

БИОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

М.И. Вовк

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

Рассмотрены эволюция синтеза и перспективы развития биоинформационной технологии управления движениями как направления биологической и медицинской кибернетики. Основу технологии составляют биотехнические кибернетические системы, использующие для управления различные программы (модели) движения. Эволюция технологии представлена классами электронных систем: открытых (без обратных связей); адаптивных (с обратными связями); биологически адекватных, в которых использованы различные методы синтеза двигательных программ для активации резервов организма на восстановление/формирование двигательных функций адекватно их состоянию. Показано широкое применение таких систем для восстановления двигательных функций и опосредованного влияния на другие функции.

Розглянуто еволюцію синтезу й перспективи розвитку біоінформаційної технології керування рухами як напрямку біологічної та медичної кібернетики. Основу технології складають біотехнічні кібернетичні системи, які використовують для керування різні програми (моделі) руху. Еволюція технології представлена класами електронних систем: відкритих (без зворотних зв'язків); адаптивних (зі зворотними зв'язками); біологічно адекватних, у яких використані різні методи синтезу рухових програм для активації резервів організму на відновлення/формування рухових функцій адекватно їхньому стану. Показано широке застосування таких систем для відновлення рухових функцій та опосередкованого впливу на інші функції.

«Выход» центральной нервной системы
составляют главным образом моторные акты».

Р. Гранит

ВВЕДЕНИЕ

Управление движениями человека на основе электронных систем как внешних контуров управления является важным направлением биологической и медицинской кибернетики. При организации отдела биологической кибернетики под руководством Н.М. Амосова в составе Института кибернетики АН УССР наряду с другими стояла задача по разработке теории управления основными функциями и органами живых организмов, биоэлектростимуляции. В рамках этой задачи сформировалось направление — биоэлектрическое управление двигательными функциями — управление, использующее в качестве команд и сигналов обратной связи

обработанные электромиографические (ЭМГ) сигналы мышц.

Становление и развитие исследований по управлению движениями определялось не только научным интересом, но и практической необходимостью. Движение, двигательная активность — едва ли не главный фактор, который способствует формированию здорового образа жизни человека. Восстановление двигательных функций, нарушенных патологией, у взрослых и детей является важной социальной проблемой. Задача восстановления двигательной активности возникает также после пребывания человека в специальных условиях, например, невесомости, когда вследствие дефицита гравитационной нагрузки на опорно-двигательный аппарат развивается атрофия мышц. Особенно страдают движения ходьбы. Разработка новых эффективных методов и средств восстановления двигательных и других функций не перестает быть актуальной.

Цель статьи — показать эволюцию синтеза биотехнических систем управления движениями: открытых (без обратных связей), адаптивных, с контурами обратных связей, биологически адекватных — и отразить теоретические и технологические основы синтеза таких систем.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ КАК КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ

Основным фактором, который приводит к восстановлению движений, является мышечное сокращение, которое заставляет работать рецепторы в мышцах и сухожилиях и посылать афферентные импульсы к неповрежденным участкам мозга. Это единственный способ сформировать новую рефлекторную систему супраспинального контроля движений взамен утраченного или искаженного патологией. С конца 50-х — начала 60-х гг. для восстановления двигательных функций у парализованных больных стали активно использовать электростимуляцию, как способ принудительного сокращения мышц, вследствие которого к неповрежденным участкам мозга по каналам обратной связи поступает необходимая для восстановления движений афферентная информация о сокращении мышцы.

Традиционные методы стимуляции с помощью генераторов электрических импульсов с фиксированными параметрами, изменение которых в допустимых для данного стимулятора пределах производится оператором, далеко не всегда удовлетворяли задачам реабилитации больных с двигательными нарушениями. Чтобы восстановить не только силу пораженных мышц, но и утраченный двигательный навык, нужно стимулировать мышцы по определенной программе. Даже в самые простые движения вовлекаются несколько мышц, работающих в строгих временных соотношениях. Поэтому возникла необходимость в многоканальных электростимуляторах, снабженных определенной программой последовательного включения каналов и продолжительности их работы. Использование в электростимуляторах программ — моделей вовлечения мышц в выполнение заданного движения — положило начало синтезу систем управления движениями на основе программной электростимуляции мышц. Неотъемлемым структурным элементом таких систем является банк

программ, искусственно синтезированных либо естественных, основанных на обработанных ЭМГ-сигналах.

Открытые электронные системы программного управления движениями на основе биоэлектростимуляции. Важным этапом в развитии управления движениями на основе программной электростимуляции мышц был переход к электростимуляторам, в которых в качестве команд (программ электростимуляции) и сигналов обратной связи стали использовать обработанные ЭМГ-сигналы [1]. Такой способ управления движениями нашел использование в устройствах типа «Миотон» [2, 3]. (рис. 1). Сигналы, отводимые при выполнении движения от тех или иных мышц донора с помощью поверхностных кожных электродов, после определенных преобразований управляют амплитудой стимулирующих сигналов, которые затем усиливаются и подаются на идентичные мышцы реципиента.

