

УДК 615.825-036.8

АДАПТИВНАЯ КИНЕЗИТЕРАПИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ

В.А. ЛУКАШЕВИЧ

Белорусская медицинская академия последипломного образования
П. Бровки, 3, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 24 октября 2016

Для реализации адаптивной кинезитерапии нового направления восстановительной терапии двигательных и координаторных нарушений, разработан роботизированный кинезитренажер. Принцип работы устройства основан на использовании запатентованной технологии «двухслойного экзоскелета». В конструкции кинезитренажера имеется управляемый подвижный внутренний каркас, который кинематически связан с внешним жестким стационарным каркасом, выполненным в виде объемной рамной конструкции, определяющей пространство для изменения положения ортопедических модулей внутренней конструкции.

Ключевые слова: адаптивная кинезитерапия, роботизированный кинезитренажер, восстановительная терапия двигательных и координаторных нарушений.

Введение

Современная реабилитация пациентов с двигательными и координаторными нарушениями является социально значимой проблемой современного общества. При этом «золотым стандартом» считается использование дорогостоящих роботизированных комплексов, что формирует экономическую составляющую общей проблемы использования данных технологий в практическом здравоохранении [1–7]. В настоящее время в Республике Беларусь развивается новое направление восстановительной терапии пациентов данной категории, обозначенное как адаптивная кинезитерапия (АК). АК является методом восстановления пространственной ориентации сложных локомоций, посредством создания специфических условий средовой аугментации (совокупность внешнесредовых факторов, способствующих усилению представлений о выполняемом действии). Для реализации метода адаптивной кинезитерапии разработан, сконструирован и выполнен в виде промышленного образца инновационный аппаратно-программный лечебно-диагностический комплекс, выполненной в виде роботизированного кинезитренажера. Теоретической посылкой в развитии АК являлась идея создания системы и способа с более высокой реабилитационной эффективностью по сравнению с имеющимися аналогами, за счет повышения интенсивности восстановления координаторно-двигательной активности как в отдельных суставах, так и всей локомоторной системы (системы управления пространственным ориентированием человека). При этом система и способ должны обеспечивать возможность реабилитации на самых ранних стадиях, при которых управляемая дозированная нагрузка на суставы и формирование двигательных стереотипов осуществляется у пациентов, не имеющих возможности к самостоятельной вертикализации, т.е. в горизонтальном либо сидячем положении тела. Целью работы являлось описание технических инноваций, направленных на развитие аппаратной части адаптивной кинезитерапии.

Материалы

Для решения поставленной цели была разработана система восстановления двигательной активности человека, выполненная в виде роботизированного кинезитренажера,

содержащего модульный экзоскелет человека, сформированный управляемым подвижным каркасом, состоящим из кинематически связанных между собой соответствующих частям тела ортопедических модулей, выполненных с возможностью фиксации на соответствующих частях тела, и приводимых в движение подсистемой приводов. Программно-аппаратные средства управления изменением положения в пространстве каждого ортопедического модуля выполнены на базе компьютера с контроллером и средствами обратной связи с возможностью создания управляемой связи с каждым ортопедическим модулем через соответствующий привод. Процесс решения задачи эффективного управления обеспечивается за счет того, что управляемый подвижный каркас кинематически связан с внешним жестким стационарным каркасом, выполненным в виде объемной рамной конструкции, определяющей пространство для изменения положения ортопедических модулей и формирующей совместно с управляемым подвижным каркасом инновационную конструкцию двухслойного экзоскелета. На внешнем стационарном каркасе размещена подсистема электромеханических приводов, каждый из которых связан с соответствующим ортопедическим модулем экзоскелета посредством гибкой связи. Каждый ортопедический модуль и каждый датчик физиологического показателя организма человека связаны с программно-аппаратными средствами управления изменением положения в пространстве каждого ортопедического модуля через внешний стационарный каркас. Внешний стационарный каркас снабжен средством фиксации исходного положения тела в подвешенном состоянии с опорой в тазобедренной области и/или в области верхней части туловища, а каждый ортопедический модуль выполнен с возможностью проведения механотерапии отдельных суставов. Общий вид кинезитренажера представлен на рисунке.



Общий вид роботизированного кинезитренажера в работе

Результаты и их обсуждение

Разработанная система восстановления двигательной активности человека, выполненная в виде роботизированного кинезитренажера, представляет собой тренирующий симулятор сложных движений человека – аппаратно-программный комплекс, осуществляющий индивидуально 4-уровневую дозируемую и динамически контролируемую симуляцию базовых движений человека. Реализация данной функции обеспечивается за счет 20 запускаемых моторных «программ-аугментаторов», представляющих собой разнообразные двигательные паттерны в виде «Assist»-моделей. Высокая эффективность реабилитации в части восстановления двигательной активности достигается за счет объединения программной и механической составляющих (потенциально с системой визуализации виртуальной реальности) в единый реабилитационный комплекс.

