УДК 615.84

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ КИСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОТОРНОГО КОМПОНЕНТА РЕЧИ

М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины

Рассмотрена нейропластичность как основа восстановления функций движения и речи. Показана роль нейропластичности в теоретическом обосновании синтеза информационной технологии целенаправленного управления мелкими движениями кисти для восстановления моторного компонента речи. В качестве составных частей технологии рассмотрены тренировочные программы как информационные сигналы управления движениями кисти, методы их передачи, виды мелких движений кисти и топология подведения сигналов к мышцам для управления этими движениями. Представлена структурно-функциональная модель восстановления речи на базе информационной технологии целенаправленного управления мелкими движениями кисти. Приведен анализ результатов апробации технологии в клинических условиях.

Розглянуто нейропластичність як основу відновлення функцій руху й мовлення. Показано роль нейропластичності в теоретичному обґрунтуванні синтезу інформаційної технології цілеспрямованого керування дрібними рухами китиці для відновлення моторного компоненту мовлення. У якості складових частин технології розглянуто тренувальні програми як інформаційні сигнали керування рухами китиці, методи їх передачі, види дрібних рухів китиці і топологія підведення сигналів до м'язів для керування цими рухами. Надано структурно-функціональну модель відновлення мовлення на базі інформаційної технології цілеспрямованого керування дрібними рухами китиці. Наведено аналіз результатів апробації технології в клінічних умовах.

ВВЕДЕНИЕ

В естественных условиях любое движение представляет собой часть сложного поведенческого акта, включающего весь существующий набор движений. Экспрессивная устная речь также реализуется посредством движений. Реализация устной речи происходит благодаря координированной работе периферического речевого аппарата, а программирование, запуск и управление речевым актом осуществляется в результате сложного взаимодействия различных мозговых структур.

При нарушении работы центральной нервной системы, например, вследствие острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) наблюдаются не только нарушения в управлении глобальными движениями (гемипарезы, гемиплегия), но и, в 50–60 % случаев, речевые нарушения. К наиболее распространенным речевым нарушениям у больных ОНМК относится моторная афазия. Она характеризуется нарушениями речевого праксиса — расстройством грамматической и лексической структуры речи

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

вследствие поражения моторной речевой зоны коры головного мозга — области Брока — центрального звена моторного компонента речи.

Постановка задачи

В предыдущих исследованиях разработана структурно-функциональная модель формирования/восстановления моторного компонента речи на базе подключения к пациенту внешнего контура целенаправленного управления принудительными мышечными движениями кисти. Центральным звеном внешнего контура является программный электростимулятор мышц, который формирует принудительные мышечные движения кисти по определенной программе, вследствие чего «запускается» обратная афферентация от мышечных движений кисти в моторную зону коры и активируется корковое управление речевым аппаратом. В результате устраняется разрыв речевого круга на уровне центра Брока, что приводит к восстановлению моторного компонента речи. Обоснованием подхода является онтогенетическая взаимосвязь развития мелкой моторики кисти и речи, большая величина корковой проекции кисти (около трети всей двигательной проекции) и ее близость к моторной речевой зоне [1]. Дальнейшие исследования направлены на синтез технологии восстановления речи. Настоящие исследования направлены на решение практических задач синтеза технологии восстановления речи.

Цель исследований — разработать информационную технологию целенаправленного управления движениями кисти для восстановления моторного компонента речи и провести апробацию технологии в клинических условиях.

Выполнение поставленной цели включало решение следующих задач:

— провести медико-биологический анализ механизмов нейропластичности при восстановлении двигательных и речевых функций;

— разработать методы передачи информационных управляющих (стимулирующих) сигналов и топологии их приложения в контурах управления принудительными движениями кисти, включая управление мелкой моторикой;

— провести исследования по использованию разработанной технологии в реальных клинических условиях и дать анализ их результатов.

Нейропластичность в активации резервов восстановления функций движения и речи

Нейропластичность — это способность нервной системы восстанавливать свою функцию посредством качественных и количественных нейрональных перестроек, изменений нейрональных связей и глиальных элементов. Нейропластичность является основой не только восстановления нарушенных функций движения, но и памяти, речи, обучения, получения новых навыков [2]. Исследования по изучению организации нейропластических процессов с применением функциональной магнито-резонансной томографии — неинвазивного визуализационного

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

метода картирования мозга человека — предоставили доказательства способности реорганизации коры мозга у лиц пожилого возраста с выраженными сосудистыми изменениями [3].

