

Получена: 21 марта 2020 / Принята: 10 апреля 2020 / Опубликовано online: 30 июня 2020

DOI 10.34689/SH.2020.22.3.010

УДК 615.843, 616.831-009.81

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РЕЦИПРОКНАЯ НЕЙРОМЫШЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ В АДАПТИВНОЙ КИНЕЗИТЕРАПИИ У ПОСТИНСУЛЬТНЫХ ПАЦИЕНТОВ

**Владислав А. Лукашевич¹, Владимир В. Пономарев¹,
Мечислав И. Тарасевич², Сергей А. Живолупов³**

¹ Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь;

² 2-я клиническая больница г. Минск, Республика Беларусь;

³ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия.

Резюме

Целью исследования являлась разработка программы нейромышечной электростимуляции (НМЭС), применяемой в сочетании с мануальными кинезитерапевтическими техниками (МКТ), для восстановления функции стереотипа походки и адаптивной кинематики нижних конечностей. В исследовании приняло участие 37 пациентов в раннем восстановительном периоде после инфаркта головного мозга (ИГМ), разделенных на три группы: группа №1 (n=10) проходивших лечение по стандартной программе комплексной терапии (СПКТ); 2) группа пациентов №2 (n=12), получавших комбинированное лечение включающее СПКТ и программу реципрокной нейромышечной электростимуляции (РНМЭС) – программа «А»; 3) группа пациентов №3 (n=15), получавших комбинированное лечение, включающее СПКТ и программу функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции (ФРНМЭС) – программа «В». Оценка результатов исследования проводилась по модифицированной шкале Рэнкина (МШР), индексу Бартел (ИБ), индексу мобильности Ривермид (ИМР), скандинавской шкале инсульта (SSS), 10-ти метровому тесту ходьбы (10ТХ) и тесту оценки адаптивной кинематики нижних конечностей (АКНК). Анализ полученных результатов установил, что применение ФРНМЭС способствует повышению эффективности СПКТ пациентов в раннем восстановительном периоде после инфаркта головного мозга на 49,15%.

Ключевые слова: инсульт, нейрореабилитация, адаптивная кинезитерапия, функциональная реципрокная нейромышечная электростимуляция, технология «Teslasuit».

Summary

FUNCTIONAL RECIPROCAL NEUROMUSCULAR ELECTRIC STIMULATION IN ADAPTIVE KINESITHERAPY IN POST-STROKE PATIENTS

**Uladzislau A. Lukashevich¹, Vladimir V. Ponomarev¹,
Mechislav I. Tarasevich², Sergei A. Zhivolupov³**

¹ Belorussian medical academy of post graduate education, Minsk, Belarus;

² 2-nd clinical hospital, Minsk, Belarus;

³ Military medical academy, neurology department, Saint-Petersburg, Russian Federation.

The aim of the study was to develop a program of neuromuscular electrical stimulation, used in combination with manual kinesitherapy techniques, to restore gait stereotype function and adaptive kinematics of the lower extremities after stroke. The study involved 37 patients in the early recovery period after cerebral infarction (MI), divided into three groups: group No. 1 (n = 10) were treated according to the standard complex therapy program (SCTP); 2) a group of patients No. 2 (n = 12) received combined treatment including SCTP and a program of reciprocal neuromuscular electrical stimulation - program "A"; 3) a group of patients No. 3 (n = 15) received combined treatment, including s SCTP and the program of functional reciprocal neuromuscular electrical stimulation (FRNMES) - program "B". Assessment of the results of the study was carried out according to modified Rankin scale, Barthel index, Rivermead mobility index, Scandinavian stroke scale, 10-meter walk test and adaptive kinematics test of lower limbs. An analysis of the results found that the use of the FRNMES increase in the effectiveness of SCTP in early recovery period after stroke by 49,15%.

Key words: stroke, neurorehabilitation, adaptive kinesitherapy, functional reciprocal neuromuscular electrical stimulation, "Teslasuit" technology.

Түйіндеме

ИНСУЛЬТТАН КЕЙІНГІ ЕМДЕЛУШІЛЕРДЕ БЕЙІМДІ КИНЕЗИТЕРАПИЯДАҒЫ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ РЕЦИПРОКТЫ НЕЙРОБҰЛШЫҚ ЕТТІК ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ

Владислав А. Лукашевич¹, Владимир В. Пономарев¹,**Мечислав И. Тарасевич², Сергей А. Живолупов³**¹ Белорусь медициналық академия дипломнан кейінгі білім, Минск қ., Беларусь Республикасы;² 2 - клиникалық аурухана Минск қ., Беларусь Республикасы;³ С.М. Киров атындағы әскери – медициналық академия, Санкт-Петербург, Ресей.

Зерттеудің мақсаты - аяқтың бейімді кинематикасы мен жүру стереотипі қызметін қалпына келтіру үшін мануалды кинезитерапиялық техникасымен (МКТ) бірге қолданылатын нейробұлшық еттік электростимуляция бағдарламасын жасау. Зерттеуге ми инфарктынан (ИГМ) кейінгі ерте қалпына келтіру кезеңінде үш топқа бөлінген 37 пациент қатысты: №1 топ (n=10) стандартты кешенді ем бағдарламасы (СПКТ) бойынша емдеуден өткендер; 2) СПКТ және реципрокты нейробұлшық еттік электростимуляция (РНМЭС) бағдарламасын қамтитын біріктірілген ем қабылдағандар №2 (n=12) пациенттер тобы – «А» бағдарламасы; 3) СПКТ және функционалдық реципрокты нейробұлшық еттік электростимуляция (ФРНМЭС) бағдарламасын қамтитын біріктірілген ем қабылдағандар №3 (n=15) пациенттер тобы – «В» бағдарламасы.

