

УДК 616.831-005-036.86-08:[615.216:615.844]

DOI: 10.34215/1609-1175-2023-4-21-25



## Эффективность функциональной электростимуляции нижних конечностей у пациентов, перенесших инсульт

Т.А. Кантур, Е.В. Хмелева, Ю.Б. Колесникова, Ж.Б. Барзеева

*Медицинский комплекс Дальневосточного государственного университета, Владивосток, Россия*

**Цель.** Оценить эффективность функциональной электростимуляции мышц нижней конечности при парезе на разных этапах двигательной реабилитации пациентов, перенесших инсульт. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 80 пациентов с двигательными нарушениями после инсульта. Из методов лечения выбраны варианты пассивной, пассивно-активной функциональной электростимуляции (ФЭС) в сочетании с тренажером THERA-Trainer Tigo и активной ФЭС (нейроортез) WalkAide. **Результаты.** Анализ показателей двигательного статуса, а именно шкалы Берга, теста 6-минутной ходьбы и динамического индекса ходьбы, показал максимальную эффективность активной функциональной электростимуляции с биологически обратной связью. **Заключение.** При назначении и выборе метода электростимуляции, по нашим данным, предпочтение в нейрореабилитации нужно отдавать методам пассивно-активной и активной функциональной стимуляции.

**Ключевые слова:** инсульт, нарушение походки, электростимуляция

Поступила в редакцию: 24.08.23. Получена после доработки: 02.09.23, 12.09.23, 08.10.23, 12.10.23, 14.10.23. Принята к публикации: 27.10.23

**Для цитирования:** Кантур Т.А., Хмелева Е.В., Колесникова Ю.Б., Барзеева Ж.Б. Эффективность функциональной электростимуляции нижних конечностей у пациентов, перенесших инсульт. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2023;4:21–25. doi: 10.34215/1609-1175-2023-4-21-25

**Для корреспонденции:** Кантур Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая отделением (Центра) восстановительной медицины и реабилитации Медицинского комплекса ДВГУ (690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, корпус 25); ORCID: 0000-0002-7851-6141; тел.: +7 (914) 706-38-51; e-mail: kanturovichi@yandex.ru

## Efficacy of functional electrical stimulation of the lower extremities in stroke patients

T.A. Kantur, E.V. Khmeleva, Yu.B. Kolesnikova, Z.B. Barzeeva

*Medical Complex, Vladivostok, Russia*

**Aim.** To evaluate the efficacy of functional electrical stimulation of the lower extremities in stroke patients at different stages of motor rehabilitation. **Materials and methods.** The study involved 80 patients with motor disorders after stroke. The studied treatment methods included passive and passive-active functional electrical stimulation (FES) in combination with the THERA-Trainer Tigo and active FES (neuro-orthosis) WalkAide. **Results.** The analysis of motor status indicators, namely the Berg Balance Scale, 6-minute walk test, and dynamic walking index showed the maximum efficacy of active FES with biofeedback. **Conclusion.** When prescribing and selecting a method of electrical stimulation, preference in neurorehabilitation should be given to methods of passive-active and active functional stimulation.

**Keywords:** stroke, gait disorder, electrical stimulation

Received 24 August 2023; Revised 2, 12 September 2023; 12, 14 October 2023; Accepted 27 October 2023

**For citation:** Kantur T.A., Khmeleva E.V., Kolesnikova Yu.B., Barzeeva Z.B. Efficacy of functional electrical stimulation of the lower extremities in stroke patients. *Pacific Medical Journal*. 2023;4:21–25. doi: 10.34215/1609-1175-2023-4-21-25

**Corresponding author:** Tatiana A. Kantur, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department (Center) of Restorative Medicine and Rehabilitation (690922, Vladivostok, Russkiy Island, Ajax 10, building 25); ORCID: 0000-0002-7851-6141; phone: +7 (914) 706-38-51; e-mail: kanturovichi@yandex.ru

Сосудистые заболевания головного мозга – одна из ведущих причин заболеваемости, смертности и инвалидизации в России. Более 80% пациентов трудоспособного возраста, перенесших инсульт, становятся инвалидами. Ведущим фактором инвалидизации у значительного числа пациентов являются двигательные расстройства. Двигательные нарушения различной степени и характера представляют собой самый частый симптом поражения головного мозга как в острой, так и в хронической стадии заболевания. В острой стадии они выявляются у 70–90% пациентов, спустя один

год резидуальный дефект сохраняется не менее чем у 1/2 выживших пациентов [1, 2].