В нейропластических процессах активно участвуют нейроны и глия, сосудистая система, изменяется функциональная активность синапсов и их количество, происходит формирование новых синапсов, меняется конфигурация и размер активных зон. Так как для нормального функционирования организма все процессы должны быть сбалансированными, то формируется так называемая гомеостатическая нейропластичность.

Различные отделы ЦНС обладают разным нейропластическим потенциалом. Так, кора головного мозга считается наиболее пластичной частью ЦНС, что обусловливается разнообразием составляющих ее клеточных элементов и связей. Имеет значение также и организация церебральных функций в коре, с одной стороны, строго локализованная в определенных зонах, а с другой — расширенная, богатая параллельными и реципрокными связями, зонами перекрытия. Последнее характерно для таких функций как сложные двигательные акты, гнозис, речь. И даже более просто организованные, на первый взгляд, структуры, такие как пирамидный путь, при детальном рассмотрении имеют сложную структурную организацию. В современных исследованиях показано, что помимо аксонов нейронов прецентральной извилины в пирамидный тракт входят аксоны нейронов премоторной, первичной сенсорной, теменной ассоциативной и дополнительной моторной коры. При этом от 10 до 30 % волокон пирамидного пути проходят ипсилатерально [4].

При острых нарушениях мозгового кровообращения или черепно-мозговой травме на уровне двигательной коры нейропластические изменения происходят в виде ее реорганизации. Во время тренировки происходит ремоделирование невральных кортикальных соединений. Восстановление утраченных функций при поражении первичных моторных и пирамидных трактов состоит в принятии на себя части функций премоторной корой. А именно видоизменение структурно-функциональной организации ее нейронов. Этот процесс позволяет объяснить такой феномен, как долговременная потенциация.

Долговременная потенциация — это длительное увеличение синаптической активности после кратковременной интенсивной стимуляции. В определенных случаях такая стимуляция вызывает резкое усиление синаптической активности с последующим, быстро понижающимся до исходного, уровнем активности. Этот механизм присутствует в гиппокампе и играет важную роль в обучении и запоминании, формировании навыков, восстановлении речи. Долговременная потенциация требует синтеза новых протеинов и роста новых синаптических соединений. Для воплощения этого процесса нужны три условия [2]: общая активация нескольких нервных волокон; общая активация пре- и постсинаптического нейрона; специфичность механизма долговременной потенциации, которая приводит только к активаторному пути, в свою очередь, участвующему в преобразовании «немых» синапсов в активные. В результате «немые»

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

синапсы могут быть преобразованы в активные синапсы с помощью механизмов долговременной потенциации. Также под действием этих механизмов, происходят структурные изменения формы синаптической мембраны «немого» синапса. Так, при длительной стимуляции постсинаптическая клеточная мембрана генерирует новый дендритный шип. Все это является одним из основных механизмов нейропластичности в формировании клеточного ответа на повреждение ЦНС. [2].

В настоящее время различают кратковременную функциональную (обратную) пластичность, связанную с изменениями в эффективности и силе синаптических соединений, и структурную пластичность, обусловленную изменениями в организации и количестве синаптических соединений, находящихся в основе обучения памяти и речи. Так как синапс, по современным воззрениям является динамической структурой, то нейропластический потенциал его должен быть в основе функциональных изменений на макроскопическом уровне. Установлено, что повторная стимуляция пресинаптической мембраны способствует усилению или уменьшению влияния на постсинаптический нейрон. Кроме классической (перекрестной) сомато-сенсорной системы кинестетические возбуждения проводятся дополнительными ипсилатеральными афферентными каналами связи, которые имеют билатеральные проекции на симметричные структуры переднего мозга. Также в головном мозге проходит постоянное взаимодействие вертикальных (корково-подкорковых) и горизонтальных путей (между корковых) проведения возбуждения [5].

Таким образом, анализ механизмов нейропластичности коры головного мозга и путей его активации при восстановлении функций движения и речи с учетом таких фактов, как:

— представительство кисти и центры речи имеют близкую локализацию в коре головного мозга и тесную филогенетическую связь;

— величина проекции кисти в коре головного мозга занимает около трети всей двигательной проекции;

— развитие речи, с ее многообразием звуков, слов, предложений и логическим отражением человеком восприятия мира, собственной оценки окружающей среды, тесно связано с развитием движений пальцев рук — подтвердил и углубил теоретическое обоснование подхода к восстановлению моторного компонента речи на базе целенаправленного управления мелкими движениями кисти.