При этом механическая составляющая включает следующие элементы:

- 1) модульный экзоскелет человека, сформированный управляемым подвижным каркасом, состоящим из кинематически связанных между собой соответствующих частям тела ортопедических модулей с подвесной системой;
- 2) внешний жесткий стационарный каркас, выполненный в виде объемной рамной конструкции (гравитационная рама);
- 3) подсистема электромеханических приводов.

Двухслойная конструкция экзоскелета, сформированная управляемым подвижным каркасом, кинематически связанным с внешним жестким стационарным каркасом, обеспечивает возможность более эффективной индивидуальной адаптации экзоскелета под различные требования, существенно расширяя сферы применения (заболевания и состояния, при которых возможна реабилитация).

Основная задача, которую позволяет решить заявляемая система восстановления координаторно-двигательной активности человека, состоит в дозированном запуске сложных тренирующих движений от простых, выполняемых лежа и стоя, до более сложных, выполнение которых может осуществляться с внешней поддержкой и без нее. Наличие фиксирующих и амортизирующих элементов позволяет осуществлять тренировки в безопасном режиме для нервно-мышечной и костно-суставной систем. Главная цель подобных тренировок – восстановление в мозге образа сложного движения, которое может выполнять тело – двигательного стереотипа. В свою очередь, основная цель двигательного стереотипа состоит в формировании двигательного автоматизма, синергического распределения активности мышц различного назначения в поддержании позы и двигательной активности.

При восстановлении двигательной активности следует принимать во внимание тот факт, что отсутствие движения в крупном суставе в течение месяца приводит к практически полному стиранию представления об этом движении в мозге. Заявляемая система позволяет на самых ранних стадиях восстановления решить важную задачу, связанную с разработкой суставных контрактур (тугоподвижности суставов) посредством СРМ-терапии (Continuus Passive Motion). При этом, помимо мягкого дозирования нагрузки, кинезитренажер в различных формах реализации системы выполняет активацию мышц, утративших способность к сокращению.

Следующая задача, решение которой возможно благодаря кинезитренажеру – это проведение координаторной тренировки. Координаторная функция является основополагающей при выполнении сложного действия и зависит не только от запуска моторной программы, но и от целого ряда дополнительных факторов, которые вносят отклонения в запланированный ход движения, сами же не поддаются предварительному учету. В результате окончательная цель движения может быть достигнута, только если в него будут постоянно вноситься поправки, или коррекции. Для этого управляющий блок центральной нервной системы должен знать, какова реальная судьба текущего движения. Иными словами, в ЦНС должны непрерывно поступать афферентные сигналы, содержащие информацию о реальном ходе движения в ограниченном пространстве (двигательного поля), а затем перерабатываться в сигналы коррекции. В рамках разработанной технологии и метода, специальные и методически оптимальные последовательности активации подвижных элементов в непредсказуемых вариантах приводят к активации структур головного мозга, ответственных за выполнение координированных движений, эффективно использующих двигательное поле.

Существенным отличием разработанной системы является наличие в средстве фиксации исходного положения тела в подвешенном состоянии опоры для тела в тазобедренной области. При этом предусмотрена опора нижней части тела в области промежности. Такое выполнение средства фиксации исходного положения тела, с учетом упомянутого выше предпочтительного наличия амортизирующего элемента – амортизирующей подушки, установленной на опоре, обеспечивает не только более комфортное состояние пациента, но и абсолютно стабильное вертикальное положение тела пациента в процессе выполнения движений, обеспечиваемое без дополнительных усилий со стороны самого пациента, что особенно важно на начальных стадиях реабилитации.

В альтернативных формах реализации метода средство фиксации исходного положения тела в подвешенном состоянии может быть выполнено с возможностью опоры верхней части тела в области верхней части туловища, например, в области подмышечных впадин. Как и в описанной выше форме, здесь также предпочтительно наличие амортизирующих элементов - амортизирующих подушек, установленных на подмышечных опорах.

В системе кинезитренажера средство фиксации исходного положения тела в подвешенном состоянии может быть выполнено отдельно с возможностью опоры верхней части тела в области верхней части туловища и нижней части тела в области промежности с возможностью регулирования распределения процента фиксации между верхней и нижней частями. Такая фиксация обеспечивает высокую степень гравитационной разгрузки пациента, оптимальным образом (особенно с учетом возможности автоматического или автоматизированного расчета распределения процента фиксации), компенсируя нагрузку от веса тела на позвоночник.

В системе кинезитренажера предусмотрены амортизационные узлы, усиливающие пассивное приведение части тела по направлению, по меньшей мере, к одной точке жесткого стационарного каркаса. Средства фиксации с амортизационными узлами в сочетании с гибкими, и возможно эластичными, связями позволяют осуществлять комфортное для пациента «управление» его движениями по принципу «марионетки» с обеспечением достаточного числа степеней свободы, что способствует повышению ощущения реальности и естественности движения, выполняемого под «управлением» ортопедических модулей экзоскелета.

