Закиров Р. И.
Zakirov R.I.

аспирант Института
конструкторско-технологической информатики
Российской академии наук,
Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии,
г. Москва,
Российская Федерация

Шептунов С. А.
Sheptunov S. A.

доктор технических наук, профессор,
директор Института конструкторско-технологической информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

Шевхужев А. О.
Shevhuzhev A.O.

аспирант, младший научный сотрудник
Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

УДК 616.315

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Нарушение функциональности отдельных систем организма, одним из которых является проблема с движением верхних конечностей, может быть последствием различных травм или болезней, например, инсульта. Для возвращения их подвижности часто важным является своевременное применение мероприятий для реабилитации, длительность которых в тяжелых случаях достигает нескольких лет. В настоящее время широко используются роботизированные комплексы, направленные на восстановление моторики за счет выполнения активных либо пассивных динамических упражнений.

Проведен краткий обзор современных систем, используемых для реабилитации. Роботизированные устройства кроме эффективного выполнения традиционных технологий позволяют создавать новые механотерапевтические технологии. Уточнены и сформированы требования по функциональным возможностям роботизированных устройств.

Устройством, позволяющим быть максимально полезным и удобным для различного рода реабилитационных упражнений, является дельта-робот. Основная идея заключается в использовании принципов параллелограммов для создания параллельного робота с тремя поступательными и одной вращательной степенью свободы. Такая механика позволяет сохранять ориентацию в пространстве у исполнительного устройства робота.

В нашем конкретном случае предлагается в качестве рабочего органа использовать устройство захвата пальцев пациента. Крепится он в центре нижней платформы, которая всегда остается параллельной верхнему основанию. Управление платформой осуществляется регулировкой углов поворота верхних рычагов относительно основания робота при помощи двигателей. Благодаря такой конструкции становятся возможны следующие движения пациента:

- отведение и приведение кисти по отношению к лучезапястному суставу;
- сведение/разведение пальцев;
- сжатие кисти в кулак;
- приподнимание и опускание пальцев руки;
- движение руки вперед-назад.

Можно выделить основные преимущества, которые мы достигнем, взяв за главную идею использование дельта-робота в качестве основы для инструмента реабилитации. Это в первую очередь высокоинтенсивная двигательная терапия верхних конечностей, пациент сможет совершать самостоятельные, активные, повторяемые движения в трехмерном пространстве. Благодаря простоте использования и универсальности устройство просто адаптируется для каждого конкретного пациента, оно будет компактным и удобным, мобильным и портативным.

Ключевые слова: роботизация, комплексы, реабилитация, дельта-робот, рабочий орган, захват, технологии.

REVIEW OF EXISTING ROBOTIC REHABILITATION SYSTEMS

Violation of the functionality of individual systems of the body, one of which is a problem with the movement of the upper limbs, can be a consequence of various injuries or diseases, such as stroke. In order to regain their mobility, it is often important to timely apply measures for rehabilitation, the duration of which in severe cases reaches several years. Nowadays, robotized complexes aimed at restoring motility by performing active or passive dynamic exercises are widely used.

A brief review of modern systems used for rehabilitation has been carried out. In addition to the effective implementation of traditional technologies, robotic devices make it possible to create new mechanotherapeutic technologies. Clarified and formed the requirements for the functionality of robotic devices.

A device that allows you to be as useful and convenient for various kinds of rehabilitation exercises, is a delta robot. The basic idea is to use the principles of parallelograms to create a parallel robot with three translational and one rotational degree of freedom. This mechanic allows you to maintain orientation in space at the executive device of the robot.

In our particular case, it is proposed as a working body to use the device for gripping the patient's fingers. It is fixed in the center of the lower platform, which always remains parallel to the upper base. The platform is controlled by adjusting the angle of rotation of the upper arms relative to the base of the robot using engines. Thanks to this design, the following patient movements are possible:

- Abduction and adduction of the hand in relation to the wrist joint;
- Joining / breeding fingers;
- Squeezing the brush into a fist;
- Raising and lowering fingers;
- Move your hand back and forth.

