

УДК: 007.51

DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-1-6 EDN COHBFX **



ЭКЗОПОСТУРОЛОГИЯ КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РЕАБИЛИТАЦИИ И АБИЛИТАЦИИ (обзор литературы)

С.С. МУХОРТОВ

БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая больница №1»,
Московский просп., д. 151, корп. 1, Воронеж, 394066, Россия, e-mail: mukhortov.doc@mail.ru

Аннотация. В этом материале автор обосновывает необходимость введения нового термина «Экзопостурология» с целью создания отправной точки для систематизированного подхода в исследованиях, направленных на изучение взаимодействий человека и различных технических средств, дополняющих или замещающих различные функции, связанных с движением. Представлены различные подходы в изучении системы «человек-экзоскелет». Информация собиралась путем поиска на ресурсах *elibrary.ru*, *cyberleninka.ru*, *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*, *scholar.google.com* по запросам «экзоскелет», «поза», «постурология», «экзопостурология», «управление» в различных сочетаниях на русском и английском языках. При поиске материала особое внимание уделялось упоминанию в тексте особенностей управления экзоскелетными системами и влиянию внешних поддерживающих устройств экзоскелетного типа на реакцию организма в различных исполнениях. Также автор указывает на некоторое сходство исполнения экзоскелетов и протезов (в том числе бионических), перспективность перекрестного применения знаний, полученных при исследовании данных устройств. В результате проведенной работы выявлена большая разнородность исследований без единой структуризации подходов в анализе взаимодействия человека и внешнего устройства. Это создает предпосылки к тому, что развитие нового междисциплинарного направления «Экзопостурология» позволит исследователям консолидировать усилия, проще взаимодействовать друг с другом.

Ключевые слова: экзопостурология, постурология, поза, экзоскелет.

EXOPOSTUROLOGY AS A NEW DIRECTION IN REHABILITATION AND ABILITATION (literature review)

S.S. MUKHORTOV

State Budgetary Healthcare Institution of the Voronezh Region “Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1”
151 Moskovskiy Prospekt, Building 1, Voronezh, 394066, Russia, e-mail: mukhortov.doc@mail.ru

Abstract. In this material, the author substantiates the need to introduce the new term “Exoposturology” in order to establish a starting point for a systematized approach in studies aimed at examining the interactions between humans and various technical devices that complement or replace different movement-related functions. Various approaches to studying the “human–exoskeleton” system are presented. Information was gathered through searches on *elibrary.ru*, *cyberleninka.ru*, *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*, and *scholar.google.com* using the queries “exoskeleton,” “posture,” “posturology,” “exoposturology,” and “control” in different combinations in Russian and English. During the literature search, special attention was paid to references describing the control features of exoskeleton systems and the influence of external exoskeletal support devices on physiological responses in different configurations. The author also notes certain similarities between exoskeletons and prostheses (including bionic devices), as well as the potential for cross-applying knowledge obtained in the study of these technologies. As a result of the conducted work, significant heterogeneity of studies without a unified structured approach to analyzing human-device interactions was identified. This creates a premise that the development of a new interdisciplinary field, “Exoposturology,” will allow researchers to consolidate efforts and facilitate collaboration.

Keywords: exoposturology, posturology, posture, exoskeleton.

Введение. В последние годы мы стали свидетелями стремительного развития технологий и научных открытий, которые меняют наше представление о мире и открывают новые возможности для улучшения качества жизни людей. Одним из таких технологических прорывов является разработка и внедрение экзоскелетов – устройств, обеспечивающих поддержку и усиление, а в некоторых случаях и замещение физических возможностей человека.

Экзоскелеты представляют собой систему механических конструкций, которые надеваются на тело человека и обеспечивают дополнительную опору и поддержку при выполнении различных движений

или действий, требующих определенных физических усилий, или же непосредственно выполняют данное движение. Они могут использоваться в различных областях, начиная от медицины и реабилитации пациентов с различной патологией и заканчивая промышленностью и выполнением тяжелых работ.