Информационная технология целенаправленного управления движениями кисти для восстановления речи

В организме управление движениями основано на формировании в двигательном анализаторе двигательных программ и их передаче по эфферентным путям к исполнительным органам — мышцам, отвечающим на поступление к ним нервных импульсов реакцией возбуждения, проявляющейся в виде механических и электрических феноменов. Контроль выполнения и корректировка двигательных программ осуществляется посредством обратной афферентации. При остром нарушении мозгового

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

кровообращения происходит нарушение работы двигательного анализатора и, как следствие, всей системы управления движениями в целом. Управление принудительными сокращениями мышц под действием программной электростимуляции, запускает механизмы активации связи «проприоцептивная сенсорная система — двигательный анализатор» и, таким образом, способствует формированию новой системы супраспинального контроля движений вместо утраченной или искаженной патологией [6, 7].

Рассмотрим составные части информационной технологии управления движениями кисти для восстановления речи (рис. 1).

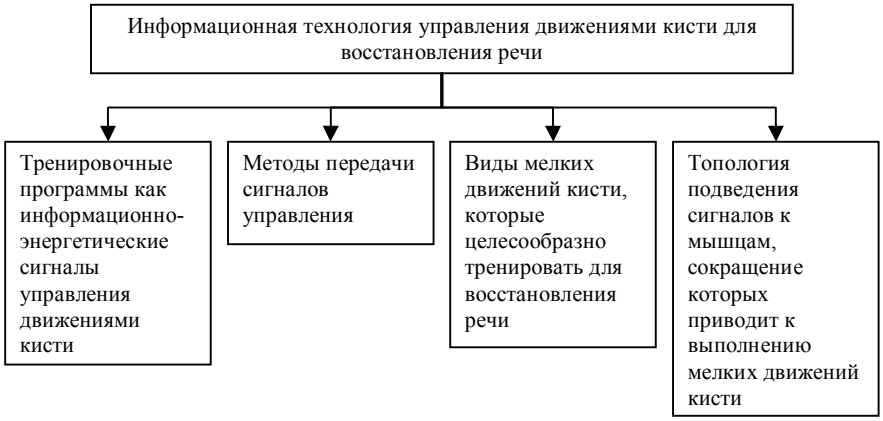

Рис. 1. Составные части информационной технологии управления движениями кисти для восстановления речи

Тренировочные программы (модели движения) как информационные сигналы в контурах управления движениями кисти и методы их передачи. Для активации резервов восстановления коркового управления речевым аппаратом на базе целенаправленного управления принудительными мышечными движениями кисти можно использовать богатый арсенал тренировочных программ (моделей движения), которыми располагает биоинформационная технология управления движениями ТРЕНАР и аппараты ТРЕНАР-01 и ТРЕНАР-02, ее реализующие. Гамма функций тренировочных программ, как информационных сигналов управления, в аппаратах ТРЕНАР представлена: 1) электростимуляцией мышц по искусственно синтезированным программам — программы «Синтез»; 2) по программам, которые «считываются» с собственных здоровых мышц пациента или мышц другого человека (инструктора) при их произвольном сокращении и передаются тренируемым мышцам в онлайновом режиме — программы «Донор»; 3) тренировкой произвольных сокращений мышц по методу биологической обратной связи с использованием электромиографического (ЭМГ) сигнала тренируемой мышцы, преобразованного в зрительные и слуховые информационные сигналы (программа «Биотренировка»; 4) тренировкой соотношения принудительно-произвольных сокращений по методу пороговой элекростимуляции (программы «Порог», «Память-Ауто») [7, 8]. Все эти программы, выполняющие функцию информационных сигналов в управлении

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

принудительными (под действием электростимуляции) сокращениями-расслаблениями мышц, вовлекаемых в выполнение движений кисти, произвольно-принудительными либо произвольными сокращениями могут быть полезными и при восстановлении речи. В тех случаях, когда нужно формировать сложные движения мелкой моторики кисти или проводить сочетанную тренировку мелкой моторики с глобальными движениями кисти, целесообразно использовать более сложные, с гибкой архитектурой синтеза, многоканальные (четыре, шесть каналов) синтезаторы программ.

