

Интеллектуальное управление и системы

УДК 002.53:004.89

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ КИСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧИ

М.И. Вовк, Е.Б. Галян

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

Представлена информационно-структурная и структурно-функциональная модели организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи у пациентов после инсульта с двигательными нарушениями по типу гемипареза и нарушениями речи по типу моторной или моторно-сенсорной афазии. Особое внимание уделено организации персонально ориентированного «маршрута» восстановительного лечения. Описан метод определения персональной комбинации параметров тренировки кисти и пальцев на основе продукционного подхода. Представлена программная реализация метода в виде редуцированной экспертной системы.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, адаптивное управление, гомеостаз, организация, моторика кисти, восстановление речи, моделирование, компьютерный комплекс, электронные аппараты, информационный компонент, продукционный подход, редуцированная экспертная система.

Представлено інформаційно-структурну та структурно-функціональну моделі організації інтелектуального керування рухами тонкої моторики кисті для відновлення мовлення у хворих з руховими порушеннями за типом геміпарезу й порушеннями мовлення за типом моторної або моторно-сенсорної афазії. Особливу увагу приділено організації персонально орієнтованого «маршруту» відновного лікування. Описано метод визначення персональної комбінації параметрів тренування кисті та пальців на основі продукційного підходу. Представлено програмну реалізацію методу у вигляді редукованої експертної системи.

Ключові слова: інтелектуальне керування, адаптивне керування, гомеостаз, організація, моторика кисті, відновлення мовлення, моделювання, комп'ютерний комплекс, електронні апарати, інформаційний компонент, продукційний підхід, редукована експертна система

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальное управление — это функция организованных систем различной природы, ситуационно адаптирующихся для обеспечения или коррекции структуры поддержания режима деятельности, реализации их программ посредством накопления, преобразования и передачи информации.

Применительно к биологическим системам различной сложности базисными общебиологическими показателями поддержания постоянства структурно-функциональной организации физиологической системы, независимого постоянства ее параметров и выполнения системной функции являются адаптация и гомеостаз [1]. Постоянство внутренней среды организма есть необходимое условие его независимого существования. Понятие «гомеостаз» является основополагающей посылкой для понятий нормы и здоровья, а также определения таких категорий, как самоорганизация, саморегуляция, самоуправление, адаптация, устойчивость и др. Современное понимание гомеостаза включает как саморегулируемое состояние, так и регулирующие механизмы, поддерживающие это состояние.

В приложении к моторной функции идеи гомеостаза прослеживаются в индивидуальной стандартности биомеханического рисунка таких двигательных навыков, как ходьба, бег, почерк, речь и множества других. Функциональное назначение механизмов гомеостаза, организующих и реализующих протекание двигательных актов, заключается в обеспечении надежности, устойчивости и адаптивности работы системы управления движениями, имеющей уникальное значение для жизнедеятельности организмов, направленная во вне активность которых — их высшая нервная деятельность — носит такой же регуляторный, т.е. гомеостатический, характер [2].

Постановка задачи

Представления о гомеостазе необходимо учитывать при синтезе биотехнических систем, программно-аппаратных комплексов управления функциональным состоянием физиологических систем, как внешних контуров формирования, поддержания или восстановления гомеостаза функционирования физиологической системы, нарушенного патологией.

Идеи гомеостаза двигательной системы, его индивидуальности и индивидуальности нарушения при двигательной патологии, идеи индивидуальной мобилизации внутренних резервов организма на восстановление двигательных функций при помощи управляющих воздействий легли в основу разработки биоинформационной, биологически адекватной, персонально ориентированной технологии управления, тренировки и восстановительного лечения двигательных функций на базе внешнего контура управления — программно-аппаратного комплекса ТРЕНАР. Адекватность как индивидуальный критерий оптимальности формирования движений и мобилизации резервов на разных этапах реабилитации исходит из понятия гомеостаза двигательной системы. [3, 4].

Речевые движения являются одним из видов произвольных движений. Анализ механизмов нейропластичности коры головного мозга и путей ее активации при восстановлении функций движения и речи [5, 6], близкая локализация представительства кисти и центров речи в коре головного мозга, их тесная филогенетическая связь, учет такого фактора, как величина проекции кисти в коре головного мозга, которая занимает около трети всей

двигательной проекции, а также принимая во внимание то, что 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 — все это послужило основой для разработки метода, технологии и персонально ориентированной биотехнической системы восстановления моторики речи на базе подключения к пациенту внешнего контура управления мышечными движениями кисти [7]. Главным звеном внешнего контура является программно-аппаратный комплекс ТРЕНАР, целенаправленно формирующий движения кисти [8, 9].

Комплекс ТРЕНАР предоставляет возможность осуществлять управление движениями и их тренировку по разнообразным методам и программам, организовывать разные виды взаимодействия (информационно-энергетические, информационные) внешней системы управления с разветвленной собственной системой управления движениями человека, адаптировать управляющие влияния к решению задач по искусственному поддержанию гомеостаза двигательной системы в зависимости от состояния двигательных функций и этапа реабилитации пациента. Гамма функций комплекса ТРЕНАР дает возможность реализовать один из главных принципов интеллектуального управления — единство цели ситуационного управления, направленной на формирование/тренировку движения пациента адекватно персонального состояния двигательных функций, и конечной цели, направленной на восстановление двигательных функций.