Однако, использование экзоскелетов не ограничивается только этими сферами. В будущем мы можем ожидать еще более широкого применения этих технологий, включая освоение космоса, подводные исследования, строительство, военную сферу, и, конечно же, сферу быта, гражданского применения в повседневной жизни. Можно провести аналогию с мобильным телефоном (смартфоном). Сейчас это тот предмет, которым пользуются буквально каждый первый, а когда-то это было средство роскоши, имеющееся в расположении далеко не у каждого. По-видимому, экзоскелеты в различных исполнениях пройдут тот же путь и вскоре наполнят жизнь каждого человека новыми возможностями.

Сразу хочется предостеречь от стереотипного восприятия экзоскелета как довольно массивной машины, которая имеет большую массу и по своим возможностям сильно превосходит возможности, которые имеет само тело человека в здоровом состоянии. Это далеко не так. Мы не можем до конца осознавать, в каком именно направлении научная мысль по проектированию экзоскелетов приобретет особую силу – пассивные или активные модели, большие многосуставные или небольшие однодвухсуставные, замещающие, дополняющие или создающие новые движения экзоскелеты. Но, что совершенно точно понятно, так это то, что нужно больше внимания уделить исследованиям взаимодействия человека и экзоскелета как частей единой системы.

Целью данного исследования было указать на необходимость внедрения междисциплинарного подхода к проблемам взаимодействия человека и различных технических средств, дополняющих или замещающих различные функции, связанные с движением.

Материалы и методы исследования. Сбор информации осуществлялся путем поиска на ресурсах *elibrary.ru*, *cyberleninka.ru*, *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*, *scholar.google.com* по запросам «экзоскелет», «поза», «постурология», «экзопостурология», «управление» в различных сочетаниях на русском и английском языках. Анализировались способы взаимодействия человека и машины с точек рассмотрения «человек-машина» и «машина-человек». При поиске и анализе особое внимание уделялось упоминанию в материалах особенностей управления экзоскелетными системами и влиянию внешних поддерживающих устройств экзоскелетного типа на реакцию организма в различных исполнениях.

Результаты и их обсуждение. Постуральная система, которая размещает человека в окружающей его среде – система автоматическая; человек этого не осознает [13]. Но в условиях размещения в экзоскелете человек испытывает на себе сопротивление узлов аппарата и вынужден к этому приспособливаться.

Получение определенных преимуществ для человека от использования экзоскелета является конечной целью у разработчиков подобных конструкций. Однако, исследования, посвященные человеческому организму при его взаимодействии с экзоскелетом, остаются менее исчерпывающими, чем работы, посвященные конструкции (аппаратному / программному обеспечению) самого устройства экзоскелета [8, 23].

В доступной литературе известны данные [1], где автор исследует особенности моторного контроля у добровольцев при использовании пассивного экзоскелета нижних конечностей. Конструкции пассивных экзоскелетов весьма разнообразны по целям использования от реабилитационных для вертикализации [24, 25] до промышленных для верхних [12] и для нижних [27] конечностей. Также есть работы иностранных исследователей, изучающих моторный контроль в различных исполнениях [9, 11, 22, 26].

Ученые из различных институтов совершенствуют конструкции машин для еще большего приближения к естественным движениям человека, исследуются люди для создания моделей кинематического поведения узлов аппаратов, исследуется эффективность использования данных машин в различных отраслях, таких как медицина, сфера труда, военное дело. Однако, кинематика экзоскелета рассматривается в большинстве случаев как самостоятельная система, в которую помещается человек. Человек же (чаще пациент, он же пилот) исследуется до и после появления в его жизни экзоскелета. Но что происходит во время нахождения человека в этой машине, как он реагирует на движения экзоскелета, как он пытается адаптироваться к новым условиям, как экзоскелет способен распознавать различные сигналы от пациента и, самое главное, реагировать на них? Вопросы актуальные. Некоторые ученые уже пытались приблизиться к ответу на данный вопрос. Есть работы, где исследовались взаимодействия организма человека и экзоскелета, например исследование [5], в котором было показано, что пропорциональное миоэлектрическое управление может иметь явные преимущества перед другими типами управления роботизированными экзоскелетами, или же работа [6], в которой авторы использовали нейроинтегрированную систему управления роботизированным экзоскелетом нижних конечностей с интерфейсом «мозг-компьютер», основанную на распознавании паттернов электроэнцефалографии, или же работа [21], в которой была предложена адаптивная схема управления экзоскелетом, основанная на параметрах импеданса как робота, так и человека. В свою очередь некоторые исследователи [16] даже провели классификацию методов управления, используемых в работах с экзоскелетами: система управления, основанная

на биологическом сигнале человека, небиологическом сигнале и система управления, независимая от платформы.