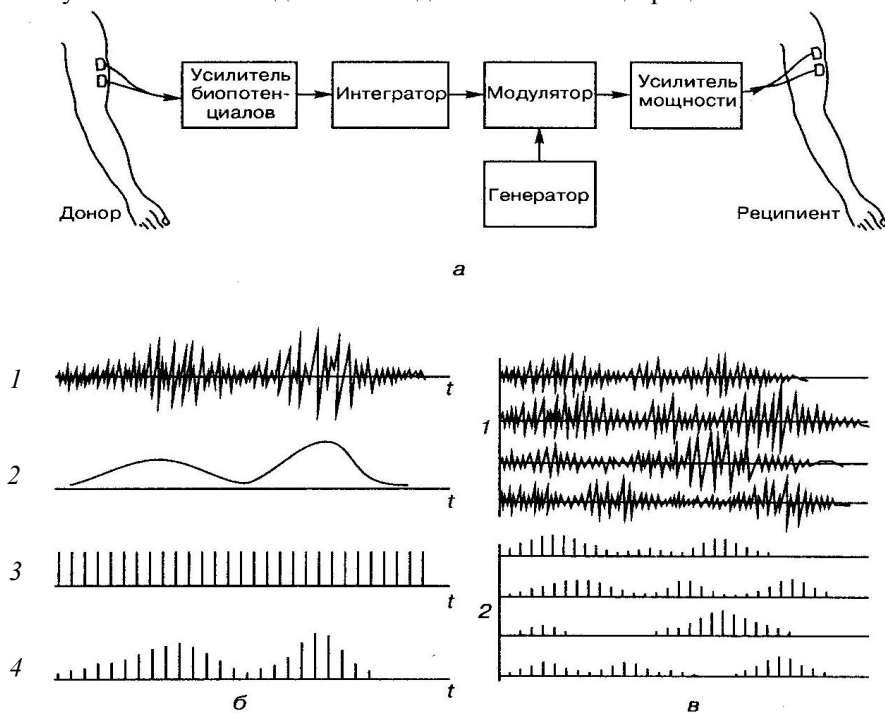


Рис. 1. Принцип действия устройства «Миотон» [3].

а — блок-схема одного канала устройства «Миотон»; *б* — эпюры сигналов в одном канале управления (1 — на выходе УБП; 2 — на выходе интегратора; 3 — на выходе генератора стимулирующих сигналов; 4 — на выходе модулятора); *в* — вариант двигательной программы (на приеме четырех каналов и на устройстве: 1 — на выходах УБП; 2 — на выходах модуляторов)

Реципиент при соответствующем подборе величины возбуждающих сигналов практически повторяет движения донора. Поскольку сигнал от донора может быть заранее записан в блоке памяти, появляется возможность многократно повторять записанный алгоритм движения или делать предварительный «монтаж» с целью тренировки определенных движений и тем самым формировать банк двигательных программ. Благодаря наличию в устройстве «Миотон» нескольких каналов и применению в них в качестве

управляющих воздействий преобразованной активности мышц, задающих программу движений, электростимуляции подвергаются сразу несколько мышц человека (реципиента), движениями которого управляют в такой последовательности, в какой они сокращаются в естественных условиях. Это позволяет навязывать реципиенту ряд основных движений и повысить эффективность реабилитации при нарушениях двигательных функций. По своей структуре и функциональным характеристикам «Миотон» можно классифицировать как разомкнутую систему непрерывного произвольного биоэлектрического управления. Роль обратной связи в ней фактически выполняет оператор.

Переход к программному управлению движениями на основе биоэлектростимуляции уже на этом этапе был связан с понятием «биоэлектрического образа движения» как модели (программы) формирования принудительных мышечных сокращений под влиянием программной электростимуляции мышц.

Системы управления движениями Миотон-2», «Миотон-комплекс», «Миотон-3М», «Миотон-604» нашли широкое применение в практике клиник и курортов бывшего Союза для восстановления двигательных функций, нарушенных при различных поражениях центральной и периферической нервной системы [3].

Электронные системы адаптивного биоэлектрического управления движениями. Введение обратных связей в электронные системы управления позволило перейти к новому классу систем, реализующих принципы адаптивного управления. В технологии синтеза обратных связей использованы результаты экспериментальных исследований по динамике изменения ключевых параметров мышцы (порог возбуждения, сила максимального сокращения), а также результаты анализа изменений ЭМГ-сигнала при утомлении мышцы.

Известно, что адаптивный подход полезен в следующих ситуациях:

- в условиях большой начальной неопределенности, когда недостаток априорной информации нужно восполнить в процессе работы системы за счет использования текущей информации;
- в системах управления объектами с дрейфующими характеристиками.

Адаптивный подход в построении систем управления двигательными функциями оправдан в силу условий, которые имеют место при управлении движениями на основе электростимуляции мышц:

- ключевые параметры идентичных мышц для различных людей и различных мышц для одного и того же человека имеют существенный разброс;
- параметры мышц претерпевают существенные изменения в процессе стимуляции и существенно отличаются при патологии.

При адаптивном управлении параметры стимулирующего сигнала автоматически подстраиваются под функциональное состояние стимулирующих мышц.