Зерттеу нәтижелерін бағалау Рэнкин шкаласы (МШР), Бартел индексі (АҚ), Ривермид ұтқырлық индексі (ИМР), скандинавтық инсульт шкаласы (SSS), 10 метрлік жүру тестісі (10тх) және аяқтың бейімделген кинематикасын бағалау тестісі (АКНХ) бойынша жүргізілді. Алынған нәтижелерді талдау ФРНМЭС-ті қолдану ми инфарктынан кейінгі ерте қалпына келтіру кезеңінде пациенттердің СПКТ тиімділігін 49,15% - ға арттыруға ықпал ететінін анықтады.

Түйінді сөздер: инсульт, нейрореабилитация, бейімді адаптивтік кинезитерапия, функционалды реципрокты нейробұлшық еттік электростимуляция, «Teslasuit» технологиясы.

Библиографическая ссылка:

Лукашевич В.А., Пономарев В.В., Тарасевич М.И., Живолупов С.А. Функциональная реципрокная нейромышечная электростимуляция в адаптивной кинезитерапии у постинсультных пациентов // Наука и Здоровье. 2020. 3 (Т.22). С. 80-88. doi 10.34689/SH.2020.22.3.010

Lukashevich V.A., Ponomarev V.V., Tarasevich M.I., Zhivolupov S.A. Functional reciprocal neuromuscular electric stimulation in adaptive kinesitherapy in post-stroke patients // Nauka i Zdravookhranenie [Science & Healthcare]. 2020, (Vol.22) 3, pp. 80-88. doi 10.34689/SH.2020.22.3.010

Лукашевич В.А., Пономарев В.В., Тарасевич М.И., Живолупов С.А. Инсульттан кейінгі емделушілерде бейімді кинезитерапиядағы функционалдық реципрокты нейробұлшық еттік электростимуляция // Ғылым және Денсаулық сақтау. 2020. 3 (Т.22). Б. 80-88. doi 10.34689/SH.2020.22.3.010

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем современного общества может считаться биопсихосоциальное бремя нейрореабилитации лиц, перенесших инфаркт головного мозга (ИГМ), с одной стороны обусловленное этическим долгом государства, с другой – экономическими затратами на проведение эффективной двигательной, психологической и социальной реабилитации [5, 11, 9].

Несмотря на то, что в мире наметилась положительная тенденция в отношении снижения числа смертельных исходов после ИГМ [13], перспектива заболевания имеет негативный прогноз – к 2025 году 30% выживших после ИГМ останутся стойкими инвалидами в виду гемипареза [14]. Низкий реабилитационный потенциал инвалидов зачастую обусловлен синдромом «постинсультной усталости» [8]. Учитывая его распространенность (до 79%), на первое

место выступают программы медицинской реабилитации (МР), состоящие из терапевтических упражнений, выполняемых пассивно с активной поддержкой, в том числе с использованием процедур нейромышечной электростимуляции (НМЭС) [6, 2, 15]. Прикладными недостатками методик НМЭС являются низкая кратность (2-3 процедуры в неделю) и невозможность комбинации с мануальными кинезитерапевтическими техниками (МКТ) [6, 4].

Таким образом, перспективным направлением МР пациентов, перенесших ИГМ может считаться применение НМЭС в сочетании с МКТ при которых собственная активность пациента носит преимущественно пассивный характер с элементами активной поддержки.

Гипотеза исследования: применение новой методики функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции (ФРНМЭС) способно снизить

суммарное время НМЭС на курс МР и увеличить кратность процедур без потери эффективности МР.

Целью исследования являлась разработка программы НМЭС в сочетании с МКТ для восстановления функции стереотипа походки и адаптивной кинематики нижних конечностей (АКНК) с использованием беспроводной технологии умного костюма «Teslasuit».

Материал и методы

Исследование одобрено этическим комитетом ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования» и проводилось в рамках диссертационной работы на соискание ученой степени доктора медицинских наук на базе УЗ «2-я городская клиническая больница г. Минска». Методическая поддержка исследованию оказана проф. С.А. Живолуповым (Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, СПб, Россия).

В исследовании приняло участие 37 пациентов, в раннем восстановительном периоде после ИГМ. Когорта пациентов состояла из следующих групп:

1) *группа пациентов №1* (n=10) проходивших лечение по стандартной программе комплексной терапии (СПКТ);

2) *группа пациентов №2* (n=12), получавших комбинированное лечение, включающее СПКТ и программу реципрокной нейромышечной электростимуляции (РНМЭС) – программа «А»;

3) *группа пациентов №3* (n=15), получавших комбинированное лечение, включающее СПКТ и программу ФРНМЭС – программа «В».

Все исследуемые группы, составляющие когорту пациентов, были сопоставимы по возрасту, полу, патогенетическим вариантам ИГМ и антропометрическим данным. В качестве группы контроля параметров адаптивной кинематики в исследовании приняло участие 18 здоровых добровольцев – группа «К».