We can single out the main advantages that we will achieve by taking the main idea of using a delta robot as the basis for a rehabilitation tool. This is primarily a high-intensity motor therapy of the upper extremities, the patient will be able to make independent, active, repetitive movements in three-dimensional space. Thanks to its ease of use and versatility, the device simply adapts to each individual patient, it will be compact and convenient, mobile and portable.

Key words: robotization, complexes, rehabilitation, delta-robot, capture, technology.

Нарушение функциональности отдельных систем организма, одним из которых является проблема с движением верхних конечностей, может быть последствием различных травм или болезней, например, инсульта. Для возвращения их подвижности часто важным является своевременное применение мероприятий для реабилитации, длительность которых в тяжелых случаях достигает нескольких лет. В настоящее время широко

используются роботизированные комплексы, направленные на восстановление моторики за счет выполнения активных либо пассивных динамических упражнений.

В современной терапии широкое распространение получила группа методов, направленных на непрерывное пассивное движение (continuous passive motion). В рамках индивидуальной программы реабилитации производится пассивное движение в суставе, которое

и обуславливает эффективность воздействия. Пассивные упражнения выполняются с посторонней помощью, когда пациент не в состоянии двигаться самостоятельно или когда произвольная мышечная активность может повредить заживлению. Данные упражнения уменьшают вредные последствия неподвижности и используются для поддержания объема движений, но не предотвращают мышечной атрофии, не увеличивают мышечной силы или выносливости и не улучшают кровоснабжение мышц в такой степени, как активные упражнения, которые выполняются за счет произвольного сокращения мышц. Свободные упражнения выполняются в пределах амплитуды движений, увеличение которой может происходить за счет прикладываемых пациентом усилий во время растягивающих упражнений. Принято считать, что при сочетании произвольного мышечного сокращения с внешней силой для завершения движения в пределах нормального объема выполняются активно-пассивные упражнения. Используются такого рода упражнения в случаях, когда сохраняется достаточная активность сокращения мышц травмированной конечности и отсутствуют противопоказания для произвольных мышеч-

ных сокращений. Особую пользу упражнения приносят на ранних этапах медицинской реабилитации либо при профилактике вредных последствий неподвижности и поддержания сократимости мышц.

Проведем краткий обзор современных систем, используемых для реабилитации.

Artromot-F (компания DJO Global, США) – механотерапевтический прибор для разработки суставов кисти, используемый для раннего и безболезненного восстановления подвижности всех суставов кисти, а также для предотвращения связанных с длительным бездействием кисти осложнений. Применяется при контрактурах различного происхождения, при ограничении подвижности в суставе после инсультов, также после различных травм кистей.

Artromot-H – прибор, разрабатывающий лучезапястный состав с ручным программным пультом, основное предназначение которого практически совпадает с предыдущим аппаратом. Благодаря ему проходит скорейшее восстановление хрящевых зон и поврежденных связок запястья, ускоряется рассасывание гематом, а также улучшается кровообращение и лимфоток.

Рисунок 1. Artromot-F (слева) и Artromot-H (справа)

MediTouchLtd (Израиль) специализируется на производстве систем реабилитации, которые в основном состоят из устройств захвата движения. Для восстановления двигательной функции верхних и нижних конечностей при помощи метода обратной биологической связи предлагается комплексная система Tutor. Она состоит из 4 устройств (HandTutor, ArmTutor, LegTutor, 3D-Tutor) и управляющего всем комплексом программ-

ного обеспечения, которым можно регулировать необходимые характеристики.