Вышеизложенное дает основу для организации интеллектуального управления движениями кисти для восстановления речи на базе аппаратного комплекса ТРЕНАР. Главная конечная цель реабилитационного процесса — восстановление моторики речи, — неразрывно связана с мобилизацией резервов организма на восстановление движений кисти при помощи персонально ориентированной, адекватной состоянию двигательных функций, тренировки.

Цель — разработать информационно-структурную и структурно-функциональную модели организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи с учетом специфики объекта управления: моторика кисти — моторика речи.

Выполнение поставленной цели включало решение следующих задач:

— определить этапы организации персонально ориентированного управления движениями кисти для восстановления речи;

— разработать метод определения параметров персонально ориентированного плана реабилитационного курса тренировки движений тонкой моторики кисти для восстановления речи для организации оптимального «маршрута» лечения на основе алгоритма, критериев и набора решающих правил и программно реализовать определение параметров реабилитационного курса;

— разработать компьютерный персонально ориентированный программно-аппаратный комплекс интеллектуального управления / тренировки тонкой моторики кисти, движения которой опосредованно

вливают на восстановление речи у пациентов после инсульта с двигательными нарушениями по типу гемипареза и нарушениями речи по типу моторной или моторно-сенсорной афазии.

Методы

Для решения поставленных задач применялись следующие методы: для синтеза моделей организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления моторики речи — информационно-структурное и структурно-функциональное моделирование; для синтаксического представления продукций, описывающих критерии и решающие правила определения персонально ориентированных параметров реабилитационного курса — язык исчисления предикатов первого порядка; для детализации особенностей программной реализации метода определения параметров персонально ориентированного плана реабилитационного курса — унифицированный язык моделирования (Unified Modeling Language — UML).

Результаты

Структура и особенности организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи. Структурированное представление проблемы управления движениями кисти для восстановления моторики речи как особого, специфического вида биологически адекватного управления движениями, одним из основных принципов которого является единство ситуационной и конечной цели управления [3, 10], позволило выделить три основных этапа организации такого управления (рис. 1):

1. Формулировка цели (конечной и ситуационной) и выбор метода управления, выделение и характеристика объекта управления;
2. Уточнение метода выбор сигналов, координат, топологии и регламента управления, обеспечивающих адекватную оптимальность управляющего воздействия в зависимости от текущего функционального состояния объекта управления;
3. Оптимизация «маршрута» лечения: обеспечение персонально ориентированного подхода при планировании и проведении тренировок движений тонкой моторики кисти пациента через предоставление справочно-консультационной помощи врачу.

Первый и второй этапы организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти описаны в работе [9]. Отметим их особенности. Конечная цель управления — восстановление моторного компонента речи наряду с восстановлением нарушенных или утраченных движений тонкой моторики кисти, — достигается за счёт выполнения ситуационной цели управления: формирования движений кисти и пальцев у инсультных больных с нарушением двигательных и речевых функций.

Специфика конечной цели управления, её двойственность, определяет двойственность структуры объекта управления. Контур биологической системы, в функционирование которой встраивается биотехническая система (БТС), реализуя гомеостазис относительно конечной цели — контур управления моторным компонентом речи на уровне центра Брока. Вмешательство осуществляется опосредовано, через контур управления движениями тонкой моторики пораженной кисти.



Рис. 1. Информационно-структурная модель организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи

На втором этапе для реализации ситуационного управления движениями кисти и пальцев из набора методов и программ выбираются метод программной электростимуляции (искусственно синтезированная программа или программа, «считываемая» со здоровых мышц пациента), пороговой

электростимуляции или метод биологической обратной связи (БОС) по электромиограмме [4] (рис. 2).

Это позволяет оптимально запускать и стимулировать резервы внутренних регуляторных систем организма посредством комбинированной работы внутренних механизмов и управляющих воздействий [3].



Рис. 2. Организация ситуационного управления: выбор метода и программы в зависимости от функционального состояния пораженной кисти пациента и ситуационной цели управления цели

Выбор координат и топологии управления подчинен составной структуре объекта управления. Движения кисти и пальцев выбраны согласно функциональным этапам становления движений мелкой моторики кисти в онтогенезе [11], с учетом особенностей патологии двигательной функции при острых нарушениях мозгового кровообращения, а также доступности двигательных точек мышц при электростимуляции с использованием поверхностных электродов. Это позволило сформировать набор движений тонкой моторики, отражающий как онтогенетические особенности развития движений кисти для обеспечения биологически адекватного воздействия на контур управления моторным компонентом речи, так и функциональное состояние поврежденной кисти пациента. Рассмотрено порядка 40-а различных движений тонкой моторики кисти. Из них по критерию «доступность для формирования» отобрано семь движений, из которых, в свою очередь, выбраны четыре движения, не вызывающие / не усугубляющие спастические процессы в пораженной руке (рис. 3).



Рис. 3. Выбор формируемых движений тонкой моторики кисти

Регламент управления (продолжительность тренировки одного движения) определяется согласно принципу «щадящего управления» (минимизация утомления, особенности пациента к восприятию управляющих сигналов) и зависит от текущего неврологического статуса пациента.