Диагноз ИГМ устанавливался на основании критериев классификации Trial of Organization in Acute Stroke Treatment (TOAST), данных клинического и нейровизуализационного исследований. *Критериями включения в исследование* для когорты пациентов являлись: клинически подтвержденный атеротромботический или гемодинамический подтип ИГМ; возраст пациентов от 45 до 65 лет включительно; время от начала инсульта не ранее 1 месяца и не позже 6-ти месяцев; наличие гемипареза в качестве ведущего клинического синдрома; состояние средней степени тяжести, соответствующее 7-12 баллам по шкале NIHSS; отсутствие выраженных когнитивных нарушений снижающих восприятие и критическую оценку получаемой информации.

На этапе скрининга также применялись *критерии исключения из исследования*, такие как: кардиоэмболический или лакунарный подтипы ИГМ; возраст пациентов до 45 и старше 65 лет; реабилитационный период не соответствующий раннему восстановительному; умеренное или выраженное повышение мышечного тонуса, соответствующее 3-4 баллам по модифицированной шкале спастичности Ашворт; наличие значительных

когнитивных нарушений снижающих восприятие и критическую оценку получаемой информации; наличие гемиплегического болевого синдрома плечевого сустава либо иного другого болевого синдрома; наличие эпизодов постинсультной эпилепсии; деформирующий остеоартроз одного или двух коленного и/или тазобедренного суставов II-III степени; любые субъективные жалобы негативного характера, возникающие в ходе проведения исследования; отказ от участия в исследовании. Дизайн экспериментального клинического исследования: открытое контролируемое проспективное рандомизированное.

Методики РНМЭС и ФРНМЭС проводили с применением аппаратно-программного комплекса (АПК) «Teslasuit» (производство компании «ВРТЭК», Республика Беларусь) в виде «умного» костюма и управляющей программы. Регулировка работы АПК происходила по предварительно выбранному алгоритму установки персонализированных настроек, через беспроводной канал передачи данных. Костюм «Teslasuit» состоит из распахнутой куртки и брюк. Время одевания костюма, для пациентов, находящихся в положении лежа, составляло не более 4,5 мин. На внутренней стороне костюма расположены электроды, выполненные из углеродной ткани с применением технологии термического вклеивания. Электроды связаны проводами с центральным блоком управления, который имеет модуль автономного питания. От блока на электроды подавался биполярный импульсный ток прямоугольной формы с частотой до 25кГц, напряжением до 55В, силой до 150мА и шириной импульса до 5мс. Методика использования костюма не требовала предварительного смачивания поверхности электродов. Помимо этого, в костюм встроены инерциальные датчики (расположены на основных кинематических элементах тела), которые позволяли определять пространственное положение тела и его частей по отношению друг к другу. Сенсоры связаны между собой виртуально, что позволяло формировать полную скелетную модель тела. Суммарные ускорения, полученные от сенсоров, расположенных на нижних конечностях (НК), подвергались преобразованию Фурье и раскладывались в следующие спектральные полосы: 1) 1-10Гц, 2) 11-20Гц и 3) 21-30Гц. В качестве тестового задания для сбора данных использовалась шаговая локомоция «на месте» в течении 30с. Целью теста являлось проведение оценки качественной структуры АКНК.

Методика РНМЭС заключается в том, что после предварительной настройки параметров НМЭС, оптимизированных персонально для каждого пациента, выполнялся запуск стимуляционной программы в виде чередующихся пачек импульсов по 0,5с на мышцы передней и задней группы бедра. Две последовательные пачки импульсов, поданные соответственно на переднюю и заднюю группу одного кинематического элемента, составляли одну серию. Серии распределялись на заинтересованную и интактную НК в отношении 5:1, что соответствовало подаче 1 стимуляционной серии на здоровую конечность после 5 серий на мышцы бедра заинтересованной конечности. Выполнение РНМЭС

предусматривает пассивное положение пациента. Процедуры РНМЭС, как и процедуры НМЭС, выполнялись два раза в неделю. За один стимуляционный день проводилось два сеанса длительностью по 20 минут каждый.

Отличие методики ФРНМЭС от РНМЭС заключается в том, что программа реципрокной стимуляции запускалась одновременно с МКТ. Технические возможности костюма «Teslasuit» позволяют определять пространственное положение НК по кинематическим углам, изменение которых является триггером запуска программы ФРНМЭС. Серии стимулов были направлены только на мышцы заинтересованной ноги, при этом пакки стимулов также чередовались на мышцы передней и задней группы бедра общей длительностью до 5с. Процедуры ФРНМЭС выполнялись кратностью – 5 раз в неделю. За один тренировочный день проводилось два сеанса длительностью по 20-25 минут каждый. Суммарное время ФРНМЭС за один тренировочный день составляет 3-5 минут.