Компания Носома (Arneo, Швейцария) предлагает тренажер, позволяющий задействовать всю руку от плеча до пальцев, для робот-ассистированной реабилитации верхних конечностей с персональной настройкой аппаратуры и контролем хода всего лечения. Программы мотивации в 3D увлекают и мотивируют пациента производить действия

руками, которые имитируются адекватной моделью в системе. Амплитуда сгибания и разгибания конечностей или отдельных ее частей фиксируется в самом тренажере, что

дает возможность врачу оценить эффективность назначенной терапии в рамках робот-ассистированной реабилитации. Armeo представляет три комплекса:

Рисунок 2. ArmeoPower (слева), ArmeoSpring, ArmeoSenso (справа)

ArmeoPower – роботизированный реабилитационный комплекс, представляющий собой ортез для верхней конечности, который предназначается для пациентов с острыми двигательными нарушениями. Применяются интерактивные упражнения для настройки методики восстановления, в которых можно комфортно настраивать высоту и вес, создавая поддержку руке в пространстве, что является важным для пациентов разного роста с различным размером руки. Воспроизводится движение во всех суставах за счет точной корректировки положения плечевого сустава системой позиционирования.

ArmeoSpring — это эргономичный ортез, крепящийся на руку, с интегрированной системой поддержки веса, который позволяет пациенту даже с небольшими остаточными функциональными возможностями выполнять тренировочные задачи в режиме 3D-симуляции реальных жизненных ситуаций, что ведет к предотвращению неблагоприятных эффектов от вынужденной иммобилизации конечности.

ArmeoSenso – реабилитационный комплекс для функциональной терапии верхних конечностей с расширенной обратной связью, предназначенный для пациентов с умеренными нарушениями функций верхних конеч-

ностей, позволяет увеличивать объем и качество упражнений и следить за компенсаторными движениями туловища.

Diego позволяет производить объективную оценку объема движений и предназначен для пациентов с моторными дисфункциями верхних конечностей, для реабилитации плечевого и локтевого суставов. Позволяет проводить эффективную терапию одной или двух конечностей одновременно с использованием активных и пассивных тренировок, а также обладает функцией активной разгрузки веса и программным обеспечением с мотивационным пакетом.

Amadeo (Бека РУС, Россия) – роботизированный тренажер для развития мелкой моторики, применяемый для восстановления пациентов с нарушениями дистальных отделов верхних конечностей. Выделяется аппарат тем, что позволяет восстанавливать активные движения пальцев в активном либо пассивном режиме работы. При выполнении упражнений производится объективная оценка изометрической силы, объема движений, наличия спазмов, настройка индивидуальных особенностей в зависимости от возможностей пациента, что позволяет оценивать прогресс проводимого лечения.

Рисунок 3. Роботизированный тренажер Amadeo

Для коррекции нарушений крупной и мелкой моторики мышц верхней конечности используется аппарат Pablo. Записывается любое движение и используется в качестве контроллера мотивирующих игровых приложений, а также проводится тренировка сложных комплексных движений руки с включением двух и более суставов. Также система используется для тренировки мелкой моторики кисти с использованием БОС и игровых приложений. К ним относится цилиндрический и плоскостной захват, сжатие и разжимание кисти, межпальцевые и щипковые захваты. Тренировки направлены на увеличение объема, скорости и координации движений.

MYRO представляет собой интерактивный стол для терапии, который может быть использован для целенаправленной реабилитации для улучшения когнитивных способностей пациента или двигательных функций верхних конечностей. Интерактивность заключается в том, что упражнения можно дополнить захватом реальных объектов, таких как ручка, монета или шарик для улучшения мелкой моторики.

Роботизированные устройства кроме эффективного выполнения традиционных технологий позволяют создавать новые механотерапевтические технологии. Уточним и сформируем требования по функциональным возможностям роботизированных устройств.