При реабилитации двигательных функций важно не столько добиваться

выполнения полного движения (особенно на начальных этапах реабилитации), сколько получить проприоцептивную афферентацию для формирования нового динамического стереотипа. При этом не следует выходить за пределы максимальных раздражений, поскольку при больших уровнях стимула в работу включаются защитные реакции организма, которые могут исказить желаемую искусственно вызванную афферентацию. Отсюда необходимость в автоматической (в зависимости от функционального состояния стимулируемых мышц) регулировке динамического диапазона стимула. Кроме того, адаптивное управление приводит к увеличению соответствия выполняемых движений заданной программе, что оказывается существенным в специальных задачах управления движениями. Технология адаптивного управления защищена патентами США, Англии, Германии Франции, Канады, Швеции, Италии, Югославии (см., например, [4]). Устройство «Миостимул», реализующее адаптивный подход, содержит две основные обратные связи, осуществляющие указанную коррекцию. Первая служит для автоматического регулирования динамического диапазона стимулирующего сигнала в зависимости от функционального состояния мышц, с целью уменьшения искажения программы движения при управлении [5], вторая — для перевода в «щадающий» режим стимуляции либо отключения стимуляции при наступлении утомления стимулируемых мышц [6]. В качестве сигнала обратной связи используется биоэлектрическая активность мышц человека, движениями которого управляют, — «вызванная электромиограмма». Основным параметром, к которому подстраивается управляющее воздействие, является порог возбуждения стимулируемых мышц [7]. Несмотря на то что электромиографическая картина не может дать полной характеристики самих движений, поскольку она отражает лишь мышечный компонент движения без учета инерционных и реактивных сил, использование «вызванной электромиограммы» обладает рядом преимуществ: не требуется дополнительных датчиков, поскольку ее сигнал удастся зарегистрировать с помощью тех же электродов, которыми производится электростимуляция; «вызванная электромиограмма», отражая степень возбуждения мышцы, характеризует не только выполняемое движение, но и функциональное состояние мышцы во время стимуляции. По структуре и техническим характеристикам «Миостимул» — замкнутая система непрерывного произвольного биоэлектрического управления двигательными функциями человека.

Электронные системы биологически адекватного управления движениями. Современный этап характеризуется синтезом информационной технологии биологически адекватного управления движениями — технологии, позволившей активировать резервы организма на восстановление двигательных функций адекватно их состоянию. Информационно-структурные модели организации, а также принципов и критериев биологически адекватного управления движениями представлены и подробно описаны в [8].

На базе обработки и преобразования электромиографических сигналов в световые и звуковые информативные сигналы развитие получила *теория «образного» (зрительного и слухового) осознания» мышечной активности*

© М.И. Вовк, 2013

ISSN 0452-9910. Кибернетика и вычисл. техника. 2013. Вып. 174

анализаторами коры головного мозга — зрительным и слуховым. В результате такого преобразования ЭМГ-сигналы, характеризующие ключевые параметры мышечной активности (сила и скорость сокращения мышц), ранее недоступные сознанию, стали доступны сознанию в виде зрительных и слуховых образов. Это позволило активировать дополнительные резервы моторной области коры на восстановление двигательных функций. Известно, что моторная область, являясь кортикальным отделом проприоцептивной сенсорной системы, одновременно оказывается местом конвергенции проекций от всех других сенсорных зон коры и как высший интегративный отдел мозга млекопитающих является «центральным аппаратом построения движений».

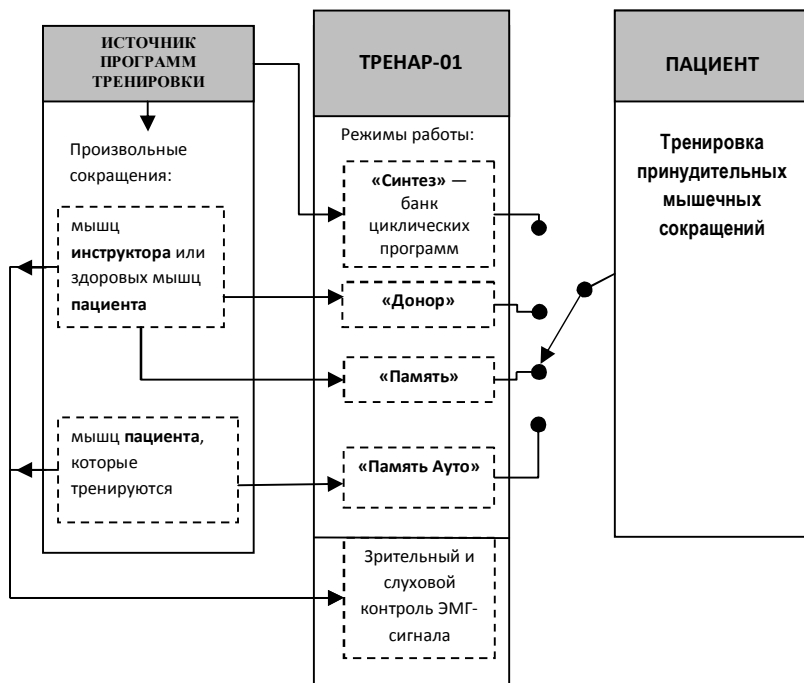


Рис. 2. Структурно-функциональная модель аппарата Тренар-01 как внешнего контура управления мышечными сокращениями пациента

Биологическая адекватность обеспечивается кластером персонально ориентированных программ тренировки принудительных и произвольных сокращений мышц. Этот подход нашел применение в новом классе электронных систем биологически адекватного управления движениями типа ТРЕНАР, представленных двумя модификациями: «Аппарат для электростимуляции с биоуправлением ТРЕНАР-01» и «Аппарат для электростимуляции с биологической обратной связью ТРЕНАР-02». Гамма функций тренировочных программ, как информационных сигналов управления в аппаратах ТРЕНАР, представлена: 1) электростимуляцией мышц по искусственно синтезированным программам в широком диапазоне программ (программы «Синтез»); 2) по программам, которые «считываются» с собственных здоровых мышц пациента или мышц другого человека (инструктора) при их произвольном сокращении и передаются тренируемому

