

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ И РЕЧЕВЫХ ФУНКЦИЙ

М.И. Вовк

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

Рассмотрены теоретические предпосылки активации резервов организма на восстановление двигательных и речевых функций, положившие основу разработки оригинальных методов, программ, методик активации резервов организма, на базе которых синтезирована конкурентноспособная биоинформационная технология восстановления двигательных и речевых функций ТРЕНАР®. Технологию реализует новый класс изделий цифровой медицины — аппаратно-программный комплекс ТРЕНАР®. Показаны преимущества технологии, главным из которых является возможность организовать индивидуальный подход к восстановительному лечению на каждом этапе реабилитации движений и речи. Представлены результаты клинической апробации аппаратов Тренар.

Ключевые слова: биоинформационная технология, электронное изделие, цифровая медицина, программная электростимуляция, биологическая обратная связь, восстановление, движение, кисть, речь, инсульт, индивидуальный подход.

Розглянуто теоретичні передумови активації резервів організму на відновлення рухових і мовленнєвих функцій, що поклали основу розробки оригінальних методів, програм, методик активації резервів організму, на базі яких синтезовано конкурентноспроможну біоінформаційну технологію відновлення рухових і мовленнєвих функцій ТРЕНАР®. Технологію реалізує новий клас виробів цифрової медицини — апаратно-програмний комплекс ТРЕНАР®. Показано переваги технології, головною з яких є можливість організувати індивідуальний підхід до відновного лікування на кожному етапі реабілітації рухів і мовлення. Представлено результати клінічної апробації апаратів Тренар.

Ключові слова: біоінформаційна технологія, електронні вироби, цифрова медицина, програмна електростимуляція, біологічний зворотний зв'язок, відновлення, рух, кисть, мовлення, інсульт, індивідуальний підхід.

ВВЕДЕНИЕ

Двигательная активность — едва ли не главный фактор, способствующий формированию здорового образа жизни человека. Движения являются самыми доступными и эффективными лекарствами, лучшим средством для восстановления здоровья и гармоничного развития человека. Однако количество инвалидов (взрослых и детей) с нарушениями двигательных функций, растет. Последствия инсульта или детского церебрального паралича (ДЦП) являются ведущей причиной инвалидности.

Цереброваскулярная патология (ЦВЗ) и их наиболее тяжелая форма — инсульт являются наиболее частыми неврологическими заболеваниями. Согласно мировой статистике в настоящее время отмечается стремительная тенденция к увеличению числа больных инсультом, а также к их «омоложению». По данным ВОЗ 30 % больных составляют лица

трудоспособного возраста (до 50–60 лет), 70–80 % больных, перенесших инсульт, полностью утрачивают профессиональные навыки и трудоспособность. Нарушения речи (афазии, дизартрии) наблюдаются более чем у трети больных, перенесших инсульт, и являются вторым по значимости и распространенности постинсультным дефектом после двигательных нарушений. Наличие речевого дефекта после перенесенного инсульта, черепно-мозговой травмы, опухоли мозга либо оперативного вмешательства на головном мозге значительно снижает коммуникативные возможности, повседневную жизненную активность больных, способствует их социальной изоляции. Неутешительная картина наблюдается и с детским церебральным параличом (ДЦП), который занимает значительное место среди заболеваний и является причиной инвалидности детей как в Украине, так и за рубежом.

Разработка новых методов, средств, технологий восстановительного лечения движений и речи является актуальной проблемой, которая имеет огромное социально-экономическое значение.

Восстановительное лечение — это прежде всего мобилизация резервов организма на восстановление нарушенной в результате патологии функции. Применительно к восстановлению двигательных и речевых функций у больных, перенесших инсульт, мобилизация резервов предполагает разработку и реализацию индивидуальных комплексных программ медицинской реабилитации, в которых, наряду с лекарственными, ведущее место отводится технологиям, направленным на тренировку движений как одного из главных факторов мобилизации резервов организма на восстановление супраспинального контроля двигательными функциями.

Цель статьи — показать роль новых информационных технологий и средств цифровой медицины, оригинальных методов, программ и методик тренировки движений конечностей и мелкой моторики кисти, направленных на восстановление двигательных и речевых функций у пациентов после инсульта.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АКТИВАЦИИ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

Главный способ формирования новой системы супраспинального контроля движений вместо утраченного или искаженного патологией, приводящего к восстановлению движений, это мышечное сокращение, которое заставляет работать рецепторы в мышцах и сухожилиях и посылать афферентные импульсы к неповрежденным участкам мозга. Основой не только восстановления нарушенных функций движения, но и памяти, речи, обучения является нейропластичность — способность нервной системы восстанавливать свою функцию с помощью качественных и количественных нейрональных перестроек, изменений нейрональных связей под влиянием внешних стимулов [1]. Поэтому электростимуляция как способ принудительного сокращения мышц и тренировки движений нашла широкое применение для восстановления двигательных функций у парализованных больных. Вследствие электростимуляции к неповрежденным участкам мозга

по каналам обратной связи поступает необходимая для восстановления движений афферентная информация о сокращении мышцы.