Таким образом, выполнение двух этапов организации интеллектуального управления позволило определить следующие параметры: набор движений тонкой моторики, методы, программы и регламент управления. Поливариантность комбинаций данных параметров позволяет более точно подстраивать структуру БТС управления в соответствии с текущим функциональным состоянием объекта управления, однако усложняет процесс принятия решения врачом при планировании и проведении реабилитационных мероприятий по предложенной модели. С одной стороны, необходимо выбрать тот набор движений тонкой моторики, программ и регламента тренировки, который отвечает текущему неврологическому статусу пациента. С другой стороны, сам неврологический статус представляет собой набор из более чем десяти показателей и может содержать разнообразные сочетания их значений. Третий этап организации интеллектуального управления движениями кисти для восстановления речи потребовал разработки специального инструмента, предоставляющего врачу биологически и медицински верифицированную информацию относительно персонально ориентированного «маршрута» лечения.

Персонально ориентированный «маршрут» лечебных мероприятий по восстановлению речи. Для разработки метода определения параметров персонально ориентированного плана реабилитационного курса восстановления речи в первую очередь необходимо выбрать модель

представления знаний. Совместно с врачами-неврологами были выделены информативные показатели неврологического статуса пациента, от значения которых зависит выбор параметров плана (табл. 1) [9]. Поскольку каждый выбранный показатель неврологического статуса имеет свойство однозначного определения, может быть применён продукционный подход к описанию причинно-следственных связей в виде множества продукций типа $A \Rightarrow B$, где A — совокупность условий (значений информативных показателей), приводящие к выводу B (индивидуальный персонально ориентированный набор параметров реабилитационного курса тренировок движений кисти и пальцев для восстановления речи). Качественное содержание продукций подчинено следующим требованиям: условия возможности применения продукций должны быть реальными и непротиворечивыми, т.е. все продукции когда-нибудь срабатывают; любая ситуация в данной области принятия решения описывается конечным набором продукций — системой решающих правил [12]. Продукционная модель знаний обладает рядом преимуществ: простота добавления, модификации и аннулирования знаний вследствие модульности их представления; наглядность отражения знаний и легкость объяснения принятых решений. Ограничением применения является наличие более 100 продукций, что осложняет проверку непротиворечивости системы продукций [13]. Синтаксическое представление продукций описывается с помощью языка исчисления предикатов первого порядка [14].

Таблица 1.

Информативные показатели текущего неврологического статуса пациента

Название показателя неврологического статуса пациента	Обозначение	Набор возможных значений показателя / обозначение
Наличие имплантированного электрокардиостимулятора	X_0	Да / x_{01} Нет / x_{02}
Эмоционально-волевая сфера	X_1	1. Норма / x_{11} 2. Эмоциональная лабильность / x_{12} 3. Выраженная эмоциональная лабильность / x_{13} 4. Эмоциональная угнетенность / x_{14} 5. Признаки депрессии / x_{15}
Сенсорная афазия	X_2	Да / x_{21} Нет / x_{22}
Мышечная сила в пораженной конечности	X_3	Оценка уровня согласно шкале L. McPeak (1996) и М. Вейсс (1986) 0 / x_{31} 1 / x_{32} 2 / x_{33} 3 / x_{34} 4 / x_{35} 5 / x_{36}
Тонус мышц в поврежденной конечности	X_4	Оценка глубины патологии согласно модифицированной шкале Ашворта 0 / x_{41} 1 / x_{42} 1+ / x_{43} 2 / x_{44} 3 / x_{45} 4 / x_{46}
Наличие определенных сопутствующих заболеваний (диабет, мерцательная аритмия в стадии компенсации)	X_5	Да / x_{51} Нет / x_{52}
Наличие повышенной чувствительности к электростимуляции	X_6	Да / x_{61} Нет / x_{62}

Массив информативных показателей текущего неврологического статуса пациента X_0, X_1, \dots, X_6 формируется врачом во время осмотра пациента. Каждый показатель X_n имеет массив возможных значений $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$, где n — порядковый номер элемента массива показателей текущего состояния пациента, m — количество элементов в массиве значений, т.е. $X_n \{x_{nm}\}$ — значение m показателя n (табл. 1). Далее врач определяет, нет ли противопоказаний к проведению курса реабилитации. Кроме известных противопоказаний к проведению процедур тренировки движений с применением электростимуляции, врачами-экспертами выделены условия, при которых восстановительное лечение моторного компонента речи по предложенной технологии невозможно или ограничено. К таким условиям относятся выраженный гипертонус пораженной конечности и наличие электрокардиостимулятора. Выраженность гипертонуса (спастического процесса) оценивается в баллах согласно модифицированной шкале Ашворта [15]. Если степень выраженности спастического процесса превышает три балла, формирование произвольных и принудительных движений невозможно. Обозначим критерий запрета проведения процедур $S \{s_1\}$, где s_1 — противопоказание по формированию движений:

$$X_0 \wedge X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge (X_4 \{x_{45}\} \vee X_4 \{x_{46}\}) \wedge X_5 \wedge X_6 \Rightarrow S \{s_1\}. \quad (1)$$

Наличие у пациента электрокардиостимулятора также является критерием запрета проведения процедур с применением метода электростимуляции. Однако разработанная модель организации интеллектуального управления тонкой моторикой кисти предполагает использование метода БОС по ЭМГ без применения электростимуляции. При этом должны быть выполнены следующие условия:

— отсутствие у пациента нарушений когнитивной и эмоционально-волевой сфер;

— мышечная сила в пораженной конечности не ниже четырех баллов по шкале L. McPeak (1996) и M. Вейсс (1986) [15];

— тонус мышц в норме.