Восстановление функции ходьбы – главная задача двигательной реабилитации, которая может быть решена у подавляющего большинства пациентов с гемипарезом. Основные задачи, решаемые при восстановлении ходьбы, – коррекция пропульсии, восстановление равновесия, бипедальной координации, регуляторных когнитивных функций, пространственной ориентации.

Арсенал реабилитационных технологий, позволяющих восстановить функции ходьбы, многообразен

и предоставляет такие возможности, о которых еще полвека назад врачи не могли и мечтать. Среди новых методик это кинезиотерапия с использованием биологически обратной связи, роботизированная механотерапия; пациентам, не нуждающимся при передвижении в посторонней помощи, для восстановления скорости во время ходьбы можно назначить занятия на беговой дорожке. Для наращивания скорости ходьбы, увеличения проходимого пациентом расстояния, повышения функциональной активности в реабилитацию необходимо включать повторяющиеся упражнения, которые должны быть безопасны для пациента [3].

Эффективность электромиостимуляции для лечения «свисающей стопы» после инсульта доказывает систематический обзор, включающий 30 исследований разнообразного характера и качества по изучению результатов функциональной электрической стимуляции (ФЭС) [4,5].

Целью нашей работы стало оценка эффективности различных вариантов электростимуляции на разных этапах двигательной реабилитации в зависимости от возможностей пациента, перенесшего инсульт.

#### Материалы и методы

Исследование проводилось на базе отделения (Центра) восстановительной медицины и реабилитации в Медицинском комплексе Дальневосточного федерального университета города Владивостока.

В данном научном исследовании приняли участие 80 постинсультных пациентов, возраст которых составлял от 40 до 65 лет (средний возраст  $55,1 \pm 5,3$  года). Давность инсульта варьировала от 32 до 159 дней и составила в среднем  $57,6 \pm 32,1$  дня.

Критерии включения: возраст от 18 до 70 лет; инсульт, подтвержденный документально с помощью КТ или МРТ; стабильные показатели жизненно важных функций; отсутствие судорожного синдрома; информированное согласие на проведение лечения.

Критерии исключения: возраст младше 18 и старше 70 лет; высокий мышечный тонус (более 3 баллов по шкале Ашворта); злокачественные новообразования; острые инфекционные заболевания и лихорадочные состояния, при которых не установлен точный диагноз; хронические инфекции в стадии обострения; имплантированный кардиостимулятор или дефибрилятор; неконтролируемые эпилептические приступы; беременность; психические расстройства; открытые раны или симптоматический действующий тромбоз в пораженной голени.

У всех пациентов проводилась оценка степени нарушения двигательной функции нижней конечности после инсульта по следующим показателям: скорость ходьбы с помощью теста 6-минутной ходьбы; состояние равновесия с использованием шкалы Берга; степень спастичности мышц паретичной конечности при помощи модифицированной шкалы Ашворта;

мышечную силу для определения степени пареза с помощью 6-балльной шкалы оценки мышечной силы; функцию ходьбы и риска падения при помощи определения динамического индекса ходьбы, гониометрия коленного и тазобедренного суставов.

#### Методики функциональной стимуляции

Двигательную коррекцию проводили при помощи аппарата ФЭС АПК МНС-16 (Россия, «Косима», РЗН 2021/15666) в сочетании с тренажером THERA-Trainer Tigo (производства Medica Medizintechnik GmbH соответствует самым последним стандартам качества и безопасности, имеет сертификаты ISO 9001:2000, EN ISO 13485, TUV, ГОСТ и Минздрава РФ). Для проведения исследования был выбран аппарат МНС-16.

Тренажер THERA-Trainer Tigo предназначен для активно-пассивной реабилитации нижних и верхних конечностей.

Для пациентов, способных находиться более продолжительное время в вертикальном положении, использовали систему ФЭС (нейроортез) WalkAide (оборудование WalkAide производится в США компанией Innovative Neurotronics, обладает FDA и CE. Зарегистрировано в РФ).