Чтобы восстановить утраченный двигательный навык, нужно стимулировать мышцы по определенной программе. Это положило начало синтеза систем управления движениями по методу программной электростимуляции мышц. Неотъемлемым структурным элементом таких систем является банк программ, искусственно синтезированных или естественных. Формирование естественной двигательной программы основано на получении из электромиограммы полезной информации о движении, на знании тех соотношений, которые связывают параметры электромиографических сигналов (ЭМГ-сигналов) и механограмму. Одним из наиболее информативных параметров считается интегрированная электромиограмма. Между ней и механограммой имеют место определенные и хорошо изученные зависимости в изометрическом и изотоническом режимах работы мышц. Интегрированный ЭМГ-сигнал можно считать информационным «электромиографическим образом» силы и скорости сокращения мышцы, а также использовать его для формирования программ управления уровнем и распределением во времени сигнала стимуляции и, следовательно, уровнем и последовательностью принудительных сокращений мышц [2].

Вместе с тем моторная зона коры является не только кортикальным отделом проприоцептивной сенсорной системы, но и местом конвергенции проекций от всех других сенсорных зон коры. Двигательный анализатор коры работает в тесном содружестве со зрительным, слуховым и тактильным анализаторами. Поэтому для восстановления двигательных функций разработка методов, направленных на активацию других сенсорных зон коры на базе обратной афферентации от тренируемых мышц, является целесообразной. Одним из них является метод биоуправления, или биологической обратной связи (БОС) [3].

Высокая степень адекватности биоуправления с обратной связью определяется не только обращением к локальным специфическим процессам, которые в нашем случае характеризует ЭМГ-сигнал, но и активным участием субъекта в проведении лечебных и тренировочных сеансов. Основным механизмом активации природных резервов организма к коррекции патологически измененной функции по методу БОС являются рефлекторные ассоциации между сигналом обратной связи и состоянием контролируемой функции. В случае управления движениями с помощью БОС пациент «чувствует» движение по формализованному зрительному, звуковому или тактильному «образу движения». Обеспечивая непрерывный контроль «заинтересованной» функции, БОС предоставляет пациенту возможность прицельно обратить внимание на объект модификации, точно оценить успех при выполнении конкретной задачи. БОС всегда предполагает цель — включение сознания на выполнение задания. Сознание отслеживает результат. Для больных такой контроль на фоне общей мотивации к выздоровлению служит достаточным подкреплением в процессе формирования нового двигательного стереотипа вместо утраченного или

нарушенного патологией. Преимущества БОС позволяют использовать этот метод наряду с методом реабилитации, основанным на программной электростимуляции мышц [4, 5].

Чем шире спектр задач, которые используются для тренировки движения, тем больше формируется функциональных связей и структур-паттернов движения. Роль утраченных структур в системе управления движением начинают играть новые функциональные образования. Шире становятся ассоциативные связи, возрастает роль межполушарного взаимодействия. Последнее приобретает особое значение при самопрограммировании движений по методу программной электростимуляции по моделям (программам), основанным на «электромиографических образах», поступающих от собственных здоровых мышц пациента при их произвольном сокращении. Преимущества таких программ тренировки движений пострадавшей конечности более подробно будут рассмотрены ниже.

В случаях поражения центральных двигательных механизмов выполнение движения функционально-динамической группой и одновременное включение сознательной попытки выполнения действия ведут к появлению потока импульсов к элементам кинестетического анализатора, которые не пострадали. [2]. Каждый раз как бы создается активная условная модель движения, которая способствует созданию новых условнорефлекторных комплексов. В создании последних значительную помощь может оказать биологическая обратная связь.

На базе обработки и преобразования электромиографических сигналов в зрительные и звуковые информативные сигналы получила развитие теория «образного (зрительного и слухового) осознания» мышечной активности зрительным и слуховым анализаторами коры головного мозга. В результате такого преобразования ЭМГ-сигналы, характеризующие ключевые параметры мышечной активности (сила и скорость сокращения мышц), ранее недоступные сознанию, стали доступны в виде зрительных и слуховых образов. Это позволяет активировать дополнительные резервы моторной области коры на восстановление двигательных функций.

БИОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТРЕНАР®. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДЫ АКТИВАЦИИ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Рассмотренные теоретические предпосылки восстановления нарушенных функций движения составили основу синтеза базовых программно-технологических электронных модулей как внешних контуров индивидуальной, биологически адекватной состоянию пациента и этапу реабилитации, активации резервов организма на восстановление двигательных функций. Биологическая адекватность обеспечивается набором базовых программно-технологических электронных модулей, основу синтеза которых составляют различные методы и программы тренировки принудительных и произвольных сокращений мышц. Этот подход послужил

основой синтеза биоинформационной технологии восстановления двигательных и речевых функций ТРЕНАР®. Технологию реализует новый класс электронных изделий цифровой медицины — аппаратно-программный комплекс ТРЕНАР® [6]. Комплекс представлен двумя модификациями: «Аппарат для электростимуляции с биоуправлением Тренар-01» и «Аппарат для электростимуляции с биологической обратной связью Тренар-02» (рис. 1).



Рис. 1. Комплекс ТРЕНАР®

Электронный комплекс ТРЕНАР® включает следующий набор базовых программно-технологических электронных модулей.