мышцам в режиме «он-лайн» (программы «Донор»); 3) тренировкой соотношения принудительно-произвольных сокращений по методу пороговой электростимуляции (программы «Порог»); 4) тренировкой произвольных сокращений мышц по методу биологической обратной связи с использованием ЭМГ-сигнала тренируемой мышцы, преобразованного в зрительные и слуховые информационные сигналы (программа «Биотренировка»); 5) тренировкой произвольных и принудительных сокращений мышцы в режиме «запись — воспроизведение», когда записанный в памяти ЭМГ-сигнал произвольно сокращающейся мышцы воспроизводится в виде программы электростимуляции той же мышцы (программа «Память-Ауто») [9–11].

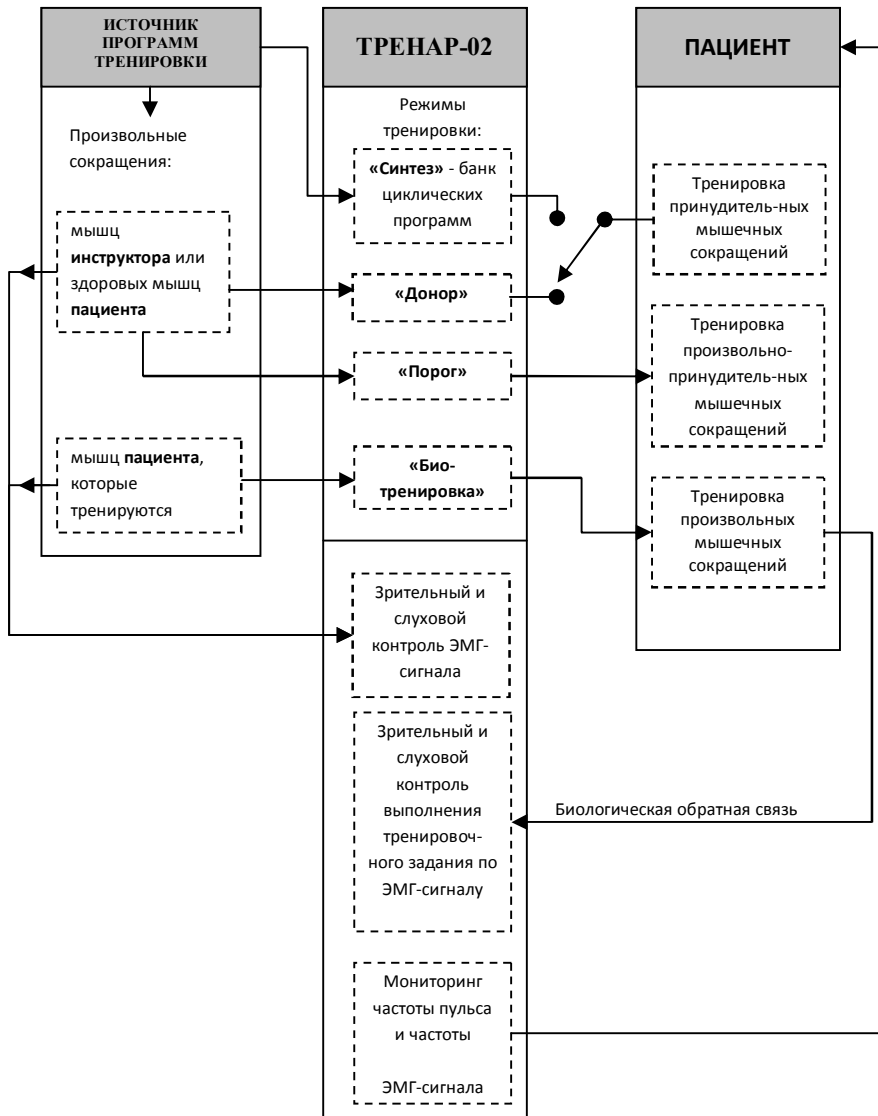


Рис. 3. Структурно-функциональная модель аппарата Тренар-02 как внешнего контура управления мышечными сокращениями пациента

Используемая в аппаратах ТРЕНАР биологическая обратная связь, зрительная и слуховая, параллельно с другими методами и как самостоятельный метод, способствует эффективности реабилитационных мероприятий, позволяя проводить *осознанный контроль тренировочного задания*.

Как внешние контуры управления движениями, аппараты ТРЕНАР имеют электрическую и информационную связь с мышцами, которые управляют (источник естественных программ тренировки), и электрическую и/или информационную связь с мышцами, которыми управляют в зависимости от программы тренировки (рис. 2, 3).

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 мобилизующий резервы организма на восстановление движений, вплоть до их полного восстановления. Электронные системы биологически адекватного управления движениями типа ТРЕНАР, «встраиваясь» в собственную систему управления движениями человека, выполняют в ней роль недостающего звена и/или дополнительного контура в регуляции движений.