Пассивную электростимуляцию передних большеберцовых, четырехглавых, ягодичных мышц проводили на аппарате «Миоритм-040» (ФГУП «НПП «Сигнал», Россия). Длительность процедуры электростимуляции во всех группах пациентов составила 15–20 минут. Реабилитационный курс составлял 10 дней, перед началом курса и на последний день после всех необходимых лечебных процедур повторно измерялись указанные выше показатели для определения эффективности реабилитации.

Все пациенты получали медикаментозную терапию согласно стандарту оказания специализированной медицинской помощи (Приказ Минздрава России от 09.11.2012 N 708н «Об утверждении стандарта первичной медико-санитарной помощи при первичной артериальной гипертензии (гипертонической болезни)»), кинезиотерапию и механотерапию.

Обследуемых рандомизировали на 3 группы.

В 1-ю вошли 27 пациентов, перенесших ОНМК (острая недостаточность мозгового кровообращения), получавших пассивную электростимуляцию. Во 2-ю – 29 человек с последствиями ОНМК, в индивидуальную программу реабилитации входила ФЭС в сочетании с тренажером THERA-Trainer Tigo для активно-пассивной реабилитации нижних конечностей. В 3-ю – 24 пациента с последствиями ОНМК, в реабилитационный комплекс которых входила ФЭС (нейроортез) WalkAide

В данной работе статистическая обработка осуществлялась с помощью персонального компьютера и программного обеспечения Excel – Microsoft Office – Office 365 и Statistica 6,0. В данном исследовании представлены значения, которые распределены

ненормально по Гауссу, и для проверки гипотезы влияния реабилитационных мероприятий на результаты функциональных тестов использовался парный *T*-критерий Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

#### Результаты исследования

Исследование завершили 54 пациента. При неврологическом осмотре исходно у всех исследуемых пациентов выявлены двигательные нарушения в виде правосторонних (57%) и левосторонних (43%) гемипарезов.

Динамика основных показателей в трех исследуемых группах отражена в табл. Исходно во всех группах отмечался высокий уровень риска падения, нарушение постральной устойчивости, низкий уровень мышечной силы, легкое повышение мышечного тонуса в мышцах нижней конечности.

В ходе лечения более значимая динамика показателей достигнута в 3-й группе пациентов (использовали нейроортез), причем динамика показателей по шкале Берга и 6-балльной шкале мышечной силы более выраженная и составила в 1,3 и 1,2 раза соответственно по сравнению с данными при пассивной стимуляции (табл.).

Существенной разницы в динамике показателей между 2-й и 3-й группами не наблюдается. Однако при детальном анализе индивидуальных показателей каждого пациента наблюдалось, что в 3-й группе способность удерживать равновесие наступала значительно раньше.

Также была проведена оценка использования технических средств реабилитации у пациентов трех групп в ходе исследования. При поступлении с ходунками передвигались 25% пациентов, 14% – на кресле-каталке с помощью сопровождающего, они также могли ходить с тростью, но испытывали страх падения. 61% пациентов передвигался с опорой на трость, из них 45% – на многоопорную и лишь 16% – на одноопорную трость.

К концу реабилитационного лечения пациенты 2-й и 3-й групп в 87% случаев передвигались с одноопорной тростью, остальные – самостоятельно.

В 1-й группе 2/3 пациентов ходили с многоопорной тростью, ходунками, а 1/3 так и продолжала передвигаться на коляске.

#### Обсуждение полученных данных

Основными характеристиками постинсультной походки является нарушение опорной функции паретичной конечности, снижение скорости ходьбы и уменьшение длины шага, которые вызывают постуральные нарушения, асимметрию походки и ведут к перераспределению избыточной нагрузки на здоровую сторону [6]. Данных об эффективности влияния пассивной электростимуляции на восстановление походки в литературе немногочисленны. Действие при этом совершается без задействования механизмов ходьбы – пациент не вертикализован, нет воздействия на проприорецепторы в суставах и нет необходимости самостоятельно включать механизмы постральной устойчивости. По данным кокрейновского обзора, также нет значимых изменений походки при пассивной электростимуляции мышц [7].