Если условия не выполнены, то тренировка недопустима. Критерий запрета проведения процедур $S \{s_2\}$ (s_2 — противопоказание по использованию электростимуляции) описывается следующим образом:

$$X_0 \{x_{01}\} \wedge \left(\begin{array}{l} (X_1 \{x_{13}\} \vee X_1 \{x_{14}\} \vee X_1 \{x_{15}\}) \vee X_2 \{x_{21}\} \vee \\ \vee (X_3 \{x_{31}\} \vee X_3 \{x_{32}\} \vee X_3 \{x_{33}\} \vee X_3 \{x_{34}\}) \vee \\ \vee (X_4 \{x_{43}\} \vee X_4 \{x_{44}\}) \end{array} \right) \wedge X_5 \wedge X_6 \Rightarrow S \{s_2\}. \quad (2)$$

Определение критериев (1) и (2) позволяет сформировать решающее правило запрета проведения реабилитационного курса C_0 :

$$S \{s_1\} \vee S \{s_2\} \Rightarrow C_0. \quad (3)$$

Если решающее правило (3) выполняется, дальнейший анализ данных не происходит. В случае же отсутствия запрета на проведение процедур, врач переходит к определению параметров курса реабилитации. Обозначим

регламент тренировки $A \{a_n\}$, где a_n — набор значений длительности тренировки одного движения в минутах для первого, второго и последующих сеансов. Так как присутствует корреляция между движением тонкой моторики кисти и программой тренировки, согласно которой она происходит, их выбор целесообразно проводить одновременно. Для этого обозначим комбинации «движение тонкой моторики кисти — программа тренировки» $B(d_i f_j)$, где d_i — тренируемое движение, а f_j — программа тренировки. Из 25-ти возможных комбинаций по критерию «доступность съёма и подведения информационно-энергетических управляющих сигналов» выбраны 17 (табл. 2).

Таблица 2.

Комбинации движений тонкой моторики и программ тренировки, которые обеспечивает комплекс Тренар

Тренируемое движение	Программа тренировки		Обозначение
	Тренар-01	Тренар-02	
Отведение пальцев от средней линии	Синтез	Пр1, Пр 2	B(d2,f1)
Разгибание кисти + отведение пальцев от средней линии	Синтез	Пр 2	B(d3,f2)
Разгибание кисти	Синтез	Пр1, Пр2	B(d1,f1)
	Донор	Донор-реципиент	B(d1,f3)
	Донор	Порог	B(d1,f4)
	Донор	Биотренировка	B(d1,f5)
Приведение большого пальца и мизинца	-	Биотренировка	B(d1,f6)
	Синтез	Пр1, Пр2	B(d4,f1)
	Донор	Донор-реципиент	B(d4,f3)
	Донор	Порог	B(d4,f4)
	Донор	Биотренировка	B(d4,f5)
Противопоставление большого пальца	-	Биотренировка	B(d4,f6)
	Синтез	Пр1, Пр2	B(d5,f1)
	Донор	Донор-реципиент	B(d5,f3)
	Донор	Порог	B(d5,f4)
	Донор	Биотренировка	B(d5,f5)
	-	Биотренировка	B(d5,f6)

Выбор индивидуальной комбинации параметров реабилитационного курса осуществляется с помощью разработанного набора решающих правил ($C_1 - C_{16}$), описывающих 16 возможных вариантов плана реабилитационного курса [6].

Приведём пример выполнения условий решающего правила для плана реабилитационного курса, например, C_7 :

$$A\{a_1\} \wedge R_2 \wedge R_8 \Rightarrow C_7, \quad (4)$$

где R_2 — набор комбинаций «движение — программа тренировки», который является обязательным для любого варианта плана тренировок с применением методов электростимуляции; R_8 — набор комбинаций, оптимальный для текущего неврологического статуса пациента; $A\{a_1\}$ —

длительность процедуры тренировки одного движения: первый сеанс — 10 минут, второй сеанс — 15 минут, третий и последующие сеансы — 20 минут.

Критерии выполнения данного решающего правила описываются следующим образом:

$$X_0 \wedge ((X_1\{x_{11}\} \vee X_1\{x_{12}\} \vee X_1\{x_{14}\} \vee X_1\{x_{15}\}) \vee X_5\{x_{52}\} \vee X_6\{x_{62}\}) \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \Rightarrow A\{a_1\}, \quad (5)$$

$$X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge X_5 \wedge X_6 \Rightarrow B(d_1, f_1) \wedge B(d_2, f_1) \wedge B(d_3, f_2) \Rightarrow R_2, \quad (6)$$

$$(X_1\{x_{11}\} \vee X_1\{x_{12}\} \vee X_1\{x_{13}\}) \wedge X_2\{x_{22}\} \wedge X_3\{x_{34}\} \wedge (X_4\{x_{43}\} \vee X_4\{x_{44}\}) \wedge X_5 \wedge X_6 \Rightarrow B(d_1, f_4) \Rightarrow R_8. \quad (7)$$