Другой авторской группой [7] было показано, что оператор и экзоскелет образуют интегрированную человеко-машинную систему, которая для обеспечения согласованности и синхронности использует человеко-машинный интерфейс, осуществляющий обработку сигналов датчиков угловых перемещений и датчиков, измеряющих усилия со стороны пациента и машины, и обеспечивающий заданные движения экзоскелета путем выработки необходимых сигналов управления. Данное представление материала дает основу для планирования будущих исследований и для проектирования экзоскелетов.

Нельзя также обойти стороной влияние внешних воздействий от экзоскелета на восстановление навыков при различных заболеваниях.

Применение экзоскелетов при реабилитации пациентов с заболеваниями, связанными с нарушением функций конечностей, будь то инсульт, спинальная травма, детский церебральный паралич, уже не являются чем-то необычным, а прочно укрепились в лечебном процессе медицинских организаций [4, 10].

Использование экзоскелета в этих случаях призвано не только произвести механическую тренировку, кардиотренировку, вертикализацию (при использовании экзоскелета нижних конечностей), но и оказать должный психологический эффект, дать пациенту ощущение «дееспособности», если можно это так назвать [14, 18].

В основном в данном направлении выделяют экзоскелеты верхних и нижних конечностей (не умоляя значимости экзоскелетов других частей тела, но их значительно меньше заявленных) [2, 3], с наличием биологически-обратной связи и без нее. Также деление можно произвести по типу приводов (серво-, гидро-, пневмоагрегаты и др.) [19] и вообще по их наличию (пассивные и активные экзоскелеты), по типу интеграции («пилот часть машины» или «машина часть пилота»). И, пожалуй, самое сильное деление: экзоскелеты для реабилитации и экзоскелеты для абилитации, ведь требования, предъявляемые к аппаратам будут совсем разными, когда нужно восстановить функцию без дальнейшего использования оборудования и когда нужно эту функцию протезировать.

И в этом месте может возникнуть справедливый вопрос: «А можно ли протезы отнести к разряду экзоскелетов?» По моему мнению, не только можно, но и нужно, так как классификацию экзоскелетов можно практически без изменений перенести на классификацию протезов. И, к тому же, современное протезирование, как и экзоскелетостроение, настолько сильно продвинулось вперед, что производителям есть чему поучиться друг у друга [15, 17, 20].

Реабилитационные экзоскелеты – это особая и быстро развивающаяся отрасль, в которой есть реальный спрос на продукцию, из-за чего производители неустанно совершенствуются, пытаясь сохранить конкурентоспособность, расширяют круг компетенций, повышая уровень комфорта задействованных лиц и эффективность оборудования.

В целом, при рассмотрении экзоскелета и человека как единого целого перед нами открывается огромное и недостаточно изученное поле для исследовательской деятельности. Как и любое научное направление, требующее подключения большого количества заинтересованных умов по всему миру и консолидации общих усилий в едином ключе, данное направление должно иметь название (понятие), достаточно отражающее его суть.

И таким понятием, на мой взгляд, может быть «экзопостурология». На момент окончания написания данного материала 13 июня 2025 года информации с упоминанием данного термина в открытых источниках мною найдено не было, поэтому осмелюсь быть первым. Определение данного понятия может быть выражено несколькими способами, в зависимости от точки рассмотрения:

Экзопостурология – научное направление, изучающее:

– влияние внешних поддерживающих устройств (включая экзоскелет) и человека друг на друга как компонентов единой системы, стремящейся к равновесию;

– особенности поддержания равновесия и позы в покое и при движении у человека при использовании экзоскелетов и под влиянием других технических средств, дополняющих или замещающих различные функции выключенных или малофункциональных по различным причинам частей тела;

– взаимодействие систем поддержания позы и равновесия организма со схожими внешними системами.

