

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В МЕДИЦИНСКОЙ СФЕРЕ

Аннотация: В докладе приводится краткий обзор применения экзоскелетов в медицине для комплексной реабилитации пациентов. Представлены уникальные качества медицинских экзоскелетов для облегчения и восстановления пациентов с ограниченными физическими возможностями. Кратко рассмотрены их устройство и функциональные возможности применения.

Ключевые слова: ЭС (экзоскелет), реабилитация, медицинский, движение, датчики, возможность.

Введение

На сегодняшний день большое распространение в области увеличения физических способностей человека получили экзоскелеты (ЭС) – устройства, предназначенные для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счёт внешнего каркаса и приводящих частей [1].

ЭС становятся всё более востребованы в разных сферах деятельности, т.к. они помогают людям в эффективном выполнении возможно травматичных или превышающих их физические силы операций. Они были спроектированы ещё в середине XX века и сейчас эти устройства активно применяются с увеличением перспектив их функционирования. В этом докладе речь пойдёт о применении ЭС в медицине.

Медицинские ЭС применяются для реабилитации после травмы или операции, а также поддержания мобильности у пациентов с ограниченными физическими возможностями [2]. Они могут иметь различные конструкции, включая ЭС для нижних конечностей, верхних конечностей и туловища. Медицинские ЭС могут помочь пациентам восстановить способность ходить, поднимать предметы и выполнять другие повседневные задачи.

Кроме того, в настоящее время медицинские ЭС имеют большое распространение для передвижения определённых групп людей с ограниченными физическими возможностями, повышая качество жизни и их независимость от внешних условий.

Показания к применению медицинских ЭС довольно обширны [3]. Это могут быть болезни центральной нервной системы такие как: последствия детского церебрального паралича, заболевания центральной и периферической нервной системы, при которых происходит нарушение функции ходьбы и т.д. Кроме того, ЭС активно применяют для ликвидации последствий травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Краткий обзор

Начнём обзор с прорывной разработки Джекоба Розена из лаборатории Bionics Lab (университет Санта-Круз, США). Exoskeleton Prototype 3 (EXO-UL3), который может двигаться в разных плоскостях и имитировать до 95% движений человека.

ЭС EXO-UL3 – служит вспомогательным устройством, которое носится человеком и функционирует как усилитель его физических возможностей. Конструктивные элементы EXO-UL3 соответствуют суставам и связям человеческого тела [4]. Одна из основных инновационных идей модели заключается в установке человеко-машинного интерфейса на



нейромышечном уровне физиологической иерархии человека с применением собственных нейронных командных сигналов. Эти сигналы обнаруживаются поверхностными электродами, размещенными на коже оператора.

Иными словами, когда человека хочет переместить куда-либо руку (плечо или кисть.), то ЭС это обнаруживает благодаря неинвазивной поверхностной электромиографии (набор датчиков, снимающих биотоки). Естественную неувимую глазом задержку между появлением первых биоэлектрических сигналов и фактическим началом движения той или иной мышцы компьютер использует, чтобы рассчитать предполагаемое перемещение руки, применяя свою цифровую модель человеческой конечности [5]. Приводы ЭС срабатывают синхронно с сокращениями мышц и направляют в ту сторону, куда носитель аппарата желает согнуть руку. Человеку порой даже кажется, что *EXO-UL3* является продолжением его тела.

С момента создания и до сегодняшнего дня *EXO-UL3* был значительно доработан. Кроме того, его автор Джекоб Розен осуществил свою мечту и увидел применение своего изобретения в жизни людей с ограниченными физическими возможностями, что отвечало принципам гуманизма самого автора.

Рассмотрим далее ЭС *Phoenix*, как один из самых легких (12,25 кг) и удобных. *Phoenix* легкий и гибкий ЭС – является оригинальной технологией, разработанной лабораторией *Kazo* компании *SuitX (US Bionics, США)*. Разработан для людей с нарушением опорно-двигательной системы, тех кто не может ходить самостоятельно. Вместо того чтобы ставить по сервомотору на каждое сочленение, разработчики установили два двигателя в районе бёдер, которые приводят в действие коленные суставы ЭС, позволяя свободно передвигаться [6].

Пользователи могут контролировать движение каждой ноги и ходить со скоростью 1,8 км/час, нажимая кнопки, встроенные в пару костылей. Он работает до восьми часов от аккумуляторной батареи, которую можно носить в рюкзаке [7]. Кроме того, этот ЭС имеет регулируемые размеры и настраивается под людей разного роста. *Phoenix* спроектирован таким образом, что оператор не чувствует его веса и находится на нем.

