

## ЭКЗОСКЕЛЕТЫ В НЕВРОЛОГИИ: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

**Мирзаева Сарвиноз Содиковна**

*Ассистент кафедры Гистологии, цитологии и эмбриологии Самаркандского государственного медицинского университета*

**Хусанов Темурбек Бобуржонович**

*Студент 4 курса лечебного факультета 1 Самаркандского государственного медицинского университета*

### Аннотация

Обзорная статья посвящена медицинским экзоскелетам и их влиянию на неврологию и нейрореабилитацию. Рассмотрены инновационные технологии, предназначенные для поддержки и восстановления двигательных функций. В статье детально анализируются технологические аспекты экзоскелетов, включая источники питания, системы управления и механические скелеты с приводами. Особое внимание уделяется их применению в реабилитационной медицине и как средства поддержки для пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата. Статья подчеркивает важность разработки каждого компонента и их влияние на нейрореабилитацию, поднимая вопросы качества жизни для пациентов с неврологическими состояниями.

**Ключевые слова:** медицинские экзоскелеты, неврология, нейрореабилитация, функциональное восстановление, опорно-двигательный аппарат, технологические инновации, системы управления, биомеханика.

### Введение

В последние десятилетия медицинская технология переживает революцию, открывающую новые перспективы для неврологии и нейрореабилитации. Среди инновационных разработок выделяются медицинские экзоскелеты, представляющие собой передовые мехатронные устройства, спроектированные для активной поддержки и восстановления двигательных функций. Эта технология не только обретает широкое применение в реабилитационной медицине, но и открывает новые горизонты для пациентов с различными неврологическими состояниями.

Экзоскелет, изъясняемый как внешний каркас, представляет собой технологическое устройство, разработанное с целью расширения

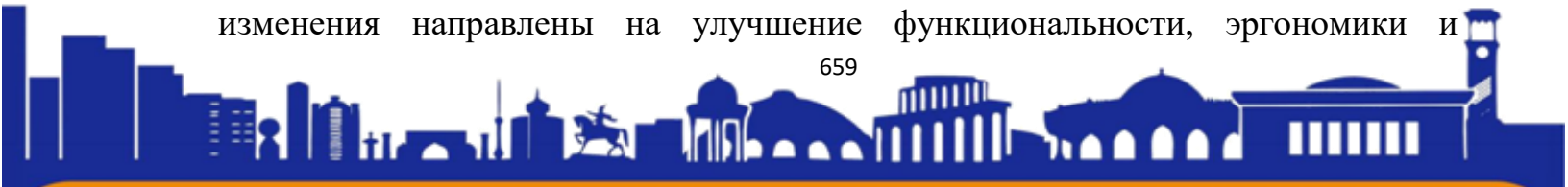


функциональных возможностей человека посредством внешнего каркаса, известного как экзоскелет, или костюма. Данное устройство не только направлено на усиление способностей здорового организма, но также служит в качестве средства поддержки для лиц, страдающих нарушениями опорно-двигательного аппарата. Ключевыми компонентами экзоскелетов являются источник питания, программируемая система управления, и механический скелет с приводами. Следует отметить, что проблемы, связанные с разработкой и усовершенствованием каждого из указанных компонентов, имеют схожий вес и значимость [14].

Одной из ключевых областей, где экзоскелеты проявляют свой потенциал, является реабилитация после травм спинного мозга и других неврологических повреждений. Также, они находят применение в лечении пациентов с инсультами, болезнью Паркинсона и другими заболеваниями, сопровождающимися нарушением моторики.

Первые работы в области экзоскелетов, направленные на увеличение их производительности, часто оставались лишь на бумаге, с небольшим числом неэффективных прототипов. В 1890 году Николаем Ягном были представлены патенты на устройство, напоминающее экзоскелет, но оно не было построено. В 1963 году Зарудный из баллистической лаборатории армии США представил экзоскелет для увеличения грузоподъемности солдата. В конце 1960-х годов в США появился прототип экзоскелета всего тела, названный Hardiman, но его масса превосходила полезную нагрузку. В университете Цукуба (Япония) была разработана концепция экзоскелета для увеличения производительности и реабилитации. Первый шагающий активный экзоскелет был создан в 1969 году в медицинских целях. В 1972–1974 годах в Белграде разработанный экзоскелет был передан российским ученым для исследования. В университете штата Висконсин в начале 1968 года был создан экзоскелет для помощи передвижению людям с параличом нижних конечностей [16].