Программно-технологический модуль «Синтез». Метод — программная электростимуляция; программа — «Синтез». Тренировка принудительных движений под влиянием электростимуляции мышц по искусственно синтезированным программам в широком диапазоне «посылка-пауза» импульсов электростимуляции. Этот метод и программы тренировок предоставляют возможность осуществлять активацию резервов нервной системы на восстановление движений на базе афферентной проприоцепции (рис. 2). Применяется на ранних этапах реабилитации, в том числе почти при отсутствии движений пораженной конечности.

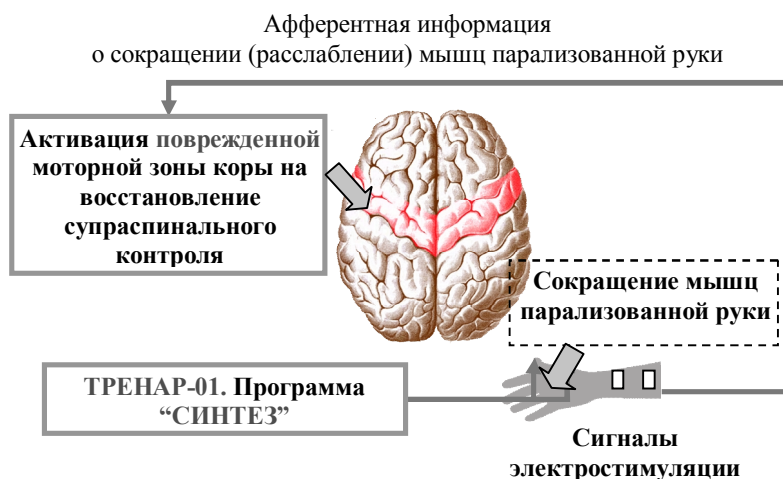


Рис. 2. Структурно-функциональная модель активации поврежденной моторной зоны коры на восстановление управления движениями по программе «Синтез»

Программно-технологический модуль «Донор». Метод — программная электростимуляция; программа — «Донор». Тренировка принудительных движений пораженной конечности под влиянием электростимуляции соответствующих мышц по программам, которые «считываются» с собственных здоровых (желательно симметричных) мышц пациента или мышц другого человека (инструктора) при их произвольных сокращениях и передаются мышцам, которые тренируются в режиме «он-лайн» (рис. 3). Программа «Донор» основана на специальной обработке ЭМГ-сигнала, поступающего от произвольных сокращений здоровых мышц пациента или инструктора. Основу обработки ЭМГ-сигнала составляют знания соотношений между параметрами электромиографических сигналов и механограммой. Обработанный ЭМГ-сигнал несет информацию о силе и скорости сокращения мышцы. Используя программу «Донор», при соответствующем подборе амплитуды стимулирующего сигнала пациент практически повторяет пораженной конечностью движения собственной здоровой конечности или движения инструктора. Непосредственно пациент или инструктор могут контролировать и изменять программу тренировок, ритм и силу сокращений мышц, которые тренируются. Растет роль мотивации в процессе афферентного синтеза от произвольных сокращений здоровой конечности и принудительных сокращений поврежденной.

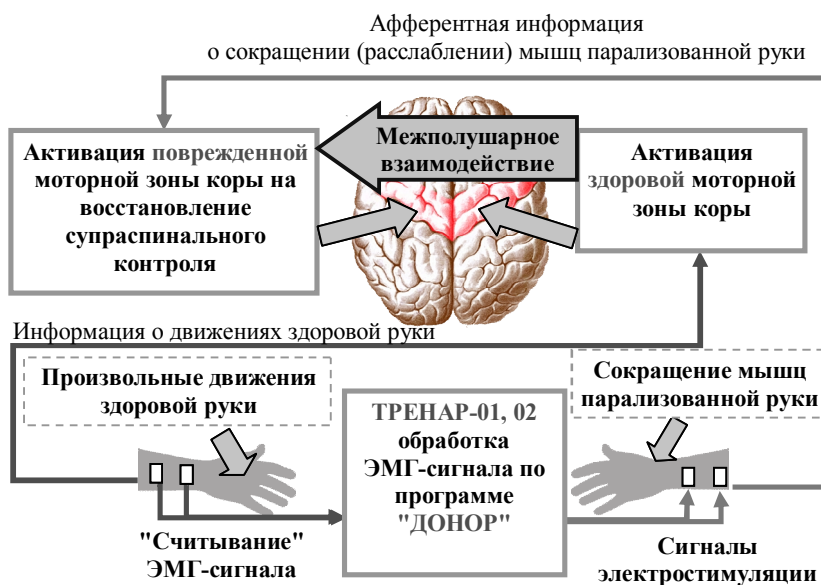


Рис. 3. Структурно-функциональная модель активации поврежденной моторной зоны коры на восстановление управления движениями по программе «Донор»

Благодаря межполушарному взаимодействию афферентная проприоцепция от произвольных мышечных сокращений здоровой конечности «готовит» поврежденную моторную зону к афферентной проприоцепции от принудительных сокращений мышц пораженной конечности. Как следствие, афферентная проприоцепция от движений поврежденной конечности становится более эффективной. Эффективность

тренировок движений поврежденной конечности по программе, исходящей от произвольных сокращений симметричных здоровых мышц у парализованных больных, отмечают и зарубежные исследователи [7]. Программа «Донор» целесообразна на ранних этапах реабилитации при отсутствии у пациента нарушений когнитивной сферы.