«Интеллектуализация» биологически адекватного управления. Управляющие влияния можно считать интеллектуальными, если они могут гибко изменять свою структуру, режим деятельности, изменять разные виды взаимодействия (информационно-энергетические, информационные) внешней системы управления (электронные аппараты ТРЕНАР-01, ТРЕНАР-02) с разветвленной собственной системой управления движениями человека. Управляющие влияния можно считать интеллектуальными, если они могут адаптироваться к решению задач по искусственному поддержанию гомеостаза двигательной системы. Способность к адаптации — необходимое свойство интеллектуального управления. Для обеспечения адаптационных свойств необходимо, чтобы управляющее влияние имело множество связей с объектом управления и разнообразие рабочих режимов (программ) управления.

Как интеллектуальные системы, аппараты ТРЕНАР характеризуются доминированием в них функционального принципа выборной мобилизации структуры с целью получения результата — биологически адекватной активации резервов организма на восстановление двигательных функций. Такой подход совпадает с фундаментальным положением П.К. Анохина о роли результата как фактора, который образует функциональную систему [12]. Гибкая архитектура аппаратов ТРЕНАР позволяет реализовать этот принцип и организовать разные программы тренировки движений с целью получения главного результата — восстановление двигательных функций.

Итак, главная идея информационной технологии биологически адекватного восстановления двигательных функций человека состоит в комплексной активации сенсорных зон коры головного мозга — проприоцептивной, зрительной и слуховой. Для реализации идеи использованы методы: программной электростимуляции мышц, пороговой

электростимуляции и метод биологической обратной связи, зрительной и слуховой. Основу этих методов составляет «электромиографический образ» мышечного движения, несущий информацию о силе и скорости мышечного сокращения. Преобразование «электромиографических образов» в «зрительные и звуковые» образы мышечного движения позволило активировать сознание в процессе тренировки мышц и, тем самым, активировать дополнительные резервы организма на восстановление двигательных функций при патологии. При биологически адекватном управлении движениями на основе внешних контуров «электромиографический образ» мышечного сокращения выполняет ряд функций:

- детектор состояния мышечного сокращения (норма, патология);
- модель (программа) формирования принудительных мышечных сокращений;
- модель формирования тренировочного задания произвольных мышечных сокращений;
- комплексная активация сенсорных зон коры головного мозга — проприоцептивной, зрительной и слуховой.

Разработанная технология является примером нового направления в управлении физиологическими функциями — биологически адекватного управления, которое появилось на стыке нейробиологии, медицины, кибернетики, информатики.

Технология биологически адекватного управления движениями и электронные аппараты ТРЕНАР, ее реализующие, защищены рядом авторских свидетельств и патентов [13–16], переданы в промышленное производство на ГНПП «Электронмаш», г. Киев.

БИОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ — ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ МЫШЕЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Восстановление двигательных функций. Разнообразие моделей (программ) управления движениями, которые предлагает технология биологически адекватного управления дает возможность врачу организовать индивидуальный подход к лечению на каждом этапе реабилитации, начиная от тяжелых состояний двигательных функций с постепенным приближением движений к норме.

Программа «Синтез» наиболее полезна при тренировке движений на начальных этапах реабилитации, непосредственно у постели больного, при нарушении когнитивной сферы пациента. В то же время целенаправленное активное участие пациента в тренировочном процессе ведет к восстановлению реципрокных отношений, составляющих основу нормального выполнения каждого естественного двигательного акта, является мощным инструментом воспитания нового двигательного стереотипа, учитывающего индивидуальные особенности пациента. Поэтому

так важно при отсутствии нарушений когнитивной сферы на последующих этапах реабилитации использовать программы «Донор», «Порог» (при появлении у пациента малейших произвольных движений) и программы тренировки произвольных сокращений мышц («Биотренировка») по методу биологической обратной связи. Все эти программы включают дополнительные механизмы нейропластичности, которая является основой восстановления нарушенных функций движения. Особое место в реабилитации отводится программе «Донор», которая реализована в обоих аппаратах ТРЕНАР-01 и ТРЕНАР-02. Эффективность использования программы «Донор» для восстановления двигательных функций при острых нарушениях мозгового кровообращения подтверждается в том числе и зарубежными исследованиями [17].

Программы «Донор», «Порог» и «Биотренировка», предполагающие активное участие пациента в тренировке, позволяют избегать монотонных тренировок, дают возможность пациенту самостоятельно гибко перестраивать ритм и интенсивность движений, постепенно усложняя задание.

Разработанная технология и электронные аппараты ТРЕНАР, которые ее реализуют, удовлетворяют главным принципам реабилитации двигательных функций:

- раннее начало реабилитационных мероприятий;
- систематичность и продолжительность реабилитации;
- адекватность реабилитационных мероприятий;
- активное участие в реабилитации пациента.

Аппараты ТРЕНАР-01 и ТРЕНАР-02 внесены в Государственный реестр медицинской техники и изделий медицинского назначения, разрешены для использования в клинической практике на территории Украины. Прошли широкую клиническую апробацию в 14 клиниках и курортах различных регионов Украины, показавшую их эффективность использования в комплексе реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление двигательных функций при различных заболеваниях центральной и периферической нервной системы у взрослых и детей.