Из выражений (5–7) видно, что для проверки выполнения решающего правила того или иного варианта плана реабилитационного курса, например, решающего правила (4), необходимо проанализировать значения всех введенных информативных показателей (X_0, X_1, \dots, X_6). Однако при наличии у пациента кардиостимулятора и вместе с тем, отсутствия запрета на проведение процедур, такой анализ проводить не целесообразно, поскольку в этом случае существует единственный возможный набор комбинаций «движение-программа». Запишем решающие правила для такого варианта:

$$A\{a_1\} \wedge R_1 \Rightarrow C_1 \quad (8)$$

или

$$A\{a_2\} \wedge R_1 \Rightarrow C_2, \quad (9)$$

где $A\{a_2\}$ — длительность процедуры тренировки одного движения: первый сеанс — семь минут, второй сеанс — 10 минут, третий и последующие сеансы — 15 минут; $A\{a_1\}$ — см. (4) и (5);

R_1 — набор комбинаций «движение — программа тренировки» при тренировке исключительно по методу БОС.

Продукции, определяющие критерии $A\{a_2\}$ и R_1 :

$$X_0 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge (X_1\{x_{13}\} \vee X_5\{x_{51}\} \vee X_6\{x_{61}\}) \Rightarrow A\{a_2\}, \quad (10)$$

$$X_0\{x_{01}\} \wedge \bar{C}_0 \Rightarrow B(d_1, f_6) \wedge B(d_4, f_6) \wedge B(d_5, f_6) \Rightarrow R_1. \quad (11)$$

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.

Для программной реализации аналитических выражений (1–11) и других, описывающих разработанные критерии и решающие правила, разработаны в нотации UML диаграммы деятельности, описывающие реализацию алгоритма принятия решений врача при планировании реабилитационных мероприятий. На основе диаграмм синтезирован специализированный программный модуль, представляющий собой редуцированную экспертную систему продукционного типа прямого вывода. Язык программирования – C# (рис. 4).

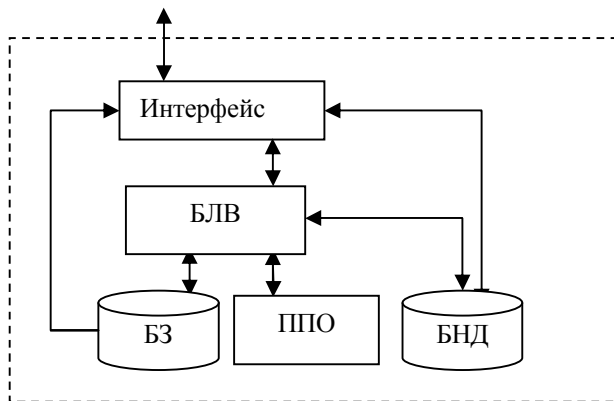


Рис. 4. Структурно-функциональная модель специализированного программного модуля — информационного компонента технологии восстановления речи

Графический интерфейс пользователя (Интерфейс) обеспечивает взаимодействие оператора с информационным компонентом: диалоговый режим работы, доступ к справочной информации, возможность ввода данных текущего состояния пациента для дальнейшего их анализа, вывод на печать рекомендованного и фактического плана реабилитации, результатов восстановительного лечения и другой информации. Подсистема поддержки принятия решений (ППР) состоит из: блока прикладного программного обеспечения (ППО), реализующего программно аналитические выражения разработанного метода определения персональных параметров реабилитационного курса; блока логического вывода (БЛВ), где происходит сопоставление введенных данных и знаний из базы знаний по разработанному алгоритму, и формирование решения; базы знаний (БЗ), где содержится банк решенных задач и информация справочного характера по методам, средствам, координатам и топологии управления движениями кисти и пальцев по предложенной модели управления в виде электронного справочника, реализованного с применением мультимедийных технологий. По требованию оператора предоставляется информация о технологии, ее составных частях: функционирование аппаратно - программного комплекса ТРЕНАР по различным программам управления движениями, виды движений тонкой моторики кисти, топология подведения управляющих сигналов к мышцам и др. Блок накопления данных (БНД) содержит: паспортно-статистические данные пациентов, параметры персонально ориентированных планов реабилитации, результаты лечения и предоставляет оператору

инструментарий для ведения протокола лечебных мероприятий, хранения клинической информации, ее обработки и анализа.

Рассмотрим подробно алгоритм функционирования подсистемы поддержки принятия решений специализированного программного модуля. На первом этапе выполнения алгоритма учитываются стандартные и специфические противопоказания к проведению процедур (рис. 5). Только после подтверждения оператором отсутствия стандартных противопоказаний к проведению электростимуляции, допускается ввод данных текущего неврологического статуса, на основании которого выполняется процедура проверки отсутствия специфических противопоказаний.