Медицинские экзоскелеты пережили значительную эволюцию, начиная с ранних исследований в 2000-х и до современных тенденций. Развитие включает усовершенствование механики и дизайна, интеграцию биомеханики и бионики, а также последние тенденции в электронике и искусственном интеллекте. Эти изменения направлены на улучшение функциональности, эргономики и



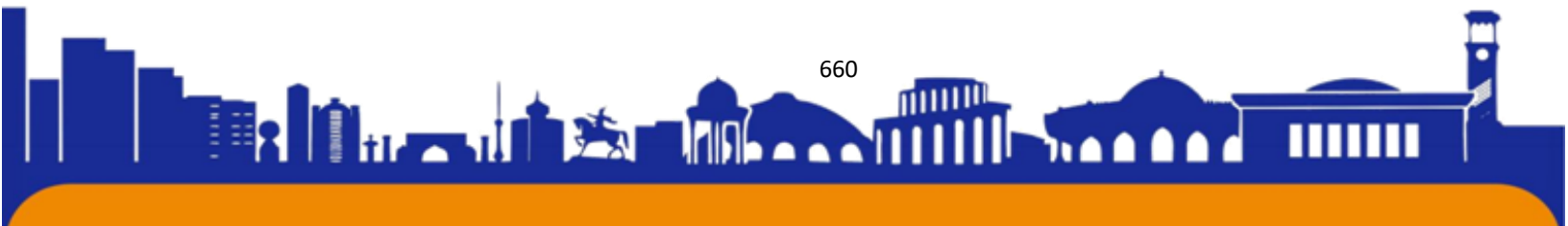


ISSN (E): 2181-4570 ResearchBib Impact Factor: 6,4 / 2023 SJIF(2023)-3,778 Volume-1, Issue-12

адаптивности экзоскелетов, делая их более эффективными в реабилитации и поддержке пациентов с неврологическими расстройствами. Перспективы включают интеграцию виртуальной и дополненной реальности, обещая еще более инновационные разработки в будущем.

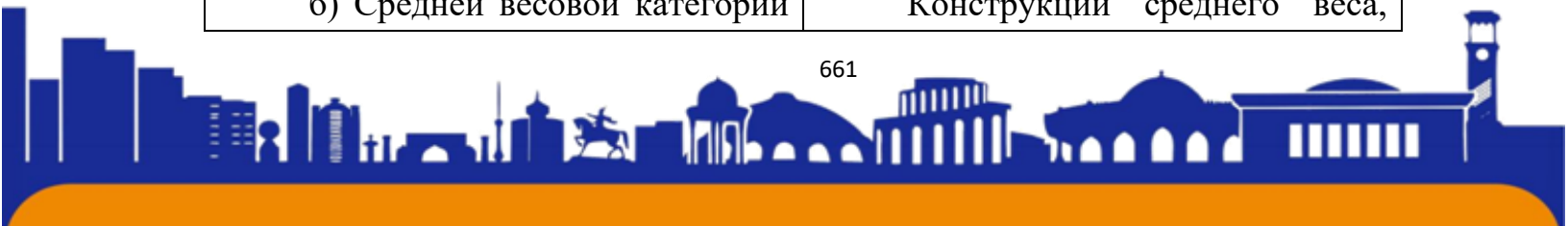
**Таблица 1. Классификация экзоскелетов [4].**