Программно-технологический модуль «Порог». Метод — пороговая электростимуляция; программа — «Порог». Тренировка соотношения произвольно-принудительных сокращений мышцы. По программе «Порог» электростимуляция как способ принудительного сокращения мышцы «запускается» при преодолении пациентом определенного порога ЭМГ-сигнала, который возникает при произвольном сокращении той же мышцы, которая тренируется. Уровень порога устанавливает оператор или самостоятельно пациент. Тренировка направлена на то, чтобы с каждым новым сеансом произвольное сокращение мышцы преодолеvalo все больший порог. Иными словами, вклад произвольного сокращения в тренировочное задание постепенно увеличивается по сравнению с принудительным сокращением. По методу «Пороговая электростимуляция» эффективность влияния проприоцептивной афферентации от принудительных сокращений тренируемых мышц на поврежденную моторную зону коры возрастает потому, что поврежденная моторная зона становится «подготовленной» к управляющим воздействиям за счет афферентации от произвольных сокращений мышцы той же поврежденной конечности. Возрастает и роль мотивации в процессе афферентного синтеза от произвольных и принудительных сокращений мышц поврежденной конечности. Метод «Пороговая электростимуляция» применяется с появлением у пациента малейших признаков произвольных движений при отсутствии нарушений когнитивной сферы.

Программно-технологический модуль «Память-Ауто». Метод — программная электростимуляция, программа «Память-Ауто». Тренировка произвольных и принудительных сокращений мышцы происходит в режиме «запись — воспроизведение»: записанный в памяти ЭМГ-сигнал произвольного сокращения — расслабления мышцы воспроизводится в виде программы электростимуляции той же мышцы. Запись ЭМГ-сигнала происходит при преодолении определенного порога. Поэтому мотивация при тренировке мышц по этой программе больного или здорового человека (например, спортсмена) играет тоже важную роль.

Программно-технологический модуль «Биотренировка». Метод — Биологическая обратная связь (зрительная и слуховая) по электромиограмме; программа — «Биотренировка» (рис. 4). Пациент тренирует произвольные сокращения мышц в соответствии с установленным пациентом или инструктором (врачом) тренировочным заданием. ЭМГ-сигнал мышцы, которая тренируется, преобразуется в зрительные и звуковые информационные сигналы, которые информируют пациента об успешности или безуспешности выполнения тренировочного задания. При использовании метода биологической обратной связи мотивация в процессе афферентного синтеза проприоцептивной, зрительной и слуховой сенсорных систем от

произвольных сокращений тренируемых мышц играет исключительную роль. Программа тренировок обычно используется на последних этапах реабилитации для приближения движений пациента к норме. Эту программу используют также при наличии противопоказаний к электростимуляции.

Разнообразие программ формирования / тренировки движений обеспечивает выбор программы, адекватной функциональному состоянию двигательной системы пациента, позволяет индивидуально на каждом этапе реабилитации организовать процесс тренировки, наиболее эффективно мобилизуя резервы организма на восстановление движений вплоть до их полного восстановления. Как внешние контуры, аппараты Тренар «встраиваются» в собственную систему управления движениями пациента и выполняют в этой системе роль недостающего звена и / или дополнительного контура в регуляции движений.

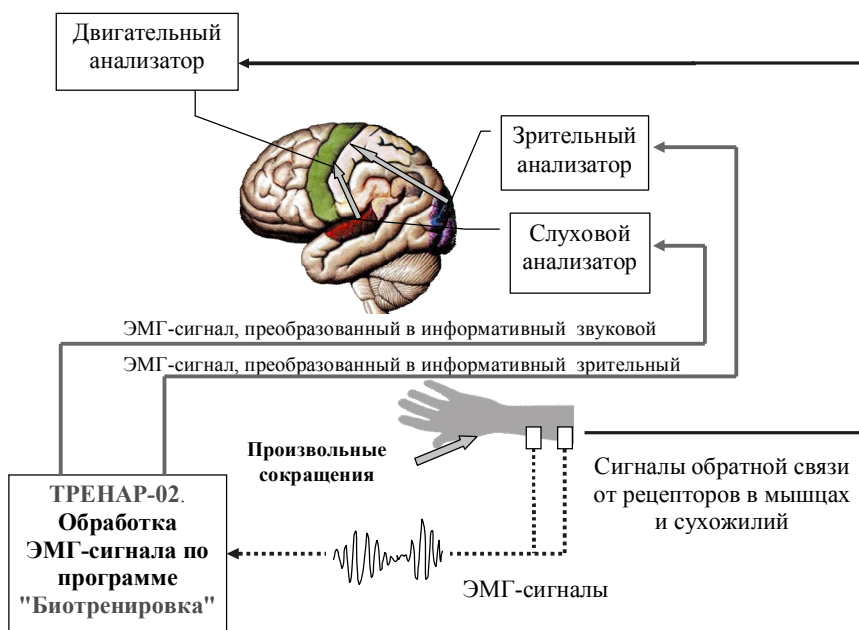


Рис. 4. Структурно-функциональная модель активации поврежденной моторной зоны коры на восстановление управления движениями по программе "Биотренировка" (метод — БОС).