Тренировка координации движений. В этом случае целесообразен синтез многоканальных (не менее четырех каналов) электростимуляторов, центральным функциональным блоком которых является «банк» искусственно синтезированных программ управления стимуляцией. Структура сигнала при искусственном синтезе программ представляет собой чередование зон воздействия (сокращения мышц) и пауз (расслабление) в каждом канале. Распределение этих зон во времени по всем каналам учитывает, в некоторой степени, двигательную координацию стимулируемых мышц [18].

Чтобы получить искусственно синтезированные программы, приближающиеся к естественным, надо обеспечить свободу изменений длительностей «посылок» и «пауз» импульсов стимуляции в каждом канале многоканальной системы и свободу сочетаний различных длительностей «посылок» и «пауз» в канале и между каналами. Длительность «посылок»

импульсов определяет длительность активной фазы сокращения мышцы, а длительность «паузы» — ее пассивное расслабление. Только достаточно гибкая, легко перестраиваемая структура искусственно синтезированной двигательной программы может обеспечить сложные соотношения между моментами вовлечения стимулируемых мышц в работу, в особенности при управлении такими сложно координированными движениями, как ходьба. При восстановлении ходьбы первоочередная задача — это правильное формирование координации акта ходьбы. Лишь потом необходимо увеличивать мышечную силу. Мышечная сила должна «одеваться» на правильную координацию [19, 20].

Развитие технологии перспективно для **восстановительного лечения и профилактики дефектов осанки**, как одной из наиболее актуальных проблем современной ортопедии. Причины — повсеместное распространение компьютеров и связанное с этим уменьшение двигательной активности школьников, студентов, а также распространение новой профессии — офисный работник, которая предполагает продолжительное соблюдение сидячей рабочей позы, часто неправильной. Восстановительное лечение дефектов осанки предполагает два этапа коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника: выработку правильного стереотипа работы мышц, формирующих осанку, основанную на диагностике дефектов осанки — 1-й этап и укрепление мышечного корсета тренировкой, в том числе на базе целенаправленной программной электростимуляции соответствующих мышц — 2-й этап [21].

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ, ИМЕЮЩИХ СВЯЗЬ С ДВИГАТЕЛЬНЫМИ

Исследования структурно-функциональных взаимоотношений поджелудочной железы с другими органами желудочно-кишечного тракта, образующими гастро-гепато-панкреато-дуоденальную систему, позволили разработать подходы к **опосредованному влиянию на внешнюю секрецию поджелудочной железы** на основе комплексной программной электростимуляции двенадцатиперстной кишки и желудка [22].

Другим примером **опосредованного влияния** управления двигательными функциями является **речь**. Известно, что острые нарушения мозгового кровообращения приводят не только к нарушениям двигательных функций, но и, в 50–60 % случаев, речи. Онтогенетическая связь развития функции речи и мелкой моторики кисти, близость расположения корковой проекции кисти к моторной речевой зоне и ее величина, нейропластичность и способность к реорганизации промежуточных звеньев системы речи — все это послужило теоретическим обоснованием восстановления речи, ее моторного компонента, на базе подключения к пациенту внешнего контура целенаправленной тренировки мелкой моторики кисти [23]. Результаты клинической апробации разработанной информационной технологии целенаправленного управления движениями кисти для восстановления речи у больных острым нарушением мозгового кровообращения убедительно

подтвердили улучшение речевой функции при введении в базовый курс реабилитации тренировки движений мелкой моторики кисти.

Усиление специального тренировочного эффекта. Целенаправленное управление движениями можно использовать и в достижении специального тренировочного эффекта, например для *усиления эффекта участия* человека во время демонстрации кинофильма. С физиологической точки зрения «эффект участия», следует отнести к корковым процессам, которые находят свое объективное выражение в вегетативных реакциях и двигательных актах. Иллюзия собственного движения зрителя и связанный с ней «эффект участия» вызывается иррадиацией возбуждения со зрительного и слухового центров коры головного мозга на двигательный, вестибулярный и другие анализаторы. Однако при кинопоказе, когда отсутствуют непосредственные раздражители двигательного и других анализаторов, происходит угасание ощущения соответствующего движения вследствие ограничения зоны возбуждения. Чтобы получить двигательные ощущения и усилить «эффект участия», было использовано сочетание кинопоказа с биоэлектрическим управлением движениями человека [3].

Приведенные примеры показывают широкие возможности использования технологии управления двигательными и многими другими функциями человека на основе электронных систем как внешних контуров управления.

ВЫВОДЫ

Эволюция технологии синтеза электронных систем управления представлена классами систем:

- открытые (без обратных связей),
- адаптивные с контурами обратных связей,
- биологически адекватные, использующие различные методы для формирования двигательных программ и видов связи «внешний контур управления — собственная система управления движениями», в том числе и биологической обратной связи.

Теоретической основой синтеза систем управления движениями является обработка сложных ЭМГ-сигналов, которые характеризуют разнообразные мышечные функции человека: двигательные, в том числе сложно координированные движения, тонкую моторику кисти — динамическая работа, или функция позы — статическая работа.

Технологической основой синтеза рассмотренных систем управления является базовый метод многоканального программного биоэлектрического управления движениями, в основу которого положена электростимуляция мышц, управляемая по программам в виде обработанных электромиографических сигналов — «электромиографических образов».

Синтез обратных связей в адаптивных системах управления нацелен на решение задач по соответствию «навязанных» движений выбранной программе и на отслеживание появления утомления мышц при электростимуляции.