Критерий	Описание
<b>1. По источнику энергии и принципу работы</b>	
а) Активные экзоскелеты	Активные экзоскелеты функционируют благодаря электромеханическим приводам и необходимости во внешнем источнике энергии для активной поддержки движений.
б) Пассивные экзоскелеты	Эти экзоскелеты основаны на механических принципах и обеспечивают поддержку через механическую стабилизацию, не требуя внешнего источника энергии.
<b>2. По точке приложения (локализации)</b>	
а) Экзоскелет верхних конечностей	Предназначены для поддержки и усиления движений верхних конечностей.
б) Экзоскелет нижних конечностей	Предназначены для поддержки и улучшения двигательных функций нижних конечностей.
в) Экзоскелет-костюм	Полностью покрывают тело, обеспечивая поддержку и усиление





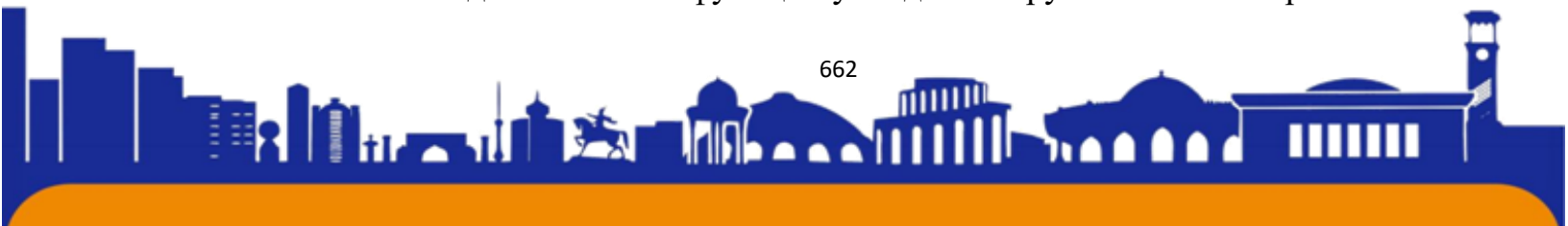
	движений по всему телу.
<b>3. По стоимости (условно)</b>	
а) Низкой стоимости (доступные)	В диапазоне 1000—10000 \$.
б) Средней ценовой категории	В диапазоне 10000—50000 \$.
в) Высокой стоимости	Более 50000 \$.
<b>4. По области применения</b>	
а) Военный	Применяются для военных целей, таких как усиление физической активности и поддержка в тяжелых условиях.
б) Медицинский	Используются в реабилитации и лечении медицинских состояний.
в) Промышленный	Применяются для улучшения производственных процессов и снижения физической нагрузки на рабочих.
г) Космический	Приспособлены для использования в условиях космического пространства, обеспечивая поддержку астронавтам.
<b>5. По весу конструкции</b>	
а) Легкие — до 5 кг	Конструкции с минимальным весом, обеспечивающие максимальную мобильность.
б) Средней весовой категории	Конструкции среднего веса,





— от 5 до 30 кг	обеспечивающие уравновешенный компромисс между мобильностью и функциональностью.
в) Тяжелые — более 30 кг	Мощные конструкции с высокой функциональностью, но с ограниченной мобильностью.
<b>6. По количеству функций</b>	
а) Экзоскелеты простого назначения	Предназначены для базовых задач и поддержки основных движений.
б) Экзоскелеты двойного назначения	Имеют дополнительные функции, превращаясь в универсальные устройства.
в) Экзоскелеты с расширенными функциями	Обладают широким спектром функций и возможностей для различных задач.
<b>7. По мобильности пациента</b>	
а) Мобильные	Обеспечивают высокую мобильность пациента при использовании.
б) Фиксированные (стационарные)	Предназначены для использования в стационарных условиях, без активного передвижения пациента.

Медицинские экзоскелеты функционируют на основе инновационных принципов мехатроники и биомеханики, обеспечивая активную поддержку и восстановление двигательных функций у людей с нарушениями моторики.



Детекция движений играет ключевую роль в функциональности экзоскелетов, обеспечивая точное и эффективное взаимодействие с пользователем. Основанные на передовых технологиях, такие системы обеспечивают высокую степень контроля и адаптации к динамике движений тела [6].