Идеи гомеостаза двигательных функций [8] приводят к пониманию того, что двигательный опыт человека есть не что иное, как сформированная в онтогенезе становления двигательных функций способность организма обеспечивать поддержание системного гомеостаза выполнения движения, причем эта способность индивидуальная. Патология или пребывание человека в экстремальных условиях, например, невесомости, нарушает эту способность за счет выпадения структурных элементов и / или регулирующих систем, а вместе с ней и способность выполнять движение. В связи с этим очень важным является выбор управляющих воздействий на каждом этапе восстановления двигательных функций. Управляющие воздействия должны быть щадящими по отношению к организму человека —

от таких, которые запускают и стимулируют резервы внутренних регулирующих систем через комбинированную работу внутренних механизмов и управляющих воздействий к работе только управляющих воздействий, когда исчерпаны все резервы внутренних механизмов. Понятие биологической адекватности формирования движений на различных этапах реабилитации происходит из понятия гомеостаза двигательной системы, его индивидуальности и индивидуальности нарушения при двигательной патологии.

Исходя из концепции гомеостаза двигательной системы и принципа биологической адекватности управляющих воздействий на каждом этапе восстановления двигательных функций, перечислим основные функции, которые выполняют базовые программно-технологические модули как внешние контуры управления:

— выполнять роль недостающего звена в формировании гомеостаза двигательной системы при той или иной патологии двигательной функции;

— быть средством восстановления гомеостаза — устойчивого восстановления функции движения;

— обладать структурой, функциональными и техническими характеристиками, которые позволяют оптимизировать «маршрут» лечения (восстановление двигательных функций) как многокритериальную оптимизацию процесса формирования движений на основе адекватной состоянию двигательных функций пациента активации его резервов на различных этапах реабилитации.

Индивидуальный, биологически адекватный подход к синтезу систем управления движениями привнес элементы "интеллектуализации" к управляющим воздействиям. Управляющие воздействия можно считать «интеллектуальными», если они могут гибко менять свою структуру, режим деятельности, изменять различные виды взаимодействия (информационно-энергетические, информационные) внешней системы управления с собственной системой управления движениями пациента.

Как интеллектуальные системы, аппараты Тренар характеризуются доминированием в них функционального принципа избирательной мобилизации структуры (использования соответствующего этапа реабилитации функционально-технологического модуля, входящего в состав аппаратов Тренар-01, Тренар-02) с целью получения результата — биологически адекватной активации резервов организма для восстановления двигательных функций. Такой подход совпадает с фундаментальным положением П.К. Анохина о роли результата как фактора, образующего функциональную систему [9]. Гибкая структура аппаратов Тренар, которая состоит из различных функционально-технологических модулей, позволяет реализовать этот принцип и организовать различные программы, методы тренировки движений с целью получения главного результата — восстановление двигательных функций.

Технология индивидуальной реабилитации движений и электронные аппараты Тренар, ее реализующие, защищены рядом авторских свидетельств и патентов [10–13], подготовлены к производству на Государственном

научно-производственном предприятии «Электронмаш», г. Киев, разрешены к использованию в клинической практике на территории Украины.

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ТРЕНАР® ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Анализ клинических испытаний аппаратов Тренар в 14-ти клиниках и курортах различных регионов Украины показал, что разнообразие программ управления движениями позволяет врачу организовать индивидуальный подход к восстановительному лечению двигательных функций на каждом этапе реабилитации, начиная от тяжелых состояний. Результаты восстановительного лечения для наиболее распространенных заболеваний представлены в табл.1. Общее количество пациентов, прошедших курс восстановительного лечения двигательных функций — 8358 человек.

Таблица. 1.

Результаты восстановительного лечения движений

Нозология	Общее количество пациентов	Значительное улучшение	Улучшение	Без изменений
ГПМК (инсульт)	4095	861 / 21%	2947 / 72 %	287 / 7 %
ДЦП	313	6 / 2 %	294 / 94 %	13 / 4 %
Другая патология	3962	2338 / 59 %	1505 / 38 %	118 / 3 %

Программы «Синтез» и «Донор» (при отсутствии нарушений когнитивной сферы) эффективны на начальных этапах реабилитации, в том числе у постели больного. Тренировка движений верхних и нижних конечностей на ранних этапах реабилитации способствовала улучшению общей мозговой симптоматики и общего соматического состояния: нормализации давления, пульса, функциональной стабилизации гемодинамики. При наличии моторной афазии лучше шло восстановление речи. Улучшалось психоэмоциональное состояние. В результате пациенты, которым тренировали движения на ранних этапах реабилитации, были лучше подготовлены к следующим этапам реабилитации.

Активное участие пациента в тренировочном процессе на различных этапах реабилитации по программам «Донор» (рис.5), «Порог» (рис.6), «Биотренировка» позволяло избегать монотонных тренировок, давало возможность пациенту самостоятельно гибко перестраивать ритм и интенсивность движений, постепенно усложнять тренировочное задание, что способствовало положительной динамике восстановления двигательных функций.