Заключение. Взаимодействия с внешними поддерживающими или ограничивающими устройствами требуют от организма решения сложных, порой впервые возникших для него задач, строятся новые связи, формируются новые локомоторные паттерны. Подобные взаимоотношения требуют углубленного изучения, так как экзотехнологии всё шире внедряются в нашу жизнь. Консолидация общих усилий по развитию экзопостурологии будет способствовать формированию системного подхода к изучению взаимодействия человека и различных технических средств, дополняющих или замещающих различные функции, связанные с движением.

Литература

- 1.Бабанов Н.Д., Кубряк О.В. Моторный контроль у добровольцев в экзоскелете и при выполнении задачи с визуальной обратной связью. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2022.
- 2.Бижанов Д., Жетенбаев Н., Шингисов Б., Нушибалиева А., Сейсенова Д.. Обзор и анализ экзоскелетов верхней конечности для реабилитации // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2023. № 1(124). С. 315-323. DOI 10.52167/1609-1817-2023-124-1-315-323. EDN OCYESV.
- 3.Котов Е.А., Друк А.Д., Клыпин Д.Н. Разработка экзоскелета нижних конечностей человека для медицинской реабилитации // Омский научный вестник. 2021. № 4(178). С. 91-97. DOI 10.25206/1813-8225-2021-178-91-97. EDN NKVWWG.
- 4.Гильмутдинова Л.Т., Фаизова Э.Р., Гильмутдинов Б.Р., Исеева Д.Р., Луговая Д.А., Фаизова Д.Э.. Применение экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с нарушениями двигательной активности // Физиотерапевт. 2024. № 2. С. 38-43. DOI 10.33920/med-14-2402-05. EDN FIYVSP.
- 5.Рукина Н.Н., Кузнецов А.Н., Борзиков В.В., Комкова О.В., Белова, А.Н.. Метод поверхностной электромиографии: роль и возможности при разработке экзоскелета (обзор) // Современные технологии в медицине. 2016. Т. 8, № 2. С. 109-118. DOI 10.17691/stm2016.8.2.15. EDN WMPGLD.
- 6.Шестаков В.К. Интерфейс взаимодействия оператора и экзоскелета, использующий электроэнцефалографию // Вестник науки. 2024. Т. 1. №. 6 (75). С. 1765-1772.
- 7.Яцун С.Ф., Яцун А.С. Модели и алгоритмы управления экзоскелетами промышленного назначения. М., 2021.
- 8.Almusawi H., Husi G. Design and development of continuous passive motion (CPM) for fingers and wrist grounded-exoskeleton rehabilitation system //Applied Sciences. 2021. Т. 11. №. 2. С. 815. DOI 10.3390/app11020815.
- 9.Bastide S., Vignais N., Geffard F., Berret B.. Interacting with a “transparent” upper-limb exoskeleton: A human motor control approach //2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. С. 4661-4666. DOI 10.1109/IROS.2018.8593991
- 10.Cao H.L., Pham D.D., Luu T.H., Le P.H., Nguyen Q.T., Thien T.P.T., Nguyen C.N.. Therapists’ perspective on acceptance of robot-assisted physical rehabilitation in a middle-income country: a study from Vietnam // Disabil Rehabil Assist Technol. 2025. Vol. 20, № 2. P. 388–396. DOI 10.1080/17483107.2024.2378057
- 11.Chen B., Zhou Y., Chen C., Sayeed Z., Hu J., Qi J., Palacio, C. . Volitional control of upper-limb exoskeleton empowered by EMG sensors and machine learning computing //Array. 2023. Т. 17. С. 100277. DOI 10.1016/j.array.2023.100277.
- 12.Coccia A., Capodaglio E. M., Amitrano F., Gabba V., Panigazzi M., Pagano G., D’Addio G.. Biomechanical effects of using a passive exoskeleton for the upper limb in industrial manufacturing activities: A pilot study //Sensors. 2024. Т. 24. №. 5. С. 1445. DOI 10.3390/s24051445.
- 13.Conde-Vázquez O., Calvo-Moreno S. O., Villeneuve P., Conde O.. Pierre-Marie Gagey and the evolution of posturology: unraveling the complexity of the fine postural control system // Cureus. 2024. Т. 16. №. 9. P. 101–102. DOI 10.7759/cureus.69052
- 14.Fan T., Zheng P., Zhang X., Gong Z., Shi Y., Wei M., Huang G.. Effects of exoskeleton rehabilitation robot training on neuroplasticity and lower limb motor function in patients with stroke // BMC Neurol. BioMed Central Ltd, 2025. Vol. 25, № 1. P. 102–103. DOI 10.1186/s12883-025-04203-7
- 15.Farina D., Vuylaklij I., Bränemark R., Bull A. M., Dietl H., Graimann B., Aszmann O. C.. Toward higher-performance bionic limbs for wider clinical use // Nat Biomed Eng. Nature Research, 2023. Vol. 7, № 4. P. 473–485. DOI 10.1038/s41551-021-00732-x
- 16.Gunasekara, J.M.P., Gopura R.A.R.C., Jayawardane T.S.S., Lalitharathne S.W.H.M.T.D.. Control methodologies for upper limb exoskeleton robots. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, 2012. P. 19–24. DOI 10.1109/SII.2012.6427387
- 17.Guo K., Lu J., Wu Y., Hu X., Yang, H.. The Latest Research Progress on Bionic Artificial Hands: A Systematic Review // Micromachines (Basel). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). 2024. Vol. 15, № 7. P. 104–105. DOI 10.3390/mi15070891
- 18.Ivanenko Y., Shapkova E.Y., Petrova D.A., Kleeva D.F., Lebedev M. A.. Exoskeleton gait training with spinal cord neuromodulation // Front Hum Neurosci. 2023. Vol. 17. P. 201–202. DOI 10.3389/fnhum.2023.1194702
- 19.Knaepen K., Beyl P., Duerinck S., Hagman F., Lefebvre D., Meeusen R.. Human–Robot Interaction: Kinematics and Muscle Activity Inside a Powered Compliant Knee Exoskeleton // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2014. Vol. 22, № 6. P. 1128–1137. DOI 10.1109/TNSRE.2014.2324153
- 20.Laschowski B., McNally W., Wong A., McPhee J.. Environment Classification for Robotic Leg Prostheses and Exoskeletons Using Deep Convolutional Neural Networks // Front Neurorobot. 2022. Vol. 15. DOI 10.3389/fnbot.2021.730965
- 21.Lu R., Li Z., Su C.Y., Xue A.. Development and Learning Control of a Human Limb With a Rehabilitation Exoskeleton // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2013. Vol. 61, № 7. P. 3776–3785. DOI 10.1109/TIE.2013.2275903
- 22.Miranda A.B.W., Yasutomi A.Y., Souit C., Forner-Cordero A.. Bioinspired mechanical design of an upper limb exoskeleton for rehabilitation and motor control assessment. 2012 4th IEEE RAS & EMBS Interna-