Одним из основных методов детекции является использование систем сенсоров и гироскопов в экзоскелете. Эти сенсоры отслеживают движения пользователя в режиме реального времени, предоставляя ценные данные для подстройки поддержки и обеспечения естественности движений.

Дополнительно, электромиография (ЭМГ) является важным инструментом для детекции движений. Путем записи электрической активности мышц, ЭМГ позволяет предсказывать и реагировать на намеренные движения пользователя. Этот метод не только обеспечивает высокую чувствительность, но и предоставляет информацию о мышечной активности, что критически важно для точного воспроизведения движений в реальном времени [13,19].

Комбинация этих технологий в экзоскелетах обеспечивает высокоинтегрированные системы детекции движений, повышая степень синхронизации с движениями пользователя и оптимизируя взаимодействие между человеком и техническим устройством. Такие инновации открывают перспективы для более широкого использования экзоскелетов в медицинских, военных и промышленных сценариях, где точность и надежность являются критическими факторами.

Продвинутые алгоритмы обработки данных и искусственного интеллекта играют ключевую роль в функционировании экзоскелетов. Они используют информацию о движении для выявления потребности в поддержке и реабилитации у пользователя. Регулярная ходьба человека была подвергнута научному анализу, включая разработку математической модели, компьютерное моделирование и кинематический анализ. Исследования позволили синтезировать законы движения для системы управления реабилитационного экзоскелета, обеспечивая тем самым перспективы в разработке систем управления сервоприводами медицинских экзоскелетов и создании будущих динамических моделей, учитывающих как физиологические особенности опорно-двигательного аппарата человека, так и шарниры экзоскелета. Эти

алгоритмы основываются на анализе динамических параметров движения, позволяя экзоскелету реагировать адекватно на изменения в двигательных паттернах. Кроме того, интеграция бионики в управлении экзоскелетом способствует адаптивному взаимодействию с пользователем, соответствуя естественным двигательным паттернам [9,10].

Механическая конструкция экзоскелета включает в себя моторизованные суставы и активные приводы, предоставляющие необходимую поддержку в движении. Эти компоненты позволяют реализовать индивидуализированную настройку уровня силы и сопротивления в соответствии с уникальными потребностями и физическими возможностями пользователя. Регулировка параметров поддержки осуществляется динамически, что обеспечивает оптимальное соответствие потребностям конкретного пользователя и улучшает эффективность экзоскелетной системы в процессе реабилитации и повседневной поддержки.

А также разработано внутреннее защитное устройство, интегрирующее систему обнаружения падений, подушки безопасности и механический экзоскелет для проверки суставов [29].

Эргономика и модульность представляют собой критически важные аспекты дизайна экзоскелетов, направленные на оптимизацию комфорта и функциональности для конечного пользователя. Эргономический дизайн включает в себя тщательное изучение анатомии и физиологии человека, чтобы обеспечить максимально возможный уровень комфорта и свободы движения. В некоторых исследованиях рассматривалась концепция анатомической параметризации, предполагающей установление соответствий между анатомическими характеристиками человеческого тела и параметрами механического устройства. Разрабатываемый экзоскелет выделяется возможностью полной подстройки под анатомические особенности различных пользователей, обусловленной инновационной конструкцией. Проверка эффективности этой концепции осуществлялась на специально разработанном испытательном стенде, имитирующем функции локтевого сустава. Результаты исследования подчеркивают перспективы применения данного подхода в разработке универсальных и комфортабельных экзоскелетов для широкого круга потенциальных пользователей [3,20].

Модульность предоставляет уникальные возможности для индивидуализации экзоскелетов. Модульные конструкции позволяют настраивать и адаптировать систему под конкретные требования каждого пациента. Этот гибкий подход позволяет учитывать различные факторы, такие как уровень физической активности, потребности в реабилитации, и особенности анатомии, обеспечивая тем самым максимальную эффективность и удовлетворение потребностей конечного пользователя. Модульность также обеспечивает возможность обновления и улучшения экзоскелета с течением времени, что важно в условиях постоянного развития технологий и требований пользователя [1].