В качестве МКТ применялись следующие упражнения:

1) «трехэтапное сгибание бедра» (рис.1) при котором из исходного положения пациента «лежа на спине» оператор выполнял одновременное сгибание конечности в коленном и тазобедренном суставах с последующим внутренним поворотом бедра и финализирующим его приведением (триггер запуска ФРНМЭС – сгибание коленного сустава на угол более 45°);

2) «двухэтапное разгибание бедра» (рис.2) при котором из исходного положения пациента «лежа на интактной стороне» оператор выполнял последовательное отведение и разгибание бедра

(триггер запуска ФРНМЭС – сгибание коленного сустава на угол более 30°);

3) «динамический подъем таза» (рис.3) при котором пациент находился в положении «лежа на спине» и выполнял активный подъем таза с пассивной поддержкой оператора и удержанием данного положения в течении 3-5с (триггер запуска ФРНМЭС – разгибание тазобедренного сустава на угол превышающий 5°);



Рисунок 1. Этапы упражнения: «трехэтапное сгибание бедра»



Рисунок 2. Этапы упражнения: «двухэтапное разгибание бедра».



Рисунок 3. Этапы упражнения: «динамический подъем таза».

4) «сгибание коленного и тазобедренного суставов» выполнялось в положении «лежа на спине» с максимальным активным включением пациента, при этом оператор активно ограничивал неоптимальную подвижность конечности, связанную с латеральным отклонением коленного сустава (триггер запуска ФРНМЭС – сгибание в коленном суставе на угол превышающий 5°). На рисунках, представленных ниже заштрихованными зонами, помечены места ФРНМЭС, соответствующие передней и задней мышечным группам бедра.

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе ко всем пациентам применяли критерии включения и исключения. Лица, соответствующие критериям включения, проходили процедуру рандомизации методом вытягивания карточек с номером группы (из заранее заготовленных 45 карточек). Для каждой группы предусматривалось равное количество карточек. Набор в исследуемые группы прекращался после того как одна из них достигает 15 человек. Вместе с этим, на первом этапе, проводили тестирование пациентов по шкале Национальных институтов здоровья США – NIHSS, с определением тяжести ИГМ и модифицированной шкале спастичности Ашворт. Также всем пациентам проводилась оценка: 1) уровня жизнедеятельности по МШР; 2) уровня повседневной активности с расчетом ИБ; 3) уровня мобильности по модифицированному ИМП; 4) динамики проводимой МР по SSS; 5) двигательной функции НК по 10ТХ. Для оценки нарушений АКНК выполнялся спектральный анализ ускорений НК в спектре 1-10 Гц, 11-20 Гц и 21-30 Гц. На втором этапе выполнялась практическое применение методик ФРНМЭС и РНМЭС для соответствующих групп. Длительность курса МР составляла не менее 20 дней. Суммарное количество сеансов РНМЭС для пациентов группы №2 на курс МР составляло не менее 12, с общим минимальным временем стимуляции – 240 минут. Суммарное количество сеансов ФРНМЭС для

пациентов группы №3 на курс МР составляло не менее 25, с общим минимальным временем стимуляции – 60 минут. Во время второго этапа выполнялось исследование здоровых добровольцев с оценкой АКНК. Критериями включения в данную группу являлись: возраст от 18 до 45 лет включительно, отсутствие объективных признаков ограничения подвижности в крупных суставах верхних и НК, отсутствие жалоб, указывающих на наличие болевого синдрома, синдрома мышечной слабости, а также жалоб связанных с нарушением вестибулярных и проприоцептивной функций. На третьем этапе исследования проводилась оценка полученных результатов с применением шкал: МШР, ИБ, ИМП, SSS, 10ТХ и теста АКНК.

Статистическая обработка данных выполнялась в пакете Statistics 12.6. После оценки нормальности распределения, для полученных данных применялись соответствующие параметрические либо непараметрические методы анализа. Критерием достоверности принималось значение $p \leq 0,05$. Параметрические данные были представлены в виде средней арифметической со стандартным отклонением, непараметрические в виде медианы (Me), верхней (UQ) и нижней квантили (LQ) – Me[UQ/LQ].

Результаты

Данные диагностики с использованием шкал, представленные в таблице №1.

Таблица 1.

Результаты диагностики с использованием шкал (в баллах).

Шкалы	Группы пациентов			p		
	1 (n=10)	2 (n=12)	3 (n=15)	1 и 2	1 и 3	2 и 3
МШР (до лечения)	3,7±0,46	3,5±0,5	3,6±0,49	0,384	0,525	0,453
МШР (после лечения)	3,3±0,46	3,0±0,71	3,0±0,71	0,255	0,384	0,954
ИБ (до лечения)	65,2±5,2	70,1±7,3	68,2±6,2	0,384	0,525	0,453
ИБ (после лечения)	73,6±6,6	82,4±7,3	80,1±5,5	0,034	0,044	0,369
ИМП (до лечения)	12,8±3,5	13,2±2,6	13,5±2,4	0,384	0,225	0,553
ИМП (после лечения)	26,8±5,2	32,4±4,0	36,3±3,5	0,039	0,022	0,049
SSS (до лечения)	29,6±2,7	29,6±2,8	29,6±2,9	0,988	0,988	0,988
SSS (после лечения)	33,2±3,1	37,1±3,1	39,9±0,5	0,049	0,036	0,049
10ТХ (до лечения)	1,2±0,4	1,25±0,45	1,3±0,45	0,756	0,255	0,545
10ТХ (после лечения)	3,7±0,78	4,75±1,0	6,4±1,11	0,037	0,006	0,049

Из таблицы 1 следует, что оценка зависимых выборок по каждой шкале для каждой исследовательской группы выявила статистически значимые отличия, указывающие на эффективность каждого из методов МР: СПКТ, программы «А» и «В». Вместе с тем статистическая обработка данных позволила установить отсутствие достоверных различий при сравнении независимых пар исследовательских групп №1 и №2, №1 и №3, №2 и №3 до проведения МР, что указывает на однородность выборок.