Синтез технологии биологически адекватного управления движениями направлен на активацию резервов организма на восстановление двигательных функций адекватно их состоянию. Теоретическую основу технологии синтеза составляет комплексная активация сенсорных зон коры головного мозга — проприоцептивной, зрительной и слуховой. Технологической основой биологически адекватного управления является использование совокупности методов: программной, пороговой электростимуляции и биологической обратной связи на базе преобразования ЭМГ-сигналов, несущих информацию о мышечном сокращении, в световые и звуковые сигналы.

Управление движениями с использованием искусственно синтезированных программ эффективно на ранних этапах реабилитации двигательных функций, при нарушениях когнитивной сферы, при обучении двигательным навыкам, для тренировки сложных движений. При отсутствии нарушений когнитивной сферы более результативными являются программы «Донор», «Порог», «Память-ауто», «Биотренировка», согласно которым пациент активно участвует в тренировочном процессе.

Рассмотренные системы управления движениями, как кибернетические, принимают, обрабатывают электромиографические сигналы, характеризующие мышечную активность человека, преобразовывают их в информативные программные сигналы для воздействия на мышечный аппарат, а биологически адекватные — дополнительно преобразовывают ЭМГ-сигналы в информативные световые и звуковые сигналы для воздействия на зрительный и слуховой анализаторы, с целью активации дополнительных резервов организма на восстановление или коррекцию двигательных функций.

Кибернетический подход к управлению движениями на основе электронных систем как внешних контуров, которые, «встраиваясь» в собственную систему управления движениями человека, выполняют в ней (в собственной системе) роль недостающего звена и/или дополнительного контура в регуляции движений, позволяет целенаправленно восстанавливать двигательные функции или опосредованно влиять на другие функции, имеющие связь с двигательными.

1. А. С. СССР Кл. 30а, 4/06b МПКА61b. Способ управления двигательными реакциями / Л. Алеев, С. Бунимович (СССР). — № 190525 ; заявл. 26.06.65 ; опубл. 29.12.1966, Бюл. №2.
Aleev L.S., Bunimovich S. The method of motor control. Inventor's certificate (Patent) of The USSR, no. 190525, 26.07.1965.
2. Алеев Л.С. Біоелектрична система «Міотон» і рухові функції людини / Л.С. Алеев // Вісн. АН УРСР. — 1969. — Вип. 4. — С. 70–80.
Aleev L.S. Bioelectrical system “Mioton” and motor functions of a person. *Bulletin of The Academy of Sciences of Ukraine*, 1969, Issue 4, pp. 70–80.
3. «Міотон» в управленні рухами / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбанев, А. Шевченко. — К. : Наукова думка, 1980. — 142 с.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. «Mioton» in motor control. Kiev: Naukova dumka, 1980. 142 p.
4. Aleev L., Bunin S., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A., Balchev F. Bioelectrically controlled electric stimulator of human muscles. United States Patent 4,165,750 Aug. 28, 1979.

5. А. С. СССР М. Кл. А61В5/04. Многоканальное устройство адаптивного биоэлектрического управления движениями человека / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбанев, А. Шевченко (СССР). — № 929 054 ; заявл. 13.12.76; опубл. 25.05.82, Бюл. № 19.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *Multichannel device for adaptive bioelectrical motor control of a person*. Inventor's certificate (Patent) of The USSR, no. 929 054, 23.05.82.
6. А. С. СССР М. Кл. А61В5/04, А61Н1/36. Многоканальное устройство адаптивного биоэлектрического управления движениями человека / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбанев, А. Шевченко (СССР). — № 976 952 ; заявл. 03.01.77; опубл. 30.11.82, Бюл. № 44.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *Multichannel device for adaptive bioelectrical motor control of a person*. Inventor's certificate (Patent) of The USSR, no. 976 952, 03.08.82.
7. А. С. СССР МПК А61В5/04. Способ управления движениями человека / Л. Алеев, С. Бунимович, М. Вовк, В. Горбанев, А. Шевченко (СССР). — № 321245 ; заявл. 22.06.70 ; опубл. 03.09.81.
Aleev L., Bunimovich S., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *The method of motor control of a person*. Inventor's certificate (Patent) of The USSR no 321 245, 03.09. 1981.
8. Інформаційні технології в біології та медицині. Курс лекцій / В. Гриценко, А. Котова, М. Вовк, С. Кіфоренко, В. Белов. — К. : Наукова думка. — 2007. — 382 с.
Gritsenko V., Kotova A., Vovk M., Kiforenko S., Belov V. *Information technology in Biology and Medicine. Lecture course*. Kiev: Naukova dumka, 2007. 382 p.
9. Вовк М.И. Биоинформационная технология управления движениями человека // Кибернетика и вычисл. 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.
10. Гриценко В.И. «Тренар» — инновационная технология восстановления движений / В. Гриценко, М. Вовк // Матеріали Міжн. наук.-практ. форуму «Наука і бізнес — основа розвитку економіки». — Дніпропетровськ, 2012. — С. 204–206.
Gritsenko V., Vovk M. “Trenar” — innovational technology of movements restoring. *Materials of the Int. scientific — practical forum “The Science and Business — a basis of development of economy”*. Dnepropetrovsk, 2012, pp. 204–206.
11. Вовк М.И. Биологическая и биотехническая системы как целенаправленные / М. Вовк, С. Кифоренко, А. Котова // УСиМ. — 2005. — № 3. — С.16–24.
Vovk M., Kiforenko S., Kotova A. *Biological and Biotechnical Systems as Purposeful Ones*. *USiM*, 2005, no. 3, pp.16–24.
12. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / Анохин П.К. — М. : Медицина. — 1975. — 447 с.
Anohin P.K. *The Sketches on Physiology of Functional Systems*. Moscow: Medicine, 1975. 447 p.
13. Спосіб керування рухами людини : пат. № 41795 : МПК (2009) А61Н1/36 / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбаньов, В. Іванов, А. Шевченко (Україна) ; заявник і власник МННЦІТС. — № U 2008 14822; заявл. 23.12.2008; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *The method of Motor Control of a Person*. Patent no. 41 795, Ukraine, 10.06.2009.
14. Электростимулятор : пат. № 32376 : МПК (2006) А61Н1/36 / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбаньов, А. Шевченко (Україна) ; Заявник і власник МННЦІТС. — № U 2008 00632 ; заявл. 18.01.2008 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *Electrical stimulator*. Patent no. 32376, Ukraine, 12.05.2008.
15. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 26 836, Україна. Апарат для електростимуляції з біокеруванням ТРЕНАР-01. Методика використання. / М. Вовк, В. Іванов, А. Шевченко. — заявл. 05.09.2008 № 26840.

- Vovk M., Ivanov V., Shevchenko A. The Device for Electrical Stimulation with Biocontrol TRENAR-01. *The Technique for Using. The Inventor's Certificate on author's product right.* Patent no. 26 836, Ukraine, 09.12.2008.
16. Апарат для електростимуляції з біологічним зворотним зв'язком ТРЕНАР-02. Методика використання: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 37243, Україна від 04.03.2011. / М. Вовк, В. Горбаньов, А. Шевченко. — заявл. 04.01.2011 № 37469.
Vovk M., Gorbanev V., Shevchenko A. *The Device for Electrical Stimulation with Biocontrol TRENAR-01. The Technique for Using.* The Inventor's Certificate on author's product right, no. 37243, Ukraine, 04.03.2011.
 17. P. Hunter Peckham, Kilgore K. L. Challenges and Opportunities in Restoring Function after Paralysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 2013, vol. 60, no. 3, pp. 602–609.
 18. Жаровский С.Н. Получение однотипных двигательных актов методом стимуляции нервно-мышечного аппарата / С. Жаровский, С. Бунин, В. Иванов // Кибернетика и вычисл. техника. — 1977. — Вып. 3. — С. 81–84.
Zharovskiy S., Bunin S., Ivanov V. Preparation of single-type motor acts by stimulating the neuromuscular system. *Cybernetics and Computer Engineering*, 1977, Issue 3, pp. 81–84.
 19. Синтез двигательных программ в системах управления движениями, основанных на электростимуляции мышц / Л. Алеев, М. Вовк, В. Горбанев, В. Иванов, А. Шевченко // Мед. информатика и проблемы мат. моделирования : Сборник науч. трудов ИК им. В.М. Глушкова НАН Украины. — Киев. — 1991. — С. 4–8.
Aleev L., Vovk M., Gorbanev V., Ivanov V., Shevchenko A. Synthesis of motor programs in the motion control systems based on muscle electrical stimulation. Medical informatics and problems of mathematical modelling: *Proc. of the Glushkov Institute of Cybernetics NAS of Ukraine*, Kiev, 1991, pp. 4–8.
 20. Горбаньов В.М. Електронний модуль синтезу програм керування рухами ходьби / В. Горбаньов, А. Шевченко // Матеріали щорічної наук.-техн. школи-семінару «Біологічна і медична інформатика та кібернетика — 2011». — Київ, 2011. — С. 59–60.
Gorbanev V., Shevchenko A. Electronic module of programs synthesis for movement control of walking. *Proc. of the Annual scientific-technical school-seminar "Biological and Medical Informatics and Cybernetics — 2011"*. Kyiv, 2011, pp. 59–60.
 21. Вовк М.И. Информационная технология диагностики и коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника / М. Вовк, Е. Гальян, В. Иванов // Кибернетика и вычислительная техника — 2012. — Вып. 170. — С. 41–51.
Vovk M., Galian E., Ivanov V. Information technology for diagnostics and correction of vertical orientation of a backbone damage. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2012, Issue 170, pp. 41–51.
 22. Вовк М.И. Некоторые подходы к управлению функциями желудочно-кишечного тракта на основе электростимуляции / М.И. Вовк // Мед. информатика и проблемы мат. моделирования : Сборник научн. трудов ИК им. В.М. Глушкова НАН Украины. — Киев, 1991 — С. 12–16.
Vovk M.I. Some approaches to gastrointestinal tract functions control on the basis of electrical stimulation. *Medical informatics and problems of mathematical modelling. Proceedings of the Glushkov Institute of Cybernetics NAS of Ukraine*. Kiev, 1991, pp. 12–16.
 23. Вовк М.И. Восстановление моторного компонента речи на базе управления мышечными движениями. Теоретическое обоснование / М. Вовк, Е. Гальян // Кибернетика и вычисл. техника. — 2012. — Вып.167. — С. 51–60.
Vovk M., Galyan Ye. Restoring of motor component of speech based on muscle movement control. Theoretical grounding. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2012, Issue 167, pp. 51–60.

Получено 30.10.2013