Эксперименты также ведутся в области интерфейсов мозг-компьютер, предоставляющих возможность более точного управления экзоскелетом. Эти исследования включают в себя анализ сигналов мозга с целью расшифровки намерений пользователя и их трансляции в команды для экзоскелета. Такие технологии обеспечивают интерактивное взаимодействие между мозговой активностью и движениями экзоскелета, что может быть весьма полезным в контексте повседневной поддержки или реабилитации [15,17].

Достижения в области интерфейсов с нервной системой открывают перспективы для создания более интегрированных и адаптивных экзоскелетов, способных более естественно сочетаться с индивидуальными двигательными потребностями пользователей и улучшать их жизненный опыт [7].

Принципы работы медицинских экзоскелетов объединяют в себе современные технологии и научные исследования, направленные на создание интеллектуальных и адаптивных устройств, способных эффективно интегрироваться в реабилитацию и поддержку двигательных функций у пациентов с неврологическими расстройствами.

Экзоскелеты эффективно применяются в неврологии, особенно в реабилитации после травм спинного мозга. Они обеспечивают активную поддержку и восстановление двигательных функций, увеличивают интенсивность и продолжительность тренировок, способствуют улучшению психологического состояния пациентов. Персонализированный подход и положительные результаты исследований подчеркивают перспективы и эффективность этого метода в реабилитации [8].



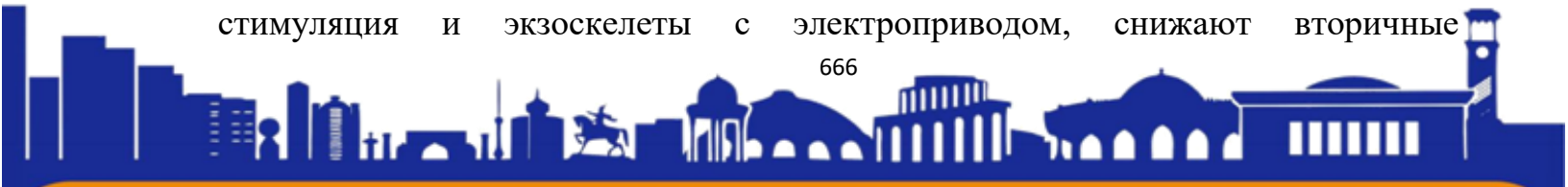


Исследования указывают на то, что интеграция промышленных экзоскелетов в качестве средств эргономики способствует снижению заболеваний опорно-двигательной системы, связанных с трудовой деятельностью. Несмотря на положительные результаты в уменьшении рисков, эти устройства могут приводить к повышенной мышечной активности, дополнительной нагрузке на поясничный отдел позвоночника и увеличению энергозатрат. Важно отметить, что, несмотря на выявленные положительные эффекты, использование экзоскелетов может вносить новые вызовы, такие как когнитивная перегрузка [30].

Нейрореабилитация, включающая инновационные методы для восстановления двигательных функций, приобрела новый вектор развития с внедрением медицинских экзоскелетов. Эти технологически продвинутое устройства предоставляют непревзойденные возможности в реабилитации пациентов, столкнувшихся с неврологическими нарушениями [23]. Экзоскелеты обеспечивают активную поддержку и стимулируют моторные функции путем детекции и поддержки физических движений. Одной из значимых характеристик экзоскелетов является их способность адаптироваться к индивидуальным потребностям пациента. Модульность конструкции и возможность настройки параметров поддержки делают экзоскелеты весьма гибкими в индивидуализации программ реабилитации [2].

Клинические исследования подтверждают положительные результаты использования экзоскелетов в нейрореабилитации. Пациенты, воспользовавшиеся этими устройствами, демонстрируют улучшение координации, увеличение силы мышц, и повышение общей функциональности. Экзоскелеты не только способствуют восстановлению двигательных навыков, но также оказывают положительное воздействие на психологическое благополучие пациентов, стимулируя мотивацию и уверенность [18].