АКТИВАЦИЯ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЧИ

Связь двигательных и речевых функций, величина проекции кисти, ее близость к моторной речевой зоне, положительное влияние тренировки

тонких движений пальцев рук на развитие активной речи ребенка [14] составило теоретическую предпосылку разработки инновационного метода и



Рис. 5. Сеанс восстановительного лечения движений после инсульта (правосторонний гемипарез) по программе "Донор"



Рис. 6. Сеанс восстановительного лечения движений после инсульта (левосторонний гемипарез) по программе "Порог"

технологии восстановления моторного компонента речи на базе тренировок тонкой моторики кисти у больных после инсульта с нарушениями речи по типу моторной или моторно-сенсорной афазии и нарушениями двигательных функций по типу гемипареза [15, 16].

Разработанная технология восстановления речи использует разнообразие методов и программ тренировки кисти и пальцев, предоставляемых аппаратно-программным комплексом ТРЕНАР®. Выбор движений пальцев рук для тренировки базировался на развитии мелкой моторики кисти в онтогенезе [17] с учетом возможности доступа передачи сигналов электростимуляции соответствующим мышцам с помощью поверхностных электродов. Описанная методология может быть еще одним подходом, способствующим формированию речи у детей, у которых наблюдается отставание в ее развитии.

Технологию реализует биотехническая система — компьютерный программно-аппаратный комплекс восстановления речи (ПАК ВР) «ProMova» [18] (рис. 7). Центральным звеном комплекса является техническая система, которая состоит из двух элементов: электронные аппараты управления движениями Тренар, с помощью которых происходит тренировка движений тонкой моторики пораженной кисти и пальцев, и информационный компонент, который программно реализован в архитектуре ПК [19]. Включение в техническую систему информационного компонента

обусловлено проблемой многокритериального выбора параметров тренировок, которые осуществляет врач при организации индивидуального подхода к реабилитации. Наиболее распространенным инструментом решения такой проблемы является специализированный программный модуль, который реализуется в структуре ПК.

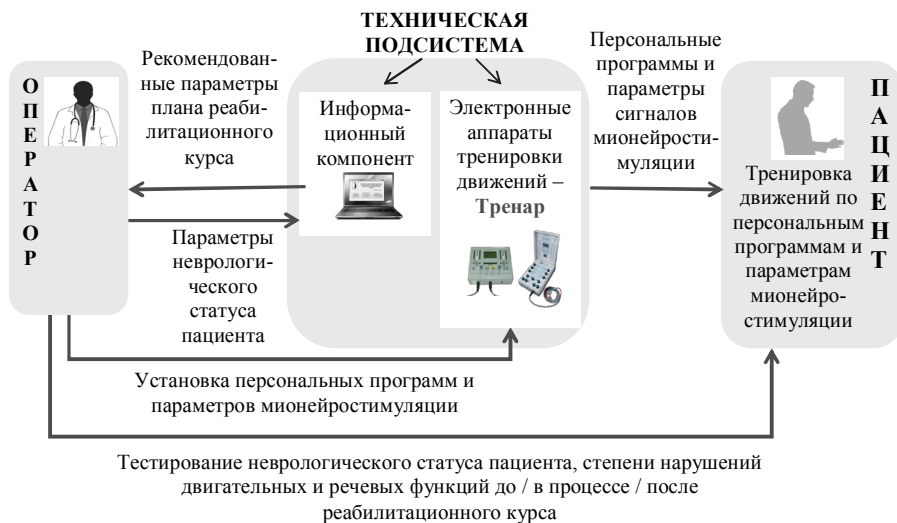


Рис. 7. Структурно-функциональная модель программно-аппаратного комплекса восстановления речи «ProMova»

Предложенный метод определения параметров персонально ориентированного реабилитационного курса тренировки движений кисти и пальцев для восстановления речи базируется на разработанных критериях, решающих правилах и алгоритме выбора параметров реабилитационного курса, что обеспечивает определение допустимости проведения курса реабилитации и формирование персональной комбинации параметров тренировки движений кисти и пальцев для текущего неврологического статуса пациента. Выбор параметров реабилитационного курса строится по правилам продукционной модели представления знаний [18].

Специализированный программный модуль, реализованный в архитектуре ПК, обеспечивает организацию информационно-консультационной помощи при планировании и проведении мероприятий по восстановлению речи. Оператор ПАК, в качестве которого могут выступать врач-невролог, реабилитолог, является активным объединяющим звеном комплекса, обеспечивает единый алгоритм его функционирования. Оператор осуществляет до / в процессе / после реабилитационного курса тестирование неврологического статуса пациента. Определяет степень нарушений двигательных и речевых функций на основе экспертной оценки и стандартных методов, шкал и протоколов тестирования состояния неврологических больных. Взаимодействует с технической подсистемой при формировании / корректировке параметров реабилитационного курса,

установке персональных методов, программ и параметров отдельных процедур курса.

Апробацию предложенного подхода к восстановительному лечению речи проводили в неврологическом отделении №1 Киевской городской клинической больницы №3 (рис. 8).



Рис. 8. Сеанс тренировки движений кисти по программе «Донор» для восстановления речи (Моторная афазия. Правосторонний гемипарез)

Верификация и клиническая апробация программно-аппаратного компьютерного комплекса восстановления речи «ProMova» у больных после инсульта с нарушением движений по типу гемипареза и речи по типу моторной или моторно-сенсорной афазии показала улучшение функции речи на 32, 5% ($p = 0,95$) по сравнению с базовым курсом реабилитации. Количественная экспресс-оценка моторных и сенсорных нарушений речи [20], которая обеспечивает объективизацию диагностики степени дефекта речи и степени восстановления в пределах небольшой положительной динамики, подтвердила высокую эффективность восстановления функции речи у пациентов в раннем периоде реабилитации (до 6 месяцев после инсульта), а также при тренировке движений тонкой моторики кисти по программе «Донор».

Выводы

Разработана и внедрена в клиническую практику конкурентноспособная технология восстановления двигательных и речевых функций ТРЕНАР®. Технологию реализует новый класс изделий цифровой медицины — аппаратно-программный комплекс ТРЕНАР®. Преимущества технологии:

- широкий диапазон различных программ тренировки движений, основанных на различных методах обработки и преобразования ЭМГ- сигналов в информативные, характеризующие мышечное сокращение, оригинальные методики тренировки мелкой моторики кисти позволяют организовать индивидуальный подход к восстановлению двигательных и речевых функций;
- активное вовлечение пациента в реабилитационный процесс, сознательный контроль и самостоятельное дозирование тренировочной

нагрузки способствуют росту эффективности реабилитации.

1. Белова А.Н., С.В. Прокопенко. Нейрореабилитация. 3е изд., перераб. и доп. М., 2010. 1288 с.
2. Алеев Л.С., Вовк М.И., Горбанев В.Н. и др. «Миотон» в управлении движениями. Киев, 1980. 144с.
3. Aleev L. S., Vovk M.I. Functional electrostimulation with myofeedback in movement rehabilitation. Proceedings “5th International Muscle Symposium” (May 19-21, 2000, Viena, Austria). Viena , 2000. P.69–70.
4. Гриценко В.І., Котова А. Б., Вовк М.І. та ін. Інформаційні технології в біології та медицині: Курс лекцій: Навчальний посібник. Ч. 3. Теорія біотехнічних систем та її застосування. Київ, 2007. С.285–340.
5. Вовк М.И. Биоинформационная технология управления движениями как направление биологической и медицинской кибернетики. *КВТ*. 2013. Вып. 174. С. 56–70.
6. Гриценко В.И., Вовк М.И. Тренар — инновационная технология восстановления движений . Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму «Наука і бізнес — основа розвитку економіки». м. Дніпропетровськ, 2012. С.204–206.
7. P. Hunter Peckham and Kevin L. Kilgore Challenges and Opportunities in Restoring Function after Paralysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2013. Vol. 60. № 3. P. 602–609.
8. Романов С.П. Нейрофизиологические механизмы гомеостаза двигательных функций: дис. д-ра биол.наук: 03.00.13. Л., 1989. 443 с.
9. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. 447 с.
10. Спосіб керування рухами людини: пат. 41795 Україна: МПК А61N 1/36. № u200814822; заявл. 23.12.08; опубл. 10.06.2009, Бюл. №11. — С.4.
11. Електростимулятор : пат. 32376 Україна,; МПК А61N 1/36. № u 2008 00632; заявл. 18.01.08; опубл. 12 .05. 2008, Бюл. №9. — С.4.
12. А. с. 26836 Україна. Апарат для електростимуляції з біокеруванням ТРЕНАР-01. Методика використання / М.І.Вовк, В.В.Іванов, А.Б.Шевченко / Заявка № 26840 від 05.09.2008; Опубл. 09.12.2008.
13. А. с. 37243 Україна. Апарат для електростимуляції з біологічним зворотним зв'язком ТРЕНАР-02. Методика використання / М.І.Вовк, В.М.Горбаньов, А.Б.Шевченко / Заявка № 37469 від 04.01.2011; Опубл. 04.03.2011.
14. Кольцова М.М. Двигательная активность и развитие функций мозга ребенка. М.: Педагогика, 1973. 143 с.
15. Вовк М.И., Галян Е. Б. Восстановление моторного компонента речи на базе управления мышечными движениями. Теоретическое обоснование. *КВТ*. 2012. Вып.167. С. 51–60.
16. Спосіб лікування мовних порушень: пат. 111388 Україна,; МПК (2006.01), А61N 1/36. № а 2014 06092; заявл. 03.06.2014, опубл. 25.04.16, Бюл. № 8.
17. Halverson Н. М. The acquisition of skill in infancy. *Journal of Genetic Psychology*. 1933. Vol. 43. P. 3–48.
18. Вовк М.И., Галян Е.Б. Организация интеллектуального управления движениями кисти для восстановления речи. *КВТ*. 2016. Вып. 184. С. 25–43.
19. Галян Е.Б. Специализированный программный модуль технологии восстановления речи, архитектура и функциональное взаимодействие его компонентов. *УСuM*. 2014. № 6. С. 52–58.
20. Вовк М.И. , Пелешок С. Р., Галян Е. Б. и др. Методика оценки моторных и сенсорных нарушений речи: Сборник статей науч.-информ. центра «Знание» по материалам XI международной заочной науч.-практ. конф.: «Развитие науки в XXI веке» 3 часть, г. Харьков: сборник со статьями. Д., 2016. С. 70–76.

NEW OPPORTUNITIES FOR MOVEMENT AND SPEECH REHABILITATION

M.I. Vovk

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine

Introduction. Movement training is one of the main factors to mobilize person's reserves at movement restoration.

The purpose of this article is to show the role of new bioinformatics technology and digital medical devices, original methods, programs and techniques of movement training of the limbs and fine motor hand, to restore motor and speech functions in patients after stroke.

Results. The bioinformatics technology TRENAR[®] for motor and speech rehabilitation is presented. The technology uses various programs (models) and methods for forced and voluntary movement training that are based on special EMG signals processing and their transformation into informative visual and sound signals, that define movements. Structural — functional models of damaged motor area of the cortex reorganization aimed at motor control restoration according to movement training programs “Synthesis” (artificially synthesized programs of electric stimulation), “Donor” (programs are based on voluntary contractions of healthy muscles of a patient), “Biotraining” (Biofeedback method) are described. The technology is implemented in two electronic devices of digital medicine Trenar-01 and Trenar-02.

New method and technology to restore speech on the basis of original techniques of fine motor hand training and technology TRENAR[®] are described. The results of clinical testing of technology in motor and speech restoration of patients after the stroke are presented.

Conclusion. The main benefits of the technology TRENAR[®] which lead to an increase in efficiency of motor and speech rehabilitation are as follows: advanced range of training programs, based on different methods, original techniques of fine motor hand training allows one to select individual approach to rehabilitation process.

Keywords bioinformatics technology, digital medicine, electronic devices, programmed electric stimulation, biofeedback, rehabilitation, movement, hand, speech, stroke, individual approach.

1. Belova A.N., Prokopenko S.V. Neurorehabilitation. 3th ed. Moscow, 2010. 1288 p. (in Russian).
2. Aleev L., Vovk M., Gorbanev V. & others. «Mioton» in motor control. Kiev, 1980. 142 p. (in Russian).
3. Aleev L. S., Vovk M.I. Functional electrostimulation with myofeedback in movement rehabilitation. Proceedings “5th International Muscle Symposium” (May 19–21, 2000, Viena, Austria). Viena, 2000. P.69–70.
4. Gritsenko V.I., Kotova A. B., Vovk M. I. & others. Information technology in Biology and Medicine. Lecture course. Kiev, 2007. P. 285–340 (in Ukrainian).

5. Vovk M.I. Bioinformatic technology of movements control as the direction of biological and medical cybernetics. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2013. № 174. P. 56–70. (in Russian).
6. Gritsenko V.I., Vovk M.I. “TENAR” — innovational technology of movements restoring Materials of the International scientific — practical forum « The Science and Business — a basis of development of economy ». Dnepropetrovsk, 2012. P.204–206. (in Russian).
7. Hunter P. Peckham, Kevin L. Kilgore, “Challenges and Opportunities in Restoring Function after Paralysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2013. Vol. 60. № 3. P. 602–609.
8. Romanov S.P. Neurophysiological mechanisms of motor functions homeostasis / Doctor in Biology: specialty. 03.00.13. St. Petersburg, 1989. 443 p. (in Russian).
9. Anohin P.K. The Sketches on Physiology of Functional Systems. M.: Medicine, 1975. 447 p. (in Russian).
10. The method of Motor Control of a Person: pat. 41 795 Ukraine. 10.06.2009. (in Ukrainian).
11. Electrical stimulator: pat. 32376 Ukraine: 12 .05. 2008. (in Ukrainian).
12. The Inventor's Certificate on author's product right 26 836 Ukraine. The Device for Electrical Stimulation with Biocontrol Trenar-01. The Technique for Using / M. Vovk, V. Ivanov, A. Shevchenko / 09.12.2008. (in Ukrainian).
13. The Inventor's Certificate on author's product right 37243 Ukraine. The Device for Electrical Stimulation with Biofeedback Trenar-02. The Technique for Using / M. Vovk, V. Gorbanev, A. Shevchenko / 04.03.2011. (in Ukrainian).
14. Koltsova M.M. Motor activity and development of the child's brain functions. M.: “Pedagogika”, 1973. 143 p. (in Russian).
15. Vovk M.I. , Galyan Ye. B. Restoring of motor component of speech based on muscle movement control. Theoretical grounding . *Cybernetics and Computer Engineering*. 2012. Is. 167. P.51–60. (in Russian).
16. The way to treat speech disorders : pat. UA, A61N 1/36, no. 111388, 2016.(in Ukrainian).
17. Halverson H. M. The acquisition of skill in infancy. *Journal of Genetic Psychology*. 1933. Vol. 43. P. 3–48.
18. Vovk M.I. , Galyan Ye. B. Organization of Intelligent Hand Movements Control to Restore Speech. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2016. Is. 184. P.25–43. (in Russian).
19. Galyan Ye.B. Specialized software module of speech rehabilitation technology, architecture and functional interaction of its components. *Control Systems and Machines*. 2014. № 6. P. 52–58. (in Russian).
20. Vovk M.I., Peleshok S.R., Galyan Ye.B. & others *The method of assessment of motor and sensory speech disorders*. Collected papers of scientific-information center "Knowledge" based on XI International correspondence scientific-practical conference: «The development of science in the XXI century» part 3. Kharkiv: collected papers. D, 2016. pp. 70–76. (in Russian).

Получено 03.10.16