При анализе данных, полученных в результате балльной оценки в аналогичных связанных парах, после проведенного курса МР по соответствующим программам установлено отсутствие статистических различий в МШР между всеми парами, а также в ИБ между парой групп №2 и №3. Между всеми остальными

парами, анализируемыми по ИБ, ИМП, SSS и 10ТХ выявлены статистически значимые отличия. При этом, в отношении ИБ, результаты в группах №2 и №3 статистически больше чем в группе №1. В отношении ИМП, SSS и 10ТХ помимо вышеуказанной тенденции отмечается статистически большие значения в группе №3 в сравнении с группой №2.

Результаты тестирования по шкале SSS указывают на:

1) значительное улучшение неврологической симптоматики в группе №3 (увеличение среднего балла более чем на 10 пунктов)

2) умеренное улучшение неврологической симптоматики в группах №2 и №3 (увеличение среднего балла на 9-3 пункта).

При оценке АКНК полученные данные представлены в таблице №2.

Таблица 2.

Результаты диагностики с использованием теста АКНК (в мм/с²).

Спектральные полосы	Группы				p		
	«К»	1 (n=10)	2 (n=12)	3 (n=15)	1 и 2	1 и 3	2 и 3
1-10Гц (до лечения)	16,1 [19,3/12,5]	7,3 [8,5/5,9]	7,9 [9,1/5,5]	7,0 [8,9/4,9]	0,756	0,123	0,255
1-10Гц (после лечения)	-	8,8 [10,5/8,0]	9,0 [11,1/7,9]	13,6 [14,4/9,9]	0,065	0,004	0,021
11-20Гц (до лечения)	8,5 [9,1/6,4]	5,5 [6,5/4,7]*	6,0 [6,6/4,1]*	6,1 [6,6/4,0]	0,481	0,525	0,756
11-20Гц (после лечения)	-	6,2 [6,9/4,8]*	6,2 [6,7/4,4]*	7,9 [8,4/5,3]	0,034	0,840	0,049
21-30Гц (до лечения)	4,9 [6,1/3,8]	3,2 [3,8/2,2]*	3,3 [3,7/2,5]	3,1 [3,8/2,1]	0,840	0,756	0,222
21-30Гц (после лечения)	-	3,5 [4,1/2,3]*	3,8 [4,8/2,4]	4,2 [5,9/3,9]**	0,077	0,001	0,008
* - отсутствие статистических различий между зависимыми выборками в одного группе							
** - отсутствие статистических различий между выборкой и группой «К»							

При статистической обработке полученных результатов теста АКНК в независимых выборках групп №1, №2, и №3 во всех спектральных полосах ускорений НК до проведения соответствующих программ МР достоверных различий не выявлено, что указывает на однородность групп. Вместе с тем статистически отрицательные результаты до и после проведения МР были получены при сравнении в зависимых группах: 1) группа №1 в спектре 11-20 Гц и 21-30Гц; 2) группа №2 в спектре 11-20 Гц. В других спектральных полосах исследовательских групп выявлены значимые

статистические различия АКНК, полученных до и после МР, а именно: 1) спектральная полоса 1-10 Гц – группа №1, 2) спектральная полоса 11-20 Гц – группа №3, 3) спектральная полоса 21-30 Гц – группы №2 и №3. Вместе с тем установлено, что АКНК в спектральной полосе 21-30 Гц группы №3 статистически не различимы с аналогичными данными группы «К».

Данные относительных значений баллов и показателей АКНК, а также разница процентов изменения результатов до и после МР, представленные в таблице №3.

Таблица 3. Результаты сравнения относительных показателей, отражающих динамику изменения результатов тестов (в %).

Тесты	Проценты изменения результатов в группах до и после лечения			Разница процентов изменения результатов между группами		
	1 (n=10)	2 (n=12)	3 (n=15)	1 и 2	1 и 3	2 и 3
МШР	10,8	14,3	16,7	3,5	5,9	2,4
ИБ	12,9	17,5	17,4	4,7	4,6	-0,1
ИМР	109,4	145,5	168,9	36,1	59,5	23,4
SSS	12,2	25,3	34,8	13,2	22,6	9,5
10TX	208,3	280,0	392,3	71,7	184,0	112,3
АКНК (1-10Гц)	20,5	13,9	94,3	-6,6	73,7	80,4
АКНК (11-20Гц)	12,7	3,3	29,5	-9,4	16,8	26,2
АКНК (21-30Гц)	9,4	15,2	35,5	5,8	26,1	20,3
Среднее значение	49,53	64,38	98,67	14,85	49,15	34,29

Из таблицы 3 следует, что статистически большие значения различий относительных показателей тестов были получены между группой №1 и №3, а также №2 и №3, что указывает на лучшие результаты МР с применением методики ФРНМЭС.

Таким образом, анализ полученных результатов установил, что применение ФРНМЭС способствует повышению эффективности СПКТ пациентов в раннем восстановительном периоде после ИГМ на 49,15%.