Нарушения подвижности, вызванные травмой спинного мозга, инсультом или неврологическими заболеваниями, сопровождаются ухудшением качества жизни. Пролежни, депрессия и инфекции, возникающие в результате, требуют постоянной медицинской помощи. Исследования подчеркивают, что реабилитационные вмешательства, такие как функциональная электрическая стимуляция и экзоскелеты с электроприводом, снижают вторичные



медицинские осложнения и способствуют самостоятельному передвижению после таких нарушений [24].

В условиях пандемии COVID-19 неврологические последствия требуют комплексного подхода к реабилитации. Исследования, оценивающие программы нейрореабилитации с использованием информационно-коммуникационных технологий, демонстрируют эффективное влияние на нейропластичность, функциональное восстановление и общее качество жизни у пациентов с неврологическими проявлениями COVID-19 Koleva I. B., Yoshinov B. R., Yoshinov R. R. Robotic Neurorehabilitation in Neuro-COVID with Presentation of Clinical Cases //J Clin Stud Med Case Rep. – 2022. – Т. 9. – №. 0143. – С. 2.

Многочисленные курсы нейрореабилитации ВСИ + экзоскелета у пациентов с постинсультным гемипарезом поддерживают двигательную активность и приводят к значительным улучшениям. Эффективность реабилитации зависит от личной интерпретации болезни и мотивации пациентов. Функциональные упражнения с низкопрофильным экзоскелетом улучшают память и выносливость у пациентов с болезнью Паркинсона. Это подчеркивает потенциал экзоскелетов в нейрореабилитации [28].

В целях преодоления ограничений инвалидных колясок предложено инновационное мобильное устройство, объединяющее динамическую колесную мобильность с съемным экзоскелетом. Эта концепция обещает улучшить повседневную активность и реабилитацию у людей с ограниченными возможностями [25].

Интеграция экзоскелетов в нейрореабилитацию представляет перспективный путь для повышения эффективности программ восстановления. Однако для успешной реализации необходимо уделить внимание легкости материалов, разработке приводов и интерфейса, безопасности и доступности [26].

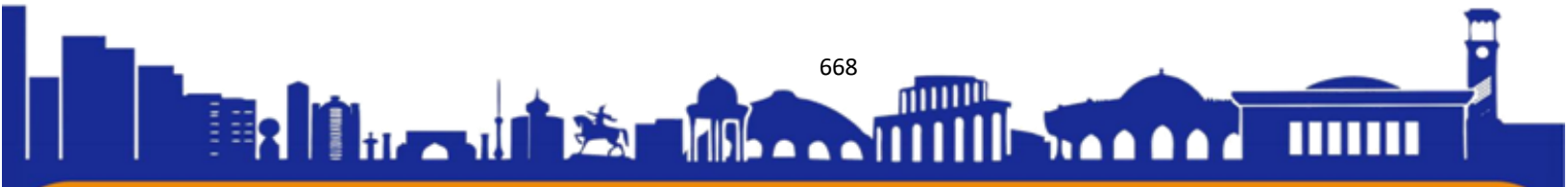
Исследование обнаружило, что пациенты с соматической патологией в стадии субкомпенсации и декомпенсации, применяющие экзоскелет в нейрореабилитации, сталкиваются с острыми проблемами, такими как тромбоз, лимфедема, и нарушения гемодинамики. Ортостатические расстройства, эпилепсия, мышечная спастичность, и проблемы с кровообращением



дополняют сложный клинический контекст. Заболевания опорно-двигательного аппарата и повреждения кожных покровов также ограничивают эффективность нейрореабилитации. Эти факторы подчеркивают важность индивидуализированного подхода при применении экзоскелета в реабилитации с учетом сопутствующих заболеваний [11]. Противопоказания к использованию нейрореабилитационных процедур с экзоскелетом у пациентов с рассеянным склерозом включают следующие ключевые факторы: временной интервал менее 4 недель с момента последнего обострения, высокая степень инвалидизации по шкале EDSS (оценка менее 3 или более 7 баллов), наличие нижней моноплегии или параплегии, нарушения чувствительности, оценка более 3 баллов в разделах "Мозжечковые функции" и "Функции мышления", а также наличие неадекватных ортостатических реакций. Эти критерии направлены на предотвращение возможных осложнений и подчеркивают важность индивидуализированного подхода при применении нейрореабилитации у данной категории пациентов [12]. В процессе тренировки с использованием экзоскелета осуществляется систематический мониторинг состояния пациента. Включает в себя регулярный речевой контакт, измерение пульса, артериального давления и насыщения крови. При появлении субъективных признаков ухудшения, таких как усталость или боли, рекомендуется временная пауза. Гемодинамические изменения, такие как увеличение ЧСС, САД и ДАД, или снижение насыщения крови ниже 95%, служат основанием для немедленного прекращения тренировочного процесса [21,22].