Идея разработки этого ЭС была взята из наблюдения за походкой человека. При столкновении с препятствием *Phoenix* компенсирует удар, не перенося его на владельца. Благодаря лёгкости и настраиваемости любой человек может надеть *Phoenix* без посторонней помощи. Как утверждают разработчики их ЭС позволил многим людям успешно вставать, ходить и общаться с коллегами, будь то клиника, дом или работа.

Следующая модель ЭС для рассмотрения – *Power Assist Suit* (или *model Y*) разработан компанией *Activelink Co. (корпорация Panasonic, Япония)* и впервые выпущенный в 2018 году. *Power Assist Suit* выглядит как перевернутая буква *Y*, изготовлен из углеродных композитов, и надевается на грудь и бедра пользователя. Устройство имеет два независимо управляемых электродвигателя, а умная электроника отслеживает движение пользователя в совокупности с синхронизацией двигателей для обеспечения поддержки и противодействия потенциально разрушающим нагрузкам [8].

Этот ЭС имеет три режима автоматической работы. Режим Assist помогает пользователю выпрямиться из согнутого положения (поднятие тяжести), Walk переводит моторы в режим ожидания, когда происходит перемещение пользователя из одного места в другое, а положение Brake производит поддержку при опускании тяжестей [9]. Сочленения ЭС имеют двойные оси, так что каждый блок может принимать нужное положение при сгибании руки, талии и ноги. Встроенный микрокомпьютер и схемы управления установлены на спине.

Основная роль *Power Assist Suit* заключается в помощи медсестрам и физиотерапевтам больниц и поликлиник при подъёме и спуске пациентов (инсульт, травмы и т.д.). В ходе испытаний медсестра весом 64 килограмма смогла поднять и перенести пациента весом 70 килограммов [10].



Примечательно, что ЭС данной модели применялся на чемпионате мира по пауэрлифтингу в Азии и Океании в Китакусю-2018 и на соревнованиях по пауэрлифтингу в Японии-2017 в качестве помощи ассистентам, которые передвигают блины к штанге во время соревнований.

Завершить доклад по обзору ЭС в медицине хотелось бы российским вариантом. *ExoAtlet* – новейший инструмент роботизированной механотерапии разработанный российской компанией ООО «ЭкзоАтлет». ЭС *ExoAtlet* предназначен для реабилитации пациентов с локомоторными нарушениями нижних конечностей и подходит как для автономной роботизированной механотерапии, так и для совместного применения с системами разгрузки веса. С его помощью, можно расширить и персонализировать программу реабилитации, с учетом клинического случая и особенностей реабилитационного диагноза пациента [11].

Список медицинских случаев, в которых ExoAtlet помогает людям довольно обширен: реабилитация после травм позвоночника, восстановление после хирургического лечения спинальных патологий, инсульт, восстановление после эндопротезирования, ДЦП, рассеянный склероз, последствия черепно-мозговых травм и инфекционно-воспалительных поражений ЦНС [12].

ЭС *ExoAtlet* содержит в своём функционале естественный шаблон ходьбы с перекатом стопы (настройка под пациента), также в вычислительном блоке аппарата имеется облачный сервис для хранения, управления и анализа тренировок пациентов. В системе работы ЭС есть возможность аварийного отключения и защита от спастики. Кроме того, немаловажным фактором является то, что *ExoAtlet* позволяет подниматься по лестнице и другим неровным поверхностям.

Пациент может передвигаться в этом ЭС при помощи костылей, используемых для поддержания равновесия [13]. При этом управление устройством осуществляется с пульта, расположенного на костыле или страховочных ручках для сопровождающего (возможно управление с планшета). *ExoAtlet* имеет несколько режимов работы, в каждом из которых формируются разные управляющие сигналы на приводы. Движения ЭС формируются электродвигателями, расположенными в коленных и бедренных модулях конструкции, управление которыми осуществляет центральная плата, расположенная в рюкзаке аппарата.

Необходимо отметить, что *ExoAtlet* входит в подборку оборудования по приказу № 788н Министерства здравоохранения РФ от 31.07.2020 г. «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» как «Роботизированный тренажёр с БОС для восстановления навыков ходьбы со встроенной системой синхронизированной электростимуляцией, экзоскелет для реабилитации», «Роботизированный комплекс для локомоторной терапии (роботизированная механотерапия для восстановления навыков ходьбы)», «Система реабилитации виртуальная с использованием механотерапии/электростимуляции» [14].