Восстановление походки отказ от технических средств реабилитации и максимальная независимость пациентов с последствиями ОНМК – это первостепенная задача медицинской реабилитации. Уверенность в ноге способствует увеличению длины шага и соответственно скорости передвижения. Проведенное исследование показало, что улучшение стато-локомоторных функций способствует прогрессированию двигательного статуса пациентов после ОНМК. Оценка эффективности различных вариантов электростимуляции – пассивной, пассивно-активной и активной – показала, что все методики положительно влияют на мышечную силу паретичной конечности, не провоцируют повышения мышечного тонуса, снижают риск падения. Однако методики отличаются по своей эффективности.

Таблица

Динамика показателей двигательного статуса ( $M \pm m$ )

| Показатель                     | 1-я группа<br>( $n = 27$ )               | 2-я группа<br>( $n = 29$ )                 | 3-я группа<br>( $n = 24$ )                    |
|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Тест 6-минутной ходьбы         | $135,85 \pm 11,78$<br>$148,41 \pm 14,17$ | $149,34 \pm 12,61$<br>$213,88 \pm 19,09^*$ | $137,25 \pm 11,45$<br>$218,64 \pm 17,44^{**}$ |
| Шкала Берга                    | $44,12 \pm 2,87$<br>$50,73 \pm 1,74$     | $42,66 \pm 2,67$<br>$59,11 \pm 1,84^*$     | $43,45 \pm 2,07$<br>$65,21 \pm 1,77^*$        |
| Шкала Ашфорт                   | $1,25 \pm 0,74$<br>$1,11 \pm 0,21$       | $1,66 \pm 0,57$<br>$1,07 \pm 0,34$         | $1,33 \pm 0,62$<br>$0,9 \pm 0,37$             |
| 6-балльная шкала мышечной силы | $2,55 \pm 0,65$<br>$3,8 \pm 0,49$        | $2,55 \pm 0,65$<br>$3,4 \pm 0,56$          | $2,57 \pm 0,55$<br>$4,8 \pm 0,44$             |
| Динамический индекс ходьбы     | $17,21 \pm 2,89$<br>$19,74 \pm 2,79$     | $16,23 \pm 3,05$<br>$23,44 \pm 2,75^{**}$  | $16,78 \pm 3,61$<br>$25,47 \pm 2,06^{***}$    |

Примечание: \* – отличия по сравнению с исходным уровнем статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

Во 2-й и 3-й группах реабилитация шла с использованием ФЭС, построенной по типу обратной связи, которая моделирует физиологический паттерн ходьбы. Главное преимущество данного метода заключалось в том, что устройство для функциональной электростимуляции способно через явление нейропластичности помочь мозгу восстановить моторную функцию по принципу обратной биологической связи от стимулируемых мышц, т. е. индуцировать моторное переобучение, что привело к выработке правильного стереотипа походки, улучшению биомеханики шага, повышению индекса ходьбы, скорости ходьбы, с помощью изменения таких параметров, как увеличение объема активных движений, снижение мышечного тонуса, улучшение равновесия и баланса тела в пространстве.

Чем более приближен метод стимуляции к естественному положению пациента при ходьбе, тем более он эффективен. Применение в нейрореабилитации методов функциональной электростимуляции с биологически обратной связью, при которой результаты действий пациента отражаются на экране в виде игры или графической анимации, по данным системного обзора, достоверно улучшает походку [8].

По результатам нашего исследования и многочисленных исследований получены убедительные свидетельства того, что функциональная электрическая стимуляция с использованием низкочастотных сигналов для активации нервно-мышечных компонентов разгибателей стопы способствует значительному улучшению моторной функции и безопасности ходьбы неврологических пациентов посредством улучшения ее скорости качества походки, повышения функциональной подвижности, снижения энергозатрат на ходьбу, а также запуску механизмов нейропластичности [7]. Важным фактором в динамике двигательных нарушений явился отказ большинства пациентов от использования технических средств реабилитации, что повышает уровень максимальной независимости и качества жизни пациента.

#### Заключение

Стато-локомоторные нарушения после перенесенного инсульта, по данным различных авторов, имеют крайне высокую частоту встречаемости. Нарушение самостоятельного передвижения, высокий риск падения и травматизации, затруднение передвижения существенно ухудшают качество жизни и повышают процент инвалидизации пациентов.

Восстановление мышечной силы, тренировка равновесия и смещения центра тяжести при использовании активных методов по принципу обратной связи с ФЭС ускоряют реабилитационный период и тем самым повышают уровень реабилитационного прогноза.