tional Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). IEEE, 2012. P. 1776–1781. DOI 10.1109/BioRob.2012.6290811

23. Nasr A., Bell S., McPhee J. Optimal design of active-passive shoulder exoskeletons: A computational modeling of human-robot interaction //Multibody System Dynamics. 2023. T. 57. №. 1. C. 73-106. DOI 10.1007/s11044-022-09855-8.

24. Ostraich B., Riemer R. Design of a multi-joint passive exoskeleton for vertical jumping using optimal control //IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2022. T. 30. C. 2815-2823. DOI 10.1109/TNSRE.2022.3209575.

25. Paez-Granados D.F., Kadone H., Hassan M., Chen Y., Suzuki K. Personal mobility with synchronous trunk-knee passive exoskeleton: Optimizing human–robot energy transfer //IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 2022. T. 27. №. 5. C. 3613-3623. DOI 10.1109/TMECH.2021.3135453

26. Ruiz A.F., Forner-Cordero A., Rocon E., Pons J. L.. Exoskeletons for Rehabilitation and Motor Control // The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2006. BioRob 2006. IEEE. P. 601–606. DOI 10.1109/BIOROB.2006.1639155

27. Yan Z., Han B., Du Z., Huang T., Bai O., Peng A.. Development and testing of a wearable passive lower-limb support exoskeleton to support industrial workers //Biocybernetics and Biomedical Engineering. 2021. T. 41. №. 1. C. 221-238. DOI 10.1016/j.bbe.2020.12.010.