Проводя биоэлектростимуляцию мелкой моторики кисти у постели больного методом программной электростимуляции, где источником управляющего сигнала для стимуляции является сигнал от синтезатора управляющих воздействий, мы воздействуем на ремоделирование невральных кортикальных соединений, заставляем анастомозировать между собою нервные волокна и образовывать реципрокные связи, перенимать часть функций на себя премоторной корой. В тех случаях, когда у пациентов не нарушена когнитивная сфера, более эффективной не только для восстановления собственно двигательных функций кисти (см., например [9]), но и речи может оказаться тренировочная программа «Донор». Основываясь на анализе механизмов нейропластичности, можно предположить, что использование программ «Донор», которые «считываются» с собственных здоровых мышц пациента при их произвольных сокращениях, позволит включить дополнительные механизмы нейропластичности для образования долговременной потенциации за счет активации сенсомоторной, премоторной и моторной коры ипсилатерального полушария головного мозга и горизонтальных (между корковых) путей проведения возбуждения.

Для неинвазивной передачи информационно-энергетических сигналов при тренировке принудительных движений кисти применены поверхностные электроды. Они удобны для эксплуатации и не травмируют пациента. Площадь поверхностных электродов выбирается таким образом, чтобы силовые линии тока оптимально охватывали участок топографического расположения мышц (базируется на схеме двигательных точек Эрба) [6]. Слишком маленькая площадь может вызвать неприятные ощущения у пациента, слишком большая — нежелательные сокращения соседних со стимулируемой мышц. Учитывая различия анатомического строения кисти вследствие разного веса, роста, пола и т.д., для проведения исследования были изготовлены и применены различные типоразмеры электродов: 20 х 40 мм, 10 х 20 мм, 10 х 10 мм.

Выбор тренируемых мелких движений кисти и топологии подведения информационно-энергетических сигналов в контурах управлениями этими движениями. Выбор тренируемых движений основан на развитии мелкой моторики кисти в онтогенезе и ограничен избирательным доступом к мышцам, реализующим то или иное движение, при использовании поверхностных электродов. Согласно Х. Хальверсон, развитие захвата, удерживания и манипулирования предметами проходит определенное количество последовательных этапов: от противопоставления большого пальца относительно ладони, захвата кулачком, до точного захвата мелких предметов большим и указательным пальцем [10] (рис. 2).

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

На основании последовательности развития функций кисти в онтогенезе, с учетом доступности передачи информационных управляющих сигналов мышцам при помощи поверхностных электродов, для формирования и тренировки движений мелкой моторики кисти выбраны следующие движения:

— противопоставление большого пальца, как первое и наиболее важное при развитии движения точного захвата мелких предметов;

— приведение большого пальца и мизинца;

— отведение пальцев кисти от средней линии.

1 *2* *3* *4* *5* *6*

Рис. 2. Этапы развития функций кисти руки ребенка (по Х. Хальверсон): *1* — положение кисти в 16 недель; *2* и *3* — в 56 недель; *4* — в 60 недель; *5* — в 3 года; *6* — взрослый

Исследования по определению мышц, участвующих в заданных движениях, и топологии подведения информационно-энергетических управляющих сигналов для тренировки мелкой моторики кисти проводились на базе неврологического отделения № 1 Киевской городской клинической больницы № 3. В исследовании принимали участие мужчины (50 % от общего количества) и женщины (50 % от общего количества) в возрасте от 46 до 74 лет. Общее количество составило 10 человек. Все испытуемые имели нозологический статус: умеренный или выраженный гемипарез (последствия ОНМК по ишемическому типу). Эксперименты по определению топологии подведения управляющих сигналов проводили как на пораженных, так и на здоровых конечностях. В результате исследований были определены участки расположения электродов для отобранных движений мелкой моторики. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Топология подведения информационно-энергетических сигналов для целенаправленной тренировки мелкой моторики кисти

Тренируемые движения	Схема расположения электродов
Противопоставление большого пальца	Электроды располагаются над областью возвышения большого пальца thenar 1-й электрод: первая треть thenar, в области m. flexor pollicis brevis и m. adductor pollicis, 2-й электрод: вторая треть thenar, в области m. opponens pollicis
Приведение первого и пятого пальцев	1-й электрод: область возвышения большого пальца thenar, 2-й электрод: область возвышения мизинца gypothenar
Отведение пальцев от средней линии	1-й электрод: двигательные точки mm. interossei dorsales между второй и третьей пястными костями, 2-й электрод: двигательные точки mm. interossei dorsales между четвертой и пятой пястными костями

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

Наличие тремора в пораженной конечности и повышенная чувствительность могут препятствовать получению тренируемых движений. Кроме того, противопоказанием для тренировки движения «приведение большого пальца и мизинца» является наличие спастики в пораженной конечности, так как тренировка этого движения может привести к нарастанию спастического процесса.