В проведенной работе показана высокая эффективность пассивно-активной и активной ФЭС мышц нижних конечностей с биологически обратной связью, что позволило значимо улучшить стереотип ходьбы,

опороспособность ноги. При назначении и выборе метода электростимуляции, по нашим данным, предпочтение в нейрореабилитации нужно отдавать методам пассивно-активной и активной функциональной стимуляции.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования:** авторы заявляют о финансировании проведенного исследования из собственных средств.

#### Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования – КТА, ХЕВ

Сбор и обработка материала – КЮБ, БЖБ

Статистическая обработка – ХЕВ

Написание текста – КТА

Редактирование – КТА, ХЕВ

#### Литература / References

1. Мачинский П.А., Плотникова Н.А., Ульянов В.Е., Кемайкин С.П., Рыбаков А.Г. Сравнительная характеристика показателей смертности и летальности от ишемического и геморрагического инсультов в России. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. 2019;3(51):101–18. [Machinskiy PA, Plotnikova NA, Kemaykin SP, Rybakov AG. Comparative characteristics of mortality and mortality rates from ischemic and hemorrhagic strokes in Russia. *University proceedings. Volga region. Medical sciences*. 2019;3(51):101–18 (In Russ.)]. doi: 10.21685/2072-3032-2019-3-10
2. Левин О.С., Боголепова А.Н. Постинсультные двигательные и когнитивные нарушения: клинические особенности и современные подходы к реабилитации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020;120(11):99–107. [Levin OS, Bogolepova AN. Poststroke motor and cognitive impairments: clinical features and current approaches to rehabilitation. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2020;120(11):99–107 (In Russ.)]. doi: 10.17116/jnevro202012011199
3. Ястребцева И.П., Кочетков А.В., Николаева С.В. Функциональное восстановление моторики после инсульта с позиций доказательной медицины. *Доктор.Ру. Неврология Психиатрия*. 2016;4(121):26–9. [Yastrebtseva IP, Kochetkov AV, Nikolaeva SV. Functional recovery of motor skills after stroke from the standpoint of evidence-based medicine. *Doktor.Ru. Neurology Psychiatry*. 2016;4(121):26–9 (In Russ.)].
4. Roche A. G. L., Coote S. Surface-applied functional electrical stimulation for orthotic and therapeutic treatment of drop-foot after stroke – a systematic review *Phys. Ther. Rev*. 2009;14(2):63–80.
5. Хаткова С.Е., Костенко Е.В., Акулов М.А., Дягилева В.П., Николаев Е.А., Орлова А.С. Современные аспекты патофизиологии нарушений ходьбы у пациентов после инсульта и особенности их реабилитации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2019;119(12–2):43–50. [Khatkova SE, Kostenko EV, Akulov MA, Diagileva VP, Nikolaev EA, Orlova AS. Modern aspects of the pathophysiology of walking disorders and their rehabilitation in post-stroke patients. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova* 2019;119(12–2):43–50 (In Russ.)]. doi: 10.17116/jnevro201911912243
6. Stanton R, Ada L, Dean CM, Preston E. Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*. 2016;63(1):11–6. doi: 10.1016/j.jphys.2016.11.006

7. Гурьянова Е.А., Ковальчук В.В., Тихоплав О.А., Литвак Ф.Г. Функциональная электростимуляция при восстановлении ходьбы после инсульта. Обзор научной литературы. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(3):244–62. [Guryanova EA, Kovalchuk VV, Tikhoplav OA, Litvak FG. Functional Electrical Stimulation for Restoration of Gait and Motor Recovery After a Stroke. Review of Scientific Literature *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(3):244–62 (In Russ.)]. doi: 10.36425/rehab34831
8. Костенко Е.В., Петрова Л.В., Рыльский А.В., Энеева М.А. Эффективность коррекции постинсультных двигательных нарушений с применением методов функциональной электростимуляции и БОС-стабилометрического постурального контроля. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019;119(1):23–30. [Kostenko EV, Petrova LV, Rytsky AV, Eneeva MA. Effectiveness of correction of post-stroke motor disorders using the methods of functional electrostimulation and BFB-stabilometric postural control. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2019;119(1):23–30 (In Russ.)]. doi: 10.17116/jnevro201911901123