Обсуждение полученных результатов

В настоящее время в нейрореабилитации зарождается новый подход, направленный на формирование оптимальных двигательных приспособительных реакций, позволяющих эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. Данное направление получило название -

адаптивная кинезитерапия (АК) и связано с элементами программирования двигательных навыков (ДН) [4]. Процесс превращения двигательного умения (ДУ) в ДН, согласно концепции Н.А. Бернштейна, затрагивает тренируемые пирамидно-стриарный и теменно-премоторный уровни, где происходит реализация ДУ, а также не тренируемые палеокинетический и талламо-паллидарный уровни, отвечающие за воплощение кинематики запущенных двигательных образов, составляющих ДН. Вместе с тем АК способствует переходу ДУ в ДН на качественном уровне, эффективно компенсируя биомеханическую несостоятельность за счет набора оптимальных координат [3].

Неотъемлемым элементом АК является создание специфических условий проведения МР, при которых реализуется принцип «средовой аугментации»,

связанный с усилением сенсорной афферентации интегрированной с пространственной кинематикой. Также обязательным условием эффективного ДУ считается оптимизация объема кинематики основных звеньев локомоторной системы за счет программ мобилизации суставов и нейромышечной активации в виде НМЭС. Применение нейрореабилитационных техник с компонентом пассивной активации нейромышечных скелетных и связанных с движением функций является патогноманичным в виду синдрома постинсультной усталости.

В рамках исследования сформулирована инновационная концепция, заключающаяся в комбинации НМЭС и МКТ в новую методику ФРМЭС (программа «В»), при которой электрический импульс подается реципрочно в режиме чередования активации мышц – агонистов и мышц – антагонистов и согласуется с функциональной активностью определенных частей тела. Разработанная методика может считаться частью метода АК по причине создания специфической средовой аугментации, выполняемой за счет ФРМЭС и комплексной суставной мобилизации с МКТ, объединенных использованием технической инновации умного костюма «Teslasuit».

В настоящее время технология «Teslasuit» активно применяется в ряде европейских реабилитационных клиник, одной из которых является госпиталь «READE» (Амстердам, Голландия). Главное преимущество костюма заключается в возможности его дистанционного использования, при котором все требуемые настройки выполняются специалистом удаленно, что крайне актуально в период вирусных эпидемий и пандемий, при которой большая часть пациентов неврологического профиля вынуждена находиться дома.

В ходе проведенного исследования установлено, что ФРМЭС, равно как методика РНМЭС способствуют улучшению уровня повседневной активности, уровня мобильности, динамики проводимой МР и двигательной функции НК. Использование методики ФРМЭС является статистически более значимым подходом в достижении лучшего клинического результата в сравнении с методикой РНМЭС, на что указывают: 1) уровень повседневной активности; 2) уровень мобильности; 3) динамика проводимой МР; 4) двигательная функция НК; 5) АНК (спектральные полосы ускорений 11-20 Гц и 21-30 Гц). При этом наибольшая процентная разница, полученных результатов между группами, отмечается со стороны уровня мобильности – 23,4%, двигательной функции НК – 112,3%, и АНК во всех спектральных полосах (1-10 Гц и 11-20 Гц и 21-30 Гц) с соответствующими значениями – 80,4%, 26,2% и 20,3%. Разница процентов изменения результатов всех диагностических тестов выявила повышение показателя на 49,15% при дополнении СПКТ методикой ФРМЭС и 14,85% при дополнении СПКТ методикой РНМЭС, что указывает на большую эффективность первой (на 34,29%). Также установлено что применение ФРМЭС способствует восстановлению АНК в спектральной полосе 21-30 Гц на что указывает отсутствие статистической разницы в группе №3 со здоровыми лицами. Вместе с тем

применение методики РНМЭС не имеет значимого эффекта в отношении АНК при анализе ускорений в спектре 11-20 Гц. Аналогичная тенденция в данном спектре а также спектре 21-30 Гц отмечается при проведении МР с применением СПКТ.

В предыдущих исследованиях [2, 3, 7] авторами продемонстрирована зависимость спектральных полос ускорений от характера целенаправленных (соответствующих центральной моторной программе) (ЦНД) и нецеленаправленных (двигательного пула возникающего при компенсации средовых возмущений) движений (НЦНД). Так, спектральные полосы до 20 Гц могут считаться маркерами ЦНД, а 21-30 Гц – НЦНД. При этом, согласно приведенной градации, усматривается положительная роль методики ФРМЭС на все ЦНД и НЦНД, как компоненты сложной адаптивной кинематики. Методика РНМЭС оказывает влияние только на пул компенсаторных двигательных реакций - НЦНД. Данное различие может быть объяснено спецификой выполнения ФРМЭС при которой в мозге формируется образ «оптимальной кинематики» за счет активации сложного проприоцептивного аппарата, включающего мышечные афференты, сегментарного аппарата с системой «альфа-гамма» сопряжения и супрасегментарного аппарата системы сенсорного синтеза. Вместе с тем применение методики ФРМЭС предусматривает ежедневное проведение сеансов длительностью до 25 минут каждый с минимальным суммарным временем активации на курс лечения – 60 минут, что в четыре раза меньше времени нейромышечной активации при РНМЭС (НМЭС).

Применение различных физических факторов в комплексной программе МР является клинически обоснованным [10, 12, 16, 6, 4, 2, 1,], что также подтверждается нашим исследованием а результате которого продемонстрирована эффективность ФРМЭС на раннем этапе МР пациентов перенесших ИГМ (в отношении мобильности, повседневной активности, контроля произвольных двигательных функций НК в том числе функции стереотипа походки и АНК).