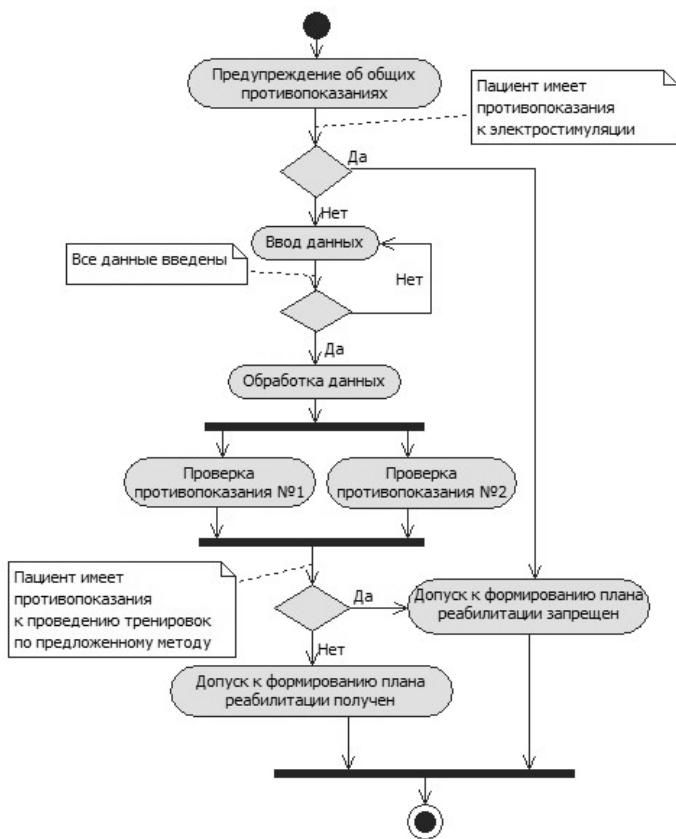


Рис. 5. Диаграмма деятельности сценария «Определение отсутствия противопоказаний к проведению процедур»

Если специфические противопоказания не выявлены, запускается сценарий «Определение персонально ориентированных параметров реабилитационного курса восстановления речи» (рис. 6). В данном сценарии на этапе определения индивидуальных комбинаций «движение тонкой моторики — программа тренировки» данные анализируются сначала по критерию «наличие кардиостимулятора», а затем, если необходимо, по всем остальным критериям. По окончании выполнения сценария отображается

окно с рекомендованными оператору параметрами реабилитационного курса с гиперссылками на соответствующие модули электронного справочника.

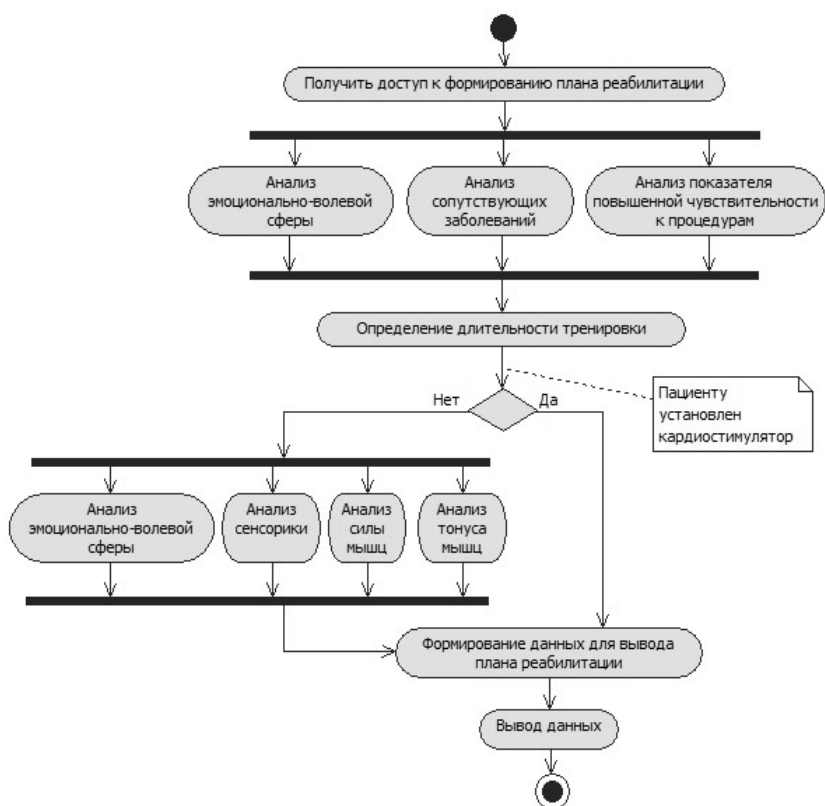


Рис. 6 Диаграмма деятельности сценария «Определение персонально ориентированных параметров реабилитационного курса восстановления речи»

Разработанный специализированный программный модуль, реализованный в архитектуре ПК, обеспечивает организацию справочно-консультационной помощи при планировании и проведении мероприятий по восстановлению речи.

Структурно-функциональная модель организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи на базе компьютерного программно-аппаратного комплекса (рис. 7).

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. Для объективизации диагностики степени выраженности дефекта речи и возможности выявления эффективности реабилитационных мероприятий даже в пределах небольшой положительной динамики разработана методика количественной экспресс-оценки моторных и сенсорных нарушений речи у инсультных больных [16].



Рис. 7 Структурно-функциональная модель организации интеллектуального управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи на базе компьютерного программно-аппаратного комплекса

Техническая подсистема ПАК состоит из двух элементов: электронные аппараты управления движениями типа ТРЕНАР и персональный компьютер с программно реализованным информационным компонентом.

Выводы

Рассмотренная организация управления движениями тонкой моторики кисти для восстановления речи у больных с двигательными нарушениями по типу гемипареза и нарушениями речи по типу моторной или моторно-сенсорной афазии является примером организации интеллектуального управления восстановлением патологически измененной функции, в данном случае речи, на базе внешнего контура управления движениями кисти. Таким внешним контуром является компьютерный персонально ориентированный программно-аппаратный комплекс управления / тренировки тонкой моторики

кисти, восстановление движений которой опосредованно влияет на восстановление речи.

Целенаправленное управление движениями кисти для восстановления речи можно отнести к интеллектуальному, поскольку оно подчинено базовым показателям интеллектуального управления. Такими показателями являются:

Единство ситуационной и конечной цели управления. Конечная цель управления — это и восстановление движений кисти, и восстановление моторного компонента речи. Ситуационная цель управления зависит от неврологического статуса пациента, состояния его двигательных функций и определяет индивидуальный план реабилитационного курса: метод, программу, параметры и регламент тренировки движений кисти;

Организация управления на основе знаний. Рекомендуемый индивидуальный план реабилитационного курса формируется **на основе знаний о технологии восстановления речи:** функционировании аппаратно-программного комплекса ТРЕНАР во всем разнообразии предоставляемых методов, программ и параметров сигналов управления; **на основе знаний, отражающих онтогенетические особенности развития движений кисти** для обеспечения эволюционно-адекватного воздействия на контур управления моторным компонентом речи через контур управления тонкой моторикой кисти; **на основе знаний о топологии подведения управляющих сигналов к мышцам** для реализации движений, отобранных по критерию «доступности формирования»; **на основе знаний о динамике изменения глубины патологии двигательных функций кисти и моторики речи.**

Функцию преобразования приведенных выше знаний и передачи оператору информации относительно рекомендуемых ситуационно адаптированных параметров индивидуального реабилитационного курса управления движениями кисти для восстановления речи выполняет специализированный программный модуль, реализованный в архитектуре компьютера. Такой модуль является информационным компонентом технической системы программно-аппаратного компьютерного комплекса персонально ориентированного управления движениями кисти для восстановления речи.

1. Нефедов В.П., Ясайтис А.А., Новосельцев В.Н. Гомеостаз на различных уровнях организации биосистем — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. — 1991. — 232 с.
2. Романов С.П. Нейрофизиологические механизмы гомеостаза двигательных функций: дис. д-ра биол.наук: 03.00.13. — Л., — 1989. — 443 с.
3. Вовк М.И., Кифоренко С.И., Котова А.Б. Биологическая и биотехническая системы как целенаправленные // Управляющие системы и машины. — 2005. — Вып.3(197). — С. 16–24.
4. Вовк М.И. Биоинформационная технология управления движениями как направление биологической и медицинской кибернетики // Кибернетика и вычисл. техника. — 2013. — Вып. 174. — С. 56–70.
5. Кадыков А.С., Черникова Л.А., Шахпаронова Н.В. Реабилитация неврологических больных // Глава 16. Нарушения речи. — М.: МЕДпресс-информ, 2008. — С. 369—384.
6. Krakauer JW Arm function after stroke: from physiology to recovery // Semin Neurol. — 2005 Dec; 25(4) — p. 384-95.

7. Патент на винахід № 111388 Україна, МПК (2006.01), А61N 1/36 Спосіб лікування мовних порушень / М.І. Вовк, Є.Б. Галян, О.М. Підпригора; заявник та патентовласник Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України. — № а 2014 06092; заявл. 03.06.2014, опубл. 25.04.16, Бюл. № 8.
8. Вовк М.И., Галян Е.Б. Восстановление моторного компонента речи на базе управления мышечными движениями. Теоретическое обоснование // Кибернетика и вычисл. техника. — 2012. — Вып. 167. — С. 51–60.
9. Вовк М.И., Галян Е.Б. Персонализована біотехнічна система для відновлення мови // Кибернетика и вычисл. техника. — 2015. — Вып.179. — С. 5–19.
10. Інформаційні технології в біології та медицині: Курс лекцій: Навчальний посібник / В.І.Гриценко, А.Б. Котова, М.І. Вовк, та ін.// Частина 3. Теорія біотехнічних систем та її застосування. — Київ: Наук. думка, 2007. — С. 285–340.
11. Кольцова М.М. Двигательная активность и развитие функций мозга ребенка. — М.: Педагогика, 1973. — 143 с.
12. Формалізація медичинської інформації для автоматизованого рішення задачі про призначення лікування / Ю.П. Варезькин, О.Д. Ластівка, А.Д. Лауга і інші // Медичинська і біологічна інформатика: Сб. науч. Тр. / Редкол.: Амосов Н.М. (отв. ред.) і др. — Київ : Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова АН УРСР, 1967. — С. 68–71.
13. Продеус А.Н., Захрабова Е.Н. Экспертные системы в медицине. — К.: ВЕК+, 1998. — 320 с.
14. Солодовников И.В., Rogozin O.B., Пашенко О.Б. Теория принятия решений : учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 52 с.
15. Белова А.Н., Щепетова О.Н. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации: руководство для врачей и научных работников. — М.: Антидор, 2002. — 440 с.
16. Методи оцінки моторних і сенсорних порушень мови / М.И. Вовк, С.Р. Пелешок, Е.Б. Галян і інші // Сборник статей науково-інформаційного центру «Знання» по матеріалам ХІ міжнародної заочної науково-практичної конференції: «Розвиток науки в ХХІ столітті» 3 частина, г. Харків: збірник со статтями (рівень стандарту, академічний рівень). — Д.: науково-інформаційний центр «Знання», 2016. — С. 70–76.

UDC 002.53:004.8

ORGANIZATION OF INTELLIGENT HAND MOVEMENTS CONTROL TO RESTORE SPEECH

M.I. Vovk, Ye.B. Galyan

*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 (Kiev)*

Introduction. Intelligent control is a function of organized systems, situationally adapted to provide for the operation to be constant. Main mechanisms for constant operation of biological systems are adaptation and homeostasis. We must keep in mind these mechanisms while designing biotechnical systems for control, maintenance or restoration of motor functions, damaged by pathology, as well as remember that speech movements are a type of voluntary movements.

The purpose is to develop information-structural and structural-functional models for organization of intelligent fine motor hand movements control to restore speech.

Methods: information — structural modeling, structural-functional modeling, first-order predicate logic, Unified Modeling Language.

© М.И. Вовк, Е.Б. Галян, 2016

ISSN 0452-9910. Кибернетика и вычисл. техника. 2016. Вып. 184

41

Results. In this article we present information-structural and structural-functional models of intelligent hand movements control organization to restore speech for patients after the stroke (hemiparesis, motor aphasia, motor-sensory aphasia). The main components of the biotechnical system that organizes intelligent control are electronic devices for motor control TRENAR and PC with software-based information component. Its structural-functional model is described. The organism's reserves activation to restore homeostasis of fine motor hand movements and speech realization is the final goal of control. Adequacy is considered as the best criterion for individual choice of control actions parameters and topology of their application. It is shown how different methods, training programs, and a set of training movements allow us to organize personally oriented situational control / training of hand movements for speech rehabilitation. The method for determining the combination of personal training options for hand and finger movements on the basis of production approach is developed. The software implementation of the method in the form of reduced expert system is described.

Conclusion. The main features of intelligent control organization are the assistance of situational goal to the final goal of control and knowledge-based control.

Keywords: intelligent control, adaptive control, homeostasis, organization, hand movements, speech restoration, modeling, computer complex, electronic devices, information component, production approach, reduced expert system.

1. Nefedov V.P. Homeostasis at different levels of biological systems — Novosibirsk: "Nauka". Siberian branch, — 1991. — 232 p. (in Russian).
2. Romanov S.P. Neurophysiological mechanisms of motor functions homeostasis : thesis. Doctor in Biology: specialty. 03.00.13. — St. Petersburg, 1989. — 443 p. (in Russian).
3. Vovk M.I. Biological and biotechnical system as a purposeful / *Control System and Computers*. — 2005. — № 3(197). — P.16–24 (in Russian).
4. 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).
5. Kadukov A.S., Chernikova L.A., Shakhparonova N.V. *Rehabilitation of neurological patients Chapter 16. Speech disorders*. pp. 369–384. M.: "MEDpress-inform", 2008. — 560 p. (in Russian).
6. Krakauer JW *Arm function after stroke: from physiology to recovery* // *Semin Neurol*. 2005 Dec; 25(4) — p. 384-95. (in English)
7. Vovk M.I, Galyan Ye.B., Pidoprigora E.N., e.a. Sposiblikuvannyamovnuhporushen' [The way to treat speech disorders]. Patent UA, A61N 1/36, no. 111388, 2016. (in Ukrainian).
8. Vovk M.I., Galyan Ye.B. Restoring of motor component of speech based on muscle movement control. Theoretical grounding // *Cybernetics and Computer Engineering*, — 2012. — № 167, — P.51–60. (in Russian).
9. Vovk M.I., Galyan Ye.B. Personalized Biotechnical system to restore speech // *Cybernetics and Computer Engineering*. — 2015. — №179. — P. 5–19. (in Russian).
10. Gritsenko V.I., Kotova A.B., Vovk M.I., Kozak L.M. *Information technology in biology and medicine. Lectures: Tutorial. Part 3 Biotechnological systems theory and its application*. pp.285–340. Kyiv: Nauk. Dumka, 2007. — 381 p. (in Ukrainian).
11. Koltsova M.M. Motor activity and development of the child's brain functions. — M.: "Pedagogika", 1973. — 143 p. (in Russian).
12. The formalization of medical information for automated solving the problem of treatment appointment / Yu.P. Varejkin, O.D. Lastivka, A.D. Lauts & others // *Medical*

- and Biological Informatics: collection of scientific papers / the Editorial.: Amosov N.M. and etc.* — Kiev : VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of USSR, 1967. — pp. 68–71 (in Russian).
13. Prodeus A.N. Zakhrabova E.N. Expert systems in medicine. — K.: “VEK+”, 1998. — 320 p. (in Russian).
 14. Solodovnikov I. V., Rogozin O.V., Pashchenko O.B. Decision theory: Tutorial. — M.: Publishing house of the MSTU. Bauman, — 2006. — 52 p. (in Russian).
 15. Belova A.N., Shchetova O.N. Scales, tests and questionnaires in medical rehabilitation: a guide for physicians and researchers — M.: “Antidor”, 2002. — 440 p. (in Russian).
 16. The method of assessment of motor and sensory speech disorders / M.I. Vovk, S.R. Peleshok, Ye.B. Galian // 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 (standard level, academic level). D.: scientific-information center "Knowledge" — 2016. — P. 70–76. (in Russian).

Получено 15.03.2016