References

- 1.Babanov ND, Kubryak OV. Motornij kontrol' u dobrovol'cev v ekzoskelete i pri vypolnenii zadachi s vizual'noj obratnoj svyaz'yu [Motor control in volunteers in an exoskeleton and when performing a task with visual feedback]. FGAOU VO «Nacional'nyj issledovatel'skij Nizhegorodskij gosudarstvennyj universitet im. N.I. Lobachevskogo», 2022. Russian.
- 2.Bizhanov D, Zhetenbaev N, Shingisov B, Nusibalieva A, Sejsenova D. Obzor i analiz ekzoskeletov verhnej konechnosti dlya reabilitacii [Review and analysis of upper limb exoskeletons for rehabilitation]. Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. 2023;1(124): 315-323. DOI 10.52167/1609-1817-2023-124-1-315-323. EDN OCYESV. Russian.
- 3.Kotov EA, Druk AD, Klypin DN. Razrabotka ekzoskeleta nizhnih konechnostej cheloveka dlya medicinskoj reabilitacii [Development of an exoskeleton of human lower extremities for medical rehabilitation]. Omskij nauchnyj vestnik. 2021;4(178): 91-97. DOI 10.25206/1813-8225-2021-178-91-97. EDN NKVWWG. Russian.
- 4.Gil'mutdinova LT, Faizova ER, Gil'mutdinov B, Iseeva DR, Lugovaya DA, Faizova DE. Primenenie ekzoskeleta v kompleksnoj reabilitacii pacientov s narusheniyami dvigatel'noj aktivnosti [The use of an exoskeleton in the complex rehabilitation of patients with impaired motor activity]. Fizioterapevt. 2024; 2:38-43. DOI 10.33920/med-14-2402-05. EDN FIYVSP. Russian.
- 5.Rukina NN, Kuznecov AN, Borzikov VV, Komkova OV, Belova AN. Metod poverhnostnoj elektromiografii: rol' i vozmozhnosti pri razrabotke ekzoskeleta (obzor) [The method of surface electromyography: the role and possibilities in the development of an exoskeleton (review)]. Sovremennye tekhnologii v medicine. 2016;8:109-118. DOI 10.17691/stm2016.8.2.15. EDN WMPGLD. Russian.
- 6.Shestakov VK. Interfejs vzaimodejstviya operatora i ekzoskeleta, ispol'zuyushchij elektroencefalografiyu [The interface of interaction between the operator and the exoskeleton using electroencephalography]. Vestnik nauki. 2024;1 (75):1765-1772. Russian.
- 7.Yacun SF, Yacun AS. Modeli i algoritmy upravleniya ekzoskeletami promyshlennogo naznacheniya [Models and algorithms for controlling industrial exoskeletons]. M., 2021. Russian.
- 8.Almusawi H, Husi G. Design and development of continuous passive motion (CPM) for fingers and wrist grounded-exoskeleton rehabilitation system. Applied Sciences. 2021;11:815. DOI 10.3390/app11020815.
- 9.Bastide S, Vignais N, Geffard F, Berret B. Interacting with a “transparent” upper-limb exoskeleton: A human motor control approach. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. S. 4661-4666. DOI 10.1109/IROS.2018.8593991
- 10.Cao HL, Pham DD, Luu TH, Le PH, Nguyen QT, Thien TPT, Nguyen CN. Therapists' per-spective on acceptance of robot-assisted physical rehabilitation in a middle-income country: a study from Vietnam. Disabil Rehabil Assist Technol. 2025;20:388–396. DOI 10.1080/17483107.2024.2378057
- 11.Chen B, Zhou Y, Chen C, Sayeed Z, Hu J, Qi J, Palacio C . Volitional control of upper-limb exoskeleton empowered by EMG sensors and machine learning computing. Array. 2023;17:100277. DOI 10.1016/j.array.2023.100277.
- 12.Coccia A, Capodaglio E M, Amitrano F, Gabba V, Panigazzi M, Pagano G, D'Addio G.. Biomechanical effects of using a passive exoskeleton for the upper limb in industrial manufacturing activities: A pilot study Sensors. 2024;24:1445. DOI 10.3390/s24051445.
- 13.Conde-Vázquez O, Calvo-Moreno S O, Villeneuve P, Conde O. Pierre-Marie Gagey and the evolution of posturology: unravelling the complexity of the fine postural control system. Cureus. 2024;16:101–102. DOI 10.7759/cureus.69052
- 14.Fan T, Zheng P, Zhang X, Gong Z, Shi Y, Wei M, Huang G.. Effects of exoskeleton rehabilitation robot training on neuroplasticity and lower limb motor function in patients with stroke. BMC Neurol. BioMed Central Ltd, 2025;25:102–103. DOI 10.1186/s12883-025-04203-7