В итоге, рассмотренные аспекты медицинских экзоскелетов свидетельствуют о существенном влиянии этой инновационной технологии на неврологию и нейрореабилитацию. Мехатронные устройства, направленные на восстановление и поддержку двигательных функций, предоставляют новые возможности для пациентов с неврологическими состояниями. Анализ ключевых компонентов экзоскелетов подчеркивает важность их совершенствования для повышения эффективности и безопасности применения.

Экзоскелеты, как технологические инструменты, не только расширяют функциональные возможности здорового организма, но также предоставляют существенную поддержку для лиц с нарушениями опорно-двигательного



аппарата. Этот прогресс открывает перспективы для улучшения качества жизни пациентов с неврологическими заболеваниями.

В целом, развитие медицинских экзоскелетов представляет собой значимый шаг в эволюции методов нейрореабилитации, предоставляя эффективные средства лечения и поддержки для разнообразных неврологических состояний.

### Литература

1. АЛТУХОВ А. В. и др. БИОУПРАВЛЯЕМЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ЭКЗОСКЕЛЕТЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАТФОРМЕННОГО ПОДХОДА К ИХ РАЗРАБОТКЕ //Экстремальная деятельность человека. – 2021. – №. 1. – С. 74-80.
2. Булекбаева Ш. А. и др. Применение экзоскелета «ЕхоАтлет» в нейрореабилитации //Вопросы реабилитологии. – 2018. – №. 2. – С. 64-72.
3. Варгунин В. И., Владимиров Р. Л. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ КАК БУДУЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА //ББК 74.00 я43 Н 34. – 2017. – С. 8.
4. Воробьев А. А. и др. ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ //Хим.-фарм. журн. – 2014. – Т. 48. – №. 5. – С. 97-102.
5. Глухов Д. В. Научное обоснование современных методов физиолого-эргономической оценки промышленных экзоскелетов. – 2020.
6. Захаров А. В., Чаплыгин С. С., Колсанов А. В. Математическая модель оценки увеличения эффективности реабилитации при помощи технологии персонализированного подбора реабилитации с помощью адаптированной виртуальной среды //Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2020. – №. 4 (46). – С. 125-133.
7. Кагиров И. А. и др. Интеллектуальный интерфейс для управления роботизированным медицинским экзоскелетом нижних конечностей Remotion //Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – №. 5. – С. 92-98.
8. Карева Н. П., Шелякина О. В., Павлова Е. В. Перспективы антропоморфной робототехники в восстановлении пациентов после травмы спинного мозга (обзор литературы) //Современные проблемы науки и образования. – 2018. – №. 6. – С. 134-134.

9. Корневский Н. А. и др. Экзоскелет с биотехнической обратной связью для вертикализации пациентов //Медицинская техника. – 2017. – №. 3. – С. 48-51.

10. Постольный А. А. и др. Модели и алгоритмы управления движением экзоскелета для реабилитации человека //Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2021): сб. тр. по материалам VII Междунар. конф. и молодеж. шк.(г. Самара, 20-24 сент.):[в 3 т.]. – 2021.

11. Котов С. В. и др. Методические рекомендации по нейрореабилитации больных рассеянным склерозом, имеющих нарушения ходьбы, с использованием экзоскелета ExoAtlet. – 2018.

12. Котов С. В. и др. Эффективность применения экзоскелета ExoAtlet для восстановления функции ходьбы у больных рассеянным склерозом //Журнал неврологии и психиатрии. – 2017. – Т. 10. – №. 2. – С. 41-46.