Проведенные исследования подтвердили возможность получения отобранных движений при использовании поверхностных электродов для проведения программной электростимуляции нервно-мышечных групп, а также четкую топологию двигательных точек выбранных мышц с небольшим отклонением вследствие особенностей строения тела (рост, вес и т.д.).

Результаты апробации информационной технологии целенаправленного управления движениями кисти для восстановления речи у больных ОНМК

Апробация технологии проводилась на базе неврологического отделения № 1 Киевской городской клинической больницы № 3. В исследовании принимали участие 60 человек: мужчины (65 %) и женщины (35 %) в возрасте от 35 до 78 лет. У всех участников наблюдались нарушения двигательных функций, в виде правостороннего гемипареза, и речевых функций (моторная афазия разной степени тяжести) вследствие перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения. Участники эксперимента были поделены на две группы по 30 человек: группа испытуемых и контрольная группа. Всем пациентам был назначен базовый комплексный курс восстановительного лечения двигательных и речевых функций: фармакотерапия, лечебная физическая культура (ЛФК), занятия с логопедом, курс биоэлектростимуляции для тренировки глобальных движений. В группе испытуемых проводились дополнительные тренировки движений мелкой моторики кисти: противопоставление большого пальца, отведение пальцев кисти от средней линии сочетано с тыльным сгибанием кисти, а также, при отсутствии спастики, приведение большого пальца и мизинца. Количество сеансов и продолжительность курса тренировки по новой технологии изменялись в зависимости от тяжести нарушений двигательных и речевых функций, динамики восстановления, общего состояния пациента и составили в среднем 10–13 сеансов длительностью 15–20 мин.

Данные исследования охватывали целенаправленную тренировку принудительных движений кисти, отвечающих за формирование мелкой моторики, под действием программной электростимуляции соответствующих нервно-мышечных групп по программам от синтезатора циклических программ. В качестве источника управляющих воздействий использовались аппарат для электростимуляции с биоуправлением ТРЕНАР-01 (программы «Синтез»), а также универсальный четырехканальный синтезатор программ с открытой архитектурой, позволяющий формировать сложные движения путем гибкого регулирования пространственно-часовых соотношений активных фаз стимуляции в каждом канале [11].

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

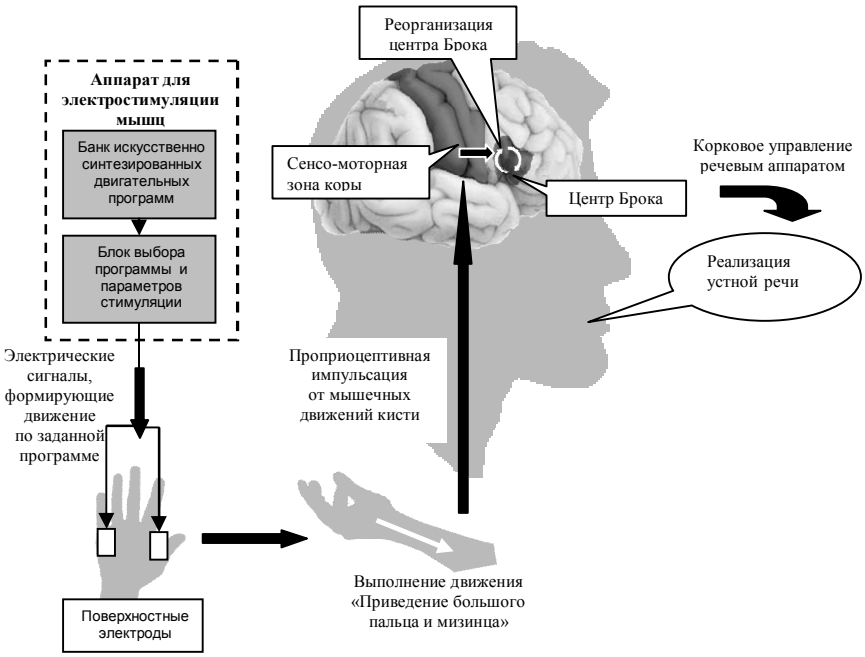

Рис. 3. Структурно-функциональная модель восстановления речи на базе информационной технологии управления движения кисти

На рис. 3 представлена структурно-функциональная модель восстановления речи на базе информационной технологии управления движения кисти. Показан пример тренировки движения «Приведение большого пальца и мизинца».