Метод адаптивной кинезитерапии включает составление индивидуального плана восстановления и формирования по заданной программе в центральной нервной системе двигательных стереотипов посредством принудительного соответствующего изменения положения в пространстве частей тела с использованием системы восстановления двигательной активности человека, включающей экзоскелет, связанный со средством управления на базе компьютера. При этом восстановление проводят в два этапа. На первом этапе создают изначально или восстанавливают в ЦНС устойчивые матрицы двигательных стереотипов. На втором этапе восстанавливают связи между окружающими событиями и восстановленными матрицами двигательных стереотипов в качестве реакций на указанные события. При этом на каждом этапе контролируют состояние тренирующегося, в частности состояние опорно-двигательного аппарата, посредством средств обратной связи.

В адаптивной кинезитерапии восстановления координаторно-двигательной активности на более поздних стадиях реабилитации в различных формах реализации способа для формирования двигательных стереотипов более сложных движений, связанных с рядом особенностей, при которых тренирующую двигательную программу, предпочтительно, составляют:

1) с учетом ограничений пространства движения за счет виртуального компонента, который ориентирует виртуальное движение в сторону ограничения пространства движения, формируя таким образом в ЦНС пациента представление о потенциальной готовности опорно-двигательного аппарата к использованию данного участка пространства движения;

2) с учетом ограничений пространства движения за счет управляемого подвижного каркаса экзоскелета, посредством которого ориентируют тренируемое движение в сторону ограничения пространства движения, таким образом, формируют в ЦНС пациента представление о потенциальной способности опорно-двигательного аппарата к использованию данного участка пространства движения;

3) с учетом ограничений пространства движения за счет виртуального компонента и управляемого подвижного каркаса экзоскелета, которые совместно усиливают матрицу движения, ориентированного в сторону ограничения пространства движения.

Таким образом, метод АК включает следующие реабилитационные методики:

- 1) вертикализация;
- 2) механотерапия;
- 3) координаторная тренировка;
- 4) сенсорного программирования двигательных стереотипов.

Каждая из указанных методик является специфическим условием для запуска факторов средовой аугментации. При этом особенностью АК является объединение вертикализации, механотерапии координаторной тренировки и сенсорного программирования в целостную экосистему, работающую по следующим принципам:

- 1) принцип дозирования интенсивности средовых стимулов;
- 2) принцип унифицированных связей;
- 3) принцип методического разнообразия;
- 4) принцип разнообразия факторов средовой аугментации;
- 5) принцип оценки качественной структуры локомоций;
- 6) принцип стандартизированного подхода в выборе лечебной тактики.

Заключение

Техническую реализацию адаптивной кинезитерапии обеспечивает комплекс восстановления координаторно-двигательной активности человека, выполненный в виде роботизированного кинезитренажера, содержащего: 1) полный экзоскелет человека, сформированный управляемым подвижным каркасом, состоящим из кинематически связанных между собой соответствующих частям тела ортопедических модулей, выполненных с возможностью фиксации на соответствующих частях тела, и приводимых в движение подсистемой приводов – технология «двухслойного экзоскелета», 2) программно-аппаратные средства управления изменением положения в пространстве каждого ортопедического модуля, выполненные на базе компьютера с контроллером с возможностью управляемой связи с каждым ортопедическим модулем через соответствующий привод, и средства обратной связи. При этом управляемый подвижный каркас кинематически связан с внешним жестким стационарным каркасом, выполненным в виде объемной рамной конструкции, определяющей пространство для изменения положения ортопедических модулей и формирующей совместно с управляемым подвижным каркасом двухслойный экзоскелет.

ADAPTIVE KINEZITHERAPY: TECHNICAL INNOVATIONS

U.A. LUKASHEVICH

Abstract

To implement adaptive kinezitherapy as a new direction of reconstructive therapy of motor and coordination disorders was developed a robotic kinezisimulator. The principle of operation of the device is based on a patented «double layer exoskeleton» technology. Kinezisimulator includes a controlled movable inner frame. This element is kinematically connected to an external hard stationary frame. The frame is designed as a frame construction bulk. The shape and dimensions of the frame defined by the space necessary to change the position of the inner parts of orthopedic units.

Keywords: adaptive kinezitherapy, robotic kinezisimulator, reconstructive therapy of motor and coordination disorders.

Список литературы

1. *Axelrod D.A., Millman D., Abecassis D.D.* // American Journal of Transplantation. 2010. Vol. 10. P. 2197–2202.
2. *Goonewardene S.S., Baloch K., Sargeant I.* // The American Surgeon journal. 2010. Vol. 76. P. 977–981.
3. *Gulley S.P., Rasch E.K., Chan L.* // Journal of Medical Care. 2011. Vol. 49. P. 149–155.
4. *Gulley S.P., Rasch E.K., Chan L.* // The American Journal of Public Health. 2011. Vol. 101. P. 368–375.
5. *Lloyd-Jones D., Adams R.J., Brown T.M.* // Journal of the American Heart Association. 2010. Vol. 121. № 7. P. 46–215.
6. *Muennig P.A., Glied S.A.* // Journal of Health Affairs. 2010. Vol. 29. P. 2105–2113.
7. *Smith D.S., Goldenberg E., Ashburn A.* // The British Medical Journal. 1981. Vol. 282. № 6263. P. 517–520.