Заключение

Применение медицинских ЭС в комплексной реабилитации пациентов позволяет значительно быстрее восстановить моторику нижних конечностей, повысить физическую активность, улучшить качество жизни пациентов с последствиями ДЦП, сосудистых болезней (инсультов), спинальных травм, патологий и т.д. ЭС поддерживает тело в стабильном положении, что обеспечивает снижение болевого синдрома, разработку и укрепление мышц конечностей, спины и пресса. Общее повышение активности пациента предотвращает застои крови и формирование тромбов, повышает эффективность реабилитационного периода, улучшает психоэмоциональное состояние пациента. ЭС позволяет безопасно провести тренировки пациента с ограничениями в движении на реальной поверхности, исключая риск потери координации движения или падения [15].



Медицинские ЭС существенно упрощают реабилитацию тяжело больных, расширяя возможности терапии и облегчая процесс контроля за тренировками для инструктора лечебно-восстановительных мероприятий. Кроме того, ряд медицинских ЭС (таких как *Power Assist Suit*) предназначен для персонала больниц с целью безопасного исполнения ими ухода за больными с полным или частичным ограничением движения.

В настоящее время ЭС стоят довольно дорого и не всегда доступны для рядовых пациентов. Но, учитывая их потенциал и предполагаемое экспоненциальное падение цен в ближайшие годы, ЭС в скором времени станут действительно распространёнными [16].

Список литературы:

1. Экзоскелет URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзоскелет> (дата обращения 06.10.2024)
2. Применение экзоскелетов в современной медицине и индустрии URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=21283> (дата обращения 06.10.2024)
3. Костюм сверхчеловека: что такое медицинский экзоскелет и зачем он нужен. URL: <https://reamed.su/media/articles/kostyum-sverkhcheloveka-cto-takoe-meditsinskiy-ekzoskelet-i-zachem-on-nuzhen/> (дата обращения: 06.10.2024).
4. Exoskeleton Prototype 3 (EXO-UL3) URL: <http://bionics.seas.ucla.edu/research/exoskeletondevice3.html> (дата обращения: 06.10.2024).
5. Нейроуправляемый экзоскелет Exoskeleton Prototype 3 URL: https://myrobot.ru/news/2009/01/20090122_1.php?ysclid=m1xqi6twoi737352627 (дата обращения: 06.10.2024).
6. Медицинский экзоскелет для инвалидов Phoenix – один из самых легких и доступных экзоскелетов URL: <https://teletype.in/@siz/ekzoskelet-phoenix?ysclid=m1xpkfbo5i266802841> (дата обращения: 06.10.2024).
7. PHOENIX FDA APPROVAL URL: <https://www.westonrobot.com/medical-exoskeleton-phoenix> (дата обращения: 08.10.2024).
8. Экзоскелет Power Assist Suit для повседневного использования URL: <https://komodo74.livejournal.com/26044805.html> (дата обращения: 11.10.2024).
9. Panasonic разработал экзоскелет для чемпионата мира по пауэрлифтингу URL: <https://www.techcult.ru/technics/7376-panasonic-razrabotal-ekzoskelet-dlya-chempionata-porauerlifingu> (дата обращения: 11.10.2024).
10. Nurses get bionic "power suit" URL: <https://www.newscientist.com/article/dn1072-nurses-get-bionic-power-suit/> (дата обращения: 08.10.2024).
11. ExoAtlet URL: <https://exoatlet.ru/exoatlet/> (дата обращения: 08.10.2024).
12. EXOATLET® I – роботизированный комплекс для реабилитации нижних конечностей и восстановления навыка ходьбы URL: <https://reamed.su/catalog/product/exoatlet-i/?ysclid=m20jip9fха368977551> (дата обращения: 08.10.2024).
13. Медицинский реабилитационный экзоскелет ExoAtlet (ЭкзоАтлет) URL: <https://atlantmedical.ru/product/189?ysclid=m20kdjjfm6711796291> (дата обращения: 08.10.2024).
14. ExoAtlet® I – Роботизированный комплекс для реабилитации нижних конечностей и восстановления навыка ходьбы URL: <https://tarpamed.ru/shop/reabilitacija/exoatlet-i-robotizirovannyi-kompleks-dlja-reabilitacii-nizhnih-konechnostei-i-vosstanovlenija-navyka.html> (дата обращения: 08.10.2024).
15. Экзоскелет ExoAtlet URL: <https://artmedgroup.com/katalog/oborudovanie-dlya-reabilitatsii/reabilitatsiya/ekzoskelet-exoatlet>
16. Экзоскелеты в здравоохранении: настоящее и будущее URL: <https://evercare.ru/news/ekzoskelety-v-zdravookhranении-nastoyaschee-i-budushee> (дата обращения: 08.10.2024).