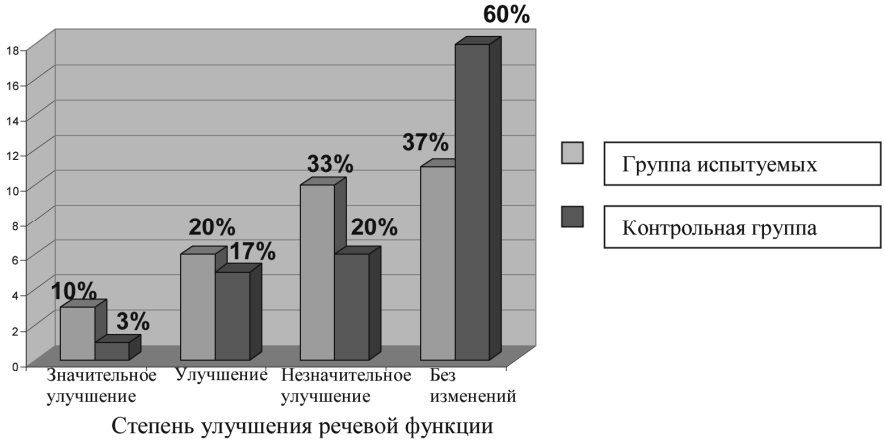

Рис. 4. Результаты апробации информационной технологии целенаправленного управления движениями кисти для восстановления речи

В результате исследований отмечено, что под действием целенаправленной тренировки, наряду с улучшением глобальных движений руки и движений мелкой моторики кисти, наблюдается улучшение речевой функции, проявляющееся, в зависимости от глубины патологии, в увеличении количества произносимых слов, возможности составления простых предложений, сокращении времени на формирование предложения.

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

Представленные на рис. 4 диаграммы демонстрируют рост (в разной степени) улучшений речевой функции при введении в базовый курс реабилитации тренировки движений мелкой моторики кисти. Интегрально улучшение отмечается в 63 % по сравнению с базовым курсом реабилитации — 40 %.

Апробация информационной технологии целенаправленного управления движениями кисти для восстановления речи у больных ОНМК показала, что для восстановления речевой функции, ее моторного компонента, мало тренировать только артикуляцию и глобальные движения конечностей по известным технологиям, необходимо тренировать движения кисти по технологии целенаправленного управления ее мелкими движениями.

Выводы

Теоретическим обоснованием синтеза информационной технологии управления движениями кисти для восстановления речи являются механизмы нейропластичности, связь развития речи с развитием движений пальцев рук и близкая локализация в коре головного мозга представительства кисти и центров речи.

При тренировке мелких движений кисти на основе электростимуляции мышц по искусственно синтезированным программам благодаря нейропластичности происходит формирование новых двигательных центров кисти и речи. Тренировка движений кисти по программе «Донор», которая «считывается» с собственных здоровых мышц пациента, позволяет включить дополнительные механизмы нейропластичности за счет активации коры ипсилатерального полушария головного мозга.

Для передачи информационно-энергетических стимулирующих сигналов целесообразно использовать удобные в эксплуатации поверхностные электроды. При этом процедура тренировки носит неинвазивный характер.

Критериями отбора мелких движений кисти для восстановления речи являлось развитие мелкой моторики кисти в онтогенезе и доступность двигательных точек мышц при электростимуляции с использованием поверхностных электродов.

Результаты использования разработанной информационной технологии управления движениями кисти в комплексе реабилитационных мероприятий по восстановлению речи у постинсультных больных с моторной афазией показали, наряду с улучшением двигательных функций верхней конечности и моторики кисти, улучшение речевой функции в 63 %, по сравнению с базовым курсом реабилитации — 40 %.

1. Вовк М.И. Восстановление моторного компонента речи на базе управления мышечными движениями. Теоретическое обоснование / М.И. Вовк, Е.Б. Галян // Кибернетика и вычисл. техника. — 2012. — Вып.167. — С. 51–60.
   Vovk M.I., Galyan Ye.B. Restoring of motor component of speech based on muscle movement control. Theoretical grounding. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2012, issue 167, pp. 51–60.
2. Кадыков А.С. Реабилитация неврологических больных / А.С. Кадыков, Л.А. Черникова, Н.В. Шахпаронова. — М. : МЕДпресс-информ, 2009. — 509 с.

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013

Kadykov A.S., Chernikova L.A., Shahparonova N.V. Rehabilitation of neurological patients. Moscow: MEDpress-inform, 2009. 509 p.
3. Использование функциональной магнитно-резонансной томографии для изучения функциональной реорганизации двигательной системы после инсульта / А.С. Кадыков, З.А. Суслина, М.В. Кротенкова, С.Н. Бушенева // Медицинская визуализация. — 2007. — Вып. 3. — С. 13–18.
Kadykov A.S., Suslina Z.A., Krotenkova M.V., Busheneva S.N. The use of functional magnetic resonance imaging to study the functional reorganization of the motor system after stroke. Medical visualization, 2007, issue 3, pp. 13–18.
4. Дамулин И.В. Основные механизмы нейропластичности и их клиническое значение. / И.В. Дамулин // Международный неврологический журнал 5 (35). — 2010. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.mif-ua.com/archive /article/13682 (дата обращения 21.10.2013).
Damulin I.V. The Basic mechanisms of neural plasticity and their clinical value. *The int. neurologic magazine*, 5 (35), 2010. Available at http: // www.mif-ua.com/archive /article/13682 (accessed 21 October 2013).
5. Weiller C., Chollet F., Friston K.J., et al. Functional reorganization of the brain in recovery from striatocapsular infarction in man. *Ann. Neurol*, 1992, vol. 31, pp. 463–472.
6. «Миотон» в управлении движениями / Л.С. Алеев, М.И. Вовк, В.М. Горбанев, А.Б. Шевченко. — К. : Наукова думка, 1980. — 142 с.
Aleev L.S., Vovk M.I., Gorbanev V.N., Shevchenko A.B. *«Mioton» in motor control*. Kyiv: Naukova dumka, 1980. 142 p.
7. Вовк М.И. Биоинформационная технология управления движениями человека / М.И. Вовк // Кибернетика и вычислительная техника. — 2010. — Вып. 161. — С. 42–52.
Vovk M.I. Bioinformation technology of motor control of a person. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2010, issue 161, pp. 42–52.
8. Гриценко В.И. «Тренар» — инновационная технология восстановления движений / В.И. Гриценко, М.И. Вовк // Матеріали Міжн. науково-практ. форуму «Наука і бізнес — основа розвитку економіки». — Дніпропетровськ, 2012. — С. 204–206.
Gritsenko V.I., Vovk M.I. “Trenar” — innovational technology of movements restoration. *Materials of the International scientific — practical forum “The Science and Business — a basis of development of economy”*. Dnepropetrovsk, 2012, pp.204–206.
9. Peckham P. Hunter, Kilgore Kevin L., “Challenges and Opportunities in Restoring Function after Paralyses,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 2013, vol. 60, no. 3, pp. 602–609.
10. Halverson H.M. The acquisition of skill in infancy. *Journal of Genetic Psychology*, 1933, vol. 43, p. 3–48.
11. Іванов В.В. Функціонально-технологічний модуль синтезу програм керування рухами. / В.В. Іванов // Біологічна і медична інформатика та кібернетика: матеріали щорічної науково-практичної школи-семінару ФМШ Жукін, 18–22 червня 2012 р. — К. : НАН України, Міжн. науково-навчальний центр ІТ та систем, 2012. — Ч. 2. — Режим доступа: www.dept220.org.ua/dep220/bmik2012.htm (дата обращения 21.10.2013).
Ivanov V.V. Functional and technological module program synthesis control movements. *Biological and Medical Informatics and Cybernetics: materials of annual science and technology seminar PMS Zhukin, 18–22 June 2012*. Kyiv: Acad. of Sciences of Ukraine, ITRC of IT and S, 2012. — Part 2. Available at www.dept220.org.ua/dep220 /bmik2012.htm (accessed 21 October 2013).

Получено 20.10.2013

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, Е.Н. Подопригора, 2013