13. Куст С. Ю. и др. Разработка медицинского экзоскелета с биоэлектрическим управлением //Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии-ФРЭМЭ'2020. – 2020. – С. 236-240.

14. Лоскутов Ю. В. и др. Компьютерное моделирование регулярной ходьбы на основе кинематического анализа движений и синтеза алгоритмов управления экзоскелета //Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – №. 3. – С. 47-60.

15. Люкманов Р. Х. Интерфейс мозг-компьютер с экзоскелетом кисти при постинсультном парезе руки (клинико-нейрофизиологическое и нейровизуализационное исследование): дис. – ФГБНУ Научный центр неврологии, 2019.

16. Парамзина А. С., Привалова А. Д. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ //Физика и медицина: создавая будущее. – 2018. – С. 283-285.

17. Погонченкова И. В. и др. Интерфейс мозг-компьютер с экзоскелетом кисти: новые возможности реабилитации //МОСКОВСКАЯ МЕДИЦИНА Учредители: Государственное бюджетное учреждение города Москвы" Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и



медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы". – №. 4. – С. 20-25.

18. Родионов А. С., Коваленко А. П., Кремлёв Д. И. Инновационные технологии нейрореабилитации в восстановлении ходьбы у пациентов с последствиями повреждения головного мозга //Известия Российской Военно-медицинской академии. – 2021. – Т. 40. – №. S1-3. – С. 273-278.

19. Рукина Н. Н. и др. Метод поверхностной электромиографии: роль и возможности при разработке экзоскелета (обзор) //Современные технологии в медицине. – 2016. – Т. 8. – №. 2. – С. 109-118.

20. Соколовский В. А. Эргономические особенности медицинского экзоскелета. Анатомическая параметризация. – 2020.

21. Ткаченко П. В., Даминов В. Д., Карпов О. Э. Использование экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой //Вестник восстановительной медицины. – 2017. – №. 2. – С. 126-132.

22. Ткаченко П. В., Даминов В. Д., Карпов О. Э. Синхронизированное применение экзоскелета с функциональной электростимуляцией у пациентов с последствиями травмы спинного мозга //Вестник восстановительной медицины. – 2018. – №. 3 (85). – С. 123-130

23. Фролов А. А. и др. Эффективность комплексной нейрореабилитации пациентов с постинсультным парезом руки с применением нейроинтерфейса «“мозг-компьютер”+экзоскелет» //Альманах клинической медицины. – 2016. – Т. 44. – №. 3. – С. 280-286.

24. Alibeji N. A. et al. A muscle synergy-inspired control design to coordinate functional electrical stimulation and a powered exoskeleton: Artificial generation of synergies to reduce input dimensionality //IEEE Control Systems Magazine. – 2018. – Т. 38. – №. 6. – С. 35-60.

25. Borisoff J. F., Mattie J., Rafer V. Concept proposal for a detachable exoskeleton-wheelchair to improve mobility and health //2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR). – IEEE, 2013. – С. 1-6.

26. Ferraro E. I. et al. Artificial musculature: An overview of the different exoskeleton models and their applications. – 2021.



27. Gryfe P., Sexton A., McGibbon C. A. Using gait robotics to improve symptoms of Parkinson's disease: an open-label, pilot randomized controlled trial //European Journal of physical and rehabilitation Medicine. – 2022. – T. 58. – №. 5. – C. 723.
28. Koleva I. B., Yoshinov B. R., Yoshinov R. R. Robotic Neurorehabilitation in Neuro-COVID with Presentation of Clinical Cases //J Clin Stud Med Case Rep. – 2022. – T. 9. – №. 0143. – C. 2.
29. Wang S., Sun J., Liu S. Fall prevention system based on airbag protection and mechanical exoskeleton support //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – T. 336. – C. 02015.
30. Zhu Y. et al. Neural and biomechanical tradeoffs associated with human-exoskeleton interactions //Applied ergonomics. – 2021. – T. 96. – C. 103494.