- 15.Farina D, Vuiklija I, Brânemark R, Bull A M, Dietl H, Graumann B, Aszmann O C. Toward higher-performance bionic limbs for wider clinical use. *Nat Biomed Eng.* Nature Research, 2023;7:473–485. DOI 10.1038/s41551-021-00732-x
- 16.Gunasekara JMP, Gopura RARC, Jayawardane TSS, Lalitharathne SWHMTD. Control methodologies for upper limb exoskeleton robots. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, 2012. P. 19–24. DOI 10.1109/SII.2012.6427387
- 17.Guo K, Lu J, Wu Y, Hu X, Yang, H.. The Latest Research Progress on Bionic Artificial Hands: A Systematic Review. *Micromachines* (Basel). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). 2024;15:104–105. DOI 10.3390/mi15070891
- 18.Ivanenko Y, Shapkova EY, Petrova DA, Kleeva DF, Lebedev M A.. Exoskeleton gait training with spinal cord neuromodulation. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:201–202. DOI 10.3389/fnhum.2023.1194702
- 19.Knaepen K, Beyl P, Duerinck S, Hagman F, Lefeber D, Meeusen R.. Human–Robot Interaction: Kinematics and Muscle Activity Inside a Powered Compliant Knee Exoskeleton. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2014;22:1128–1137. DOI 10.1109/TNSRE.2014.2324153
- 20.Laschowski B, McNally W, Wong A, McPhee J.. Environment Classification for Robotic Leg Prostheses and Exoskeletons Using Deep Convolutional Neural Networks. *Front Neurorobot.* 2022;15. DOI 10.3389/fnbot.2021.730965
- 21.Lu R, Li Z, Su CY, Xue A.. Development and Learning Control of a Human Limb With a Rehabilitation Exoskeleton. *IEEE Transactions on Industrial Electronics.* 2013;1:3776–3785. DOI 10.1109/TIE.2013.2275903
- 22.Miranda ABW, Yasutomi AY, Souit C, Forner-Cordero A.. Bioinspired mechanical design of an upper limb exoskeleton for rehabilitation and motor control assessment. 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). IEEE, 2012. P. 1776–1781. DOI 10.1109/BioRob.2012.6290811
- 23.Nasr A, Bell S, McPhee J. Optimal design of active-passive shoulder exoskeletons: A computational modeling of human–robot interaction. *Multibody System Dynamics.* 2023;57:73–106. DOI 10.1007/s11044-022-09855-8.
- 24.Ostraich B, Riemer R. Design of a multi-joint passive exoskeleton for vertical jumping using optimal control. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.* 2022;30:2815–2823. DOI 10.1109/TNSRE.2022.3209575.
- 25.Paez-Granados DF, Kadone H, Hassan M, Chen Y, Suzuki K. Personal mobility with synchronous trunk–knee passive exoskeleton: Optimizing human–robot energy transfer . *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics.* 2022;27:3613–3623. DOI 10.1109/TMECH.2021.3135453
- 26.Ruiz AF, Forner-Cordero A, Rocon E, Pons J L.. Exoskeletons for Rehabilitation and Motor Control. The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2006. BioRob 2006. IEEE. P. 601–606. DOI 10.1109/BIOROB.2006.1639155
- 27.Yan Z, Han B, Du Z, Huang T, Bai O, Peng A.. Development and testing of a wearable passive lower-limb support exoskeleton to support industrial workers. *Biocybernetics and Biomedical Engineering.* 2021;41: 221–238. DOI 10.1016/j.bbe.2020.12.010.

Библиографическая ссылка:

Мухортов С.С. Экзопостурология как новое направление реабилитации и абилитации (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №6. Публикация 1-6. URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/1-6.pdf> (дата обращения: 25.11.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-1-6. EDN COHBFX*

Bibliographic reference:

Mukhortov SS. Ekzoposturologiya kak novoe napravlenie reabilitacii i abilitacii (obzor literatury) [Exoposturology