Стоит отметить, что определенный объем ЦНД и НЦНД формируют качественную программу адаптивной кинематики, при которой происходит формирование оптимальных двигательных приспособительных реакций, позволяющих эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. Применение методики ФРМЭС показало свою направленность на улучшение объема ЦНД и НЦНД и, следовательно, может рассматриваться как неотъемлемый компонент АК. Полученные в ходе исследования результаты убедительно указывают на повышение эффективности СПКТ методикой ФРМЭС на 49,15%.

Вероятнее всего положительный клинический эффект ФРМЭС обусловлен регулярным применением чередующейся дробной реципрочной активацией мышц-антагонистов, способствующей методическому программированию кинематических образов эффективных с позиции двигательной адаптации. Также в ходе исследования была практически доказана начальная гипотеза согласно которой снижение суммарного времени НМЭС на курс

МР при условии увеличения кратности процедур не снижает (а даже повышает) эффективность МР.

Выводы

В ходе исследования разработана инновационная методика функциональной реципрокной нейромышечной стимуляции, основанная на чередующейся активации мышц-антагонистов одновременно с выполняемым пассивно (либо пассивно с активной поддержкой) кинезитерапевтическим упражнением. Особенностью методики является то, что она проводится курсом по 5 тренировочных дней в неделю (2 сеанса в день), при этом среднее время общей стимуляции меньше в четыре раза по сравнению со стандартными методиками нейромышечной электростимуляции. Применение инновационной разработки способствует повышению эффективности стандартной программы комплексной терапии пациентов в раннем восстановительном периоде после ИГМ на 49,15%.

Вклад авторов:

Все авторы внесли равноценный вклад в написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы статьи не имеют конфликта интересов. Руководство клиники ознакомлено с результатами исследования и не возражает о дальнейшем предоставлении данных в открытой печати.

Финансирование: Работа выполнена без финансовой поддержки.

Авторы заверяют, что результаты данного исследования не были опубликованы ранее в других изданиях и не находятся на рассмотрении в других издательствах.

Литература:

1. Акимжанова А.К., Гржибовский А.М., Хайбуллин Т.Н., Изатуллаева Н.С., Гордиенко М.И., Акимжанов К.Д. Эффективность транскраниальной магнитной стимуляции в реабилитации пациентов с мозговым инсультом // Наука и Здоровоохранение. 2016. №4. С. 50-65.
2. Лукашевич В.А. Адаптивная кинезитерапия в реабилитации постинсультных пациентов с координаторными нарушениями // Инновационные технологии в медицине. 2017. Т. 5. №1-2. С.63-74.
3. Лукашевич В.А., Пономарев В.В., Манкевич С.М., Тарасевич М.И. Адаптивная кинезитерапия в комплексной реабилитации постинсультных пациентов // Инновационные технологии в медицине. 2018. Т. 6. № 4. С.295-305.
4. Fritzsche D., Freund A., Schenk S. Electromyostimulation (EMS) in cardiac patients. Will EMS training be helpful in secondary prevention? // Herz. 2010. Vol. 35. P. 34-40.
5. Kelley C.P., Childress J., Boake C., Noser E.A. Over-ground and robotic-assisted locomotor training in adults with chronic stroke: a blinded randomized clinical trial // Disabil Rehabil Assist. Technol. 2013. Vol. 8. №2. P. 161-168.
6. Kemmler W., Froehlich M., von Stengel S. Whole-Body Electromyostimulation – the need for common sense! rationale and guideline for a safe and effective training // Dtsch Z Sportmed. 2016. Vol. P. 218-21.

7. Lukashevich U. Adaptive kinezitherapy in early rehabilitation of patients with mild coordination defects // World Science. 2017. Vol. 6. № 4. P. 4-7.

8. Lerdal A., Bakken L.N., Kouwenhoven S.E. Poststroke fatigue – a review // J Pain Symptom Manage. 2009. Vol. 38. P. 928-949.

9. Lloyd-Jones D., Adams R. J., Brown T. M. Heart disease and stroke statistics – 2010 update: a report from the American heart association // Circulation. 2010. Vol. 121. №. 7. P 46 – 215.

10. Mehta S., McIntyre A., Lobo L., Teasell R.W. Functional electrical stimulation for improving gait in persons with chronic stroke // Top Stroke Rehabil. 2012. Vol. 19. P 491-498.

11. Muennig P.A., Glied S.A. What changes in survival rates tell us about US health care // Health Affair. 2010. Vol. 29. P. 2105-2113.

12. Ng S.S., Hui-Chan C.W. Does the use of TENS increase the effectiveness of exercise for improving walking after stroke? A randomized controlled clinical trial // Clin Rehabil. 2009. Vol. 23. P. 1093-1103.

13. Pendlebury S.T., Rothwell P.M. Prevalence, incidence, and factors associated with pre-stroke and post-stroke dementia: a systematic review and meta-analysis // Lancet Neurol. 2009. Vol. 11. №8. P. 1006-1018.

14. Roger V.L. Heart disease and stroke statistics – 2011 update: a report from the American heart association // Circulation. 2011. Vol. 123. № 4. P. 18-190.

15. Tashiro S., Mizuno K., Kawakami M., Takahashi O., Nakamura T., Suda M., Haruyama K., Otaka Y., Tsuji T., Liu M. Neuromuscular electrical stimulation-enhanced rehabilitation is associated with not only motor but also somatosensory cortical plasticity in chronic stroke patients: an interventional study // Therapeutic Advances in Chronic Disease. 2019. Vol. 10. P. 1-13.

16. Tyson S.F., Sadeghi-Demneh E., Nester C.J. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on strength, proprioception, balance and mobility in people with stroke: a randomized controlled cross-over trial // Clin Rehabil. 2013. Vol. 27. P. 785-791.

References:

1. Akimzhanova A.K., Grjibovski A.M., Khaibullin T.N., Izatullayeva N.S., Gordienko M.I., Akimzhanov K.D. Effektivnost' transkraniyal'noi magnitnoi stimulyatsii v reabilitatsii patsientov s mozgovym insul'tom [Effectiveness of transcranial magnetic stimulation in rehabilitation of stroke patients]. *Nauka i Zdravookhranenie* [Science & Healthcare]. 2016, 4, pp. 50-65. [in Russian]
2. Lukashevich V.A. Adaptivnaya kineziterapiya v reabilitatsii postinsul'tnykh patsientov s koordinatnymi narusheniyami [Adaptive kinesitherapy in the rehabilitation of post-stroke patients with coordinated impairment]. *Innovatsionnye tekhnologii v meditsine* [Innovative technologies in medicine]. 2017. T. 5. № 1-2. pp.63-74. [in Russian]
3. Lukashevich V.A., Ponomarev V.V., Mankevich S.M., Tarasevich M.I. Adaptivnaya kineziterapiya v kompleksnoy reabilitatsii postinsul'tnykh patsientov [Adaptive kinesitherapy in the comprehensive rehabilitation of post-stroke patients]. *Innovatsionnye tekhnologii v*

meditsine [Innovative technologies in medicine]. 2018. T 6. № 4. pp. 295-305. [in Russian]

4. Fritzsche D., Freund A., Schenk S. Electromyostimulation (EMS) in cardiac patients. Will EMS training be helpful in secondary prevention? // *Herz*. 2010. Vol. 35. P. 34–40.

5. Kelley C.P., Childress J., Boake C., Noser E.A. Over-ground and robotic-assisted locomotor training in adults with chronic stroke: a blinded randomized clinical trial // *Disabil Rehabil Assist. Technol*. 2013. Vol. 8. №2. P. 161–168.

6. Kemmler W., Froehlich M., von Stengel S. Whole-Body Electromyostimulation – the need for common sense! rationale and guideline for a safe and effective training // *Dtsch Z Sportmed*. 2016. Vol. P. 218–21.

7. Lukashevich, U. Adaptive kinezitherapy in early rehabilitation of patients with mild coordination defects // *World Science*. 2017. Vol. 6. № 4. P. 4–7.

8. Lerdal A., Bakken L.N., Kouwenhoven S.E. Poststroke fatigue – a review // *J Pain Symptom Manage*. 2009. Vol. 38. P. 928–949.

9. Lloyd-Jones D., Adams R. J., Brown T. M. Heart disease and stroke statistics – 2010 update: a report from the American heart association // *Circulation*. 2010. Vol. 121. № 7. P 46 – 215.

10. Mehta S., McIntyre A., Lobo L., Teasell R.W. Functional electrical stimulation for improving gait in

persons with chronic stroke // *Top Stroke Rehabil*. 2012. Vol. 19. P 491–498.

11. Muennig P.A., Glied S.A. What changes in survival rates tell us about US health care // *Health Affair*. 2010. Vol. 29. P. 2105–2113.

12. Ng S.S., Hui-Chan C.W. Does the use of TENS increase the effectiveness of exercise for improving walking after stroke? A randomized controlled clinical trial // *Clin Rehabil*. 2009. Vol. 23. P. 1093–1103.

13. Pendlebury S.T., Rothwell P.M. Prevalence, incidence, and factors associated with pre-stroke and post-stroke dementia: a systematic review and meta-analysis // *Lancet Neurol*. 2009. Vol. 11. №8. P. 1006–1018.

14. Roger V.L. Heart disease and stroke statistics – 2011 update: a report from the American heart association // *Circulation*. 2011. Vol. 123. № 4. P. 18–190.

15. Tashiro S., Mizuno K., Kawakami M., Takahashi O., Nakamura T., Suda M., Haruyama K., Otaka Y., Tsuji T., Liu M. Neuromuscular electrical stimulation-enhanced rehabilitation is associated with not only motor but also somatosensory cortical plasticity in chronic stroke patients: an interventional study // *Therapeutic Advances in Chronic Disease*. 2019. Vol. 10. P. 1–13.

16. Tyson S.F., Sadeghi-Demneh E., Nester C.J. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on strength, proprioception, balance and mobility in people with stroke: a randomized controlled cross-over trial // *Clin Rehabil*. 2013. Vol. 27. P. 785–791.

Контактная информация:

Лукашевич Владислав Анатольевич – кандидат медицинских наук, докторант кафедры рефлексотерапии Белорусской медицинской академии последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь.

Почтовый индекс: Республика Беларусь, 220136, г. Минск, ул. Лобанка д.22 кв.41.

E-mail: u.lukashevich@gmail.com

Телефон: +375-445-66-11-22