение мышечного тонуса, пассивные движения затруднены
4	Пораженные части ригидны при сгибании или разгибании

**А.А.Фролов, Л.А.Черникова, Р.Х.Люкманов, О.А.Мокиенко,  
П.Д.Бобров, Е.В.Бирюкова, С.В.Котов, Л.Г.Турбина, Г.Е.Иванова**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ «Неинвазивный  
интерфейс мозг – компьютер – экзоскелет кисти»**

Методические рекомендации

---

ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И.Пирогова,  
117997, Москва, ул. Островитянова, 1  
2017