Таблица 1. Требования к роботизированному устройству

Суставы	Виды движений	Угол отработки, град.		Развиваемое усилие, Н		Длина плеча L, м		Кол-во степеней свободы траектории движения
		min	max	min	max	min	max	
Плечевой	Отведение	0	210	0	250	0,2	1,5	6
	Сгибание	0	210					
	Разгибание	0	90					
	Ротация	0	270					
Локтевой	Сгибание	0	180	0	150	0,1	0,7	
	Разгибание							
Луче-запястный	Сгибание	0	210	0	50	0,01	0,25	
	Разгибание							
	Ротация	0	210	0	50			

У всех перечисленных конструкций имеется один из главных недостатков в виде ограниченного количества степеней свободы, либо же их увеличение за счет создания огромных комплексов, состоящих из нескольких устройств. Решение этой проблемы заключается в использовании универсального устройства, которое позволяло бы разрабатывать различные суставы, применялось бы для разнообразных упражнений, направленных как на изолирующие, так и на многосуставные упражнения, что, несомненно, приводило бы к улучшению эффективности и уменьшению сроков восстановления.

Кроме того, использование лишь одного устройства будет экономически выгодно в связи с вышеуказанными причинами.

Устройством, позволяющим быть максимально полезным и удобным для различного рода реабилитационных упражнений, является дельта-робот. Основная идея заключается в использовании принципов параллелограммов для создания параллельного робота с тремя поступательными и одной вращательной степенью свободы. Такая механика позволяет сохранять ориентацию в пространстве у исполнительного устройства робота.

Рисунок 4. Общий вид дельта-робота

В нашем конкретном случае предлагается в качестве рабочего органа использовать устройство захвата пальцев пациента. Крепится он в центре нижней платформы, которая всегда остается параллельной верхнему основанию. Управление платформой осуществляется регулировкой углов поворота верхних рычагов относительно основания робота при помощи двигателей. Благодаря такой конструкции становятся возможны следующие движения пациента:

- отведение и приведение кисти по отношению к лучезапястному суставу;
- сведение/разведение пальцев;
- сжатие кисти в кулак;
- приподнимание и опускание пальцев руки;
- движение руки вперед-назад.

Можно выделить основные преимущества, которые мы достигнем, взяв за главную идею использование дельта-робота в качестве основы для инструмента реабилитации. Это, в первую очередь, высокоинтенсивная двигательная терапия верхних конечностей, пациент сможет совершать самостоятельные, активные, повторяемые движения в трехмерном пространстве. Благодаря простоте использования и универсальности устройство просто адаптируется для каждого конкретного пациента, оно будет компактным и удобным, мобильным и портативным.

Список литературы

1. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
2. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – № 2. – С. 84-88.

3. Сырямкин В.И. Робототехнические и мехатронные системы. – М.: Ленинград, 2014. – 188 с.

4. ГОСТ Р 60.0.0.2-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Классификация».

5. Фролов А.А., Козловская И.Б., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. Роботизированные устройства в реабилитации после инсульта // Журнал высшей нервной деятельности. – 2017. - № 4.

6. ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация».

7. ГОСТ Р 60.0.7.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Методы программирования и взаимодействия с оператором».

References

1. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robots. – M.: Publishing House of Moscow State Technical University im. N.E. Bauman, 2004. – 480 p.

2. Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A. and other. Manipulation mechanisms of parallel structure and some of their applications in medicine – Quality. Innovation. Education. – 2016. - № 2. – p. 84-88.

3. Syryamkin V.I. Robotic and mechatronic systems. – M.: Leningrad, 2014. – 188 c.

4. GOST R 60.0.0.2-2016 Robots and robotic devices. Classification.

5. Frolov A.A., Kozlovskaya I.B., Biryukova E.V., Bobrov P.D. Robotic devices in rehabilitation after a stroke // Journal of Higher Nervous Activity. – 2017. - № 4.

6. GOST 25685-83 "Industrial robots. Classification".

7. GOST R 60.0.7.1-2016 «Robots and robotic devices. Methods of programming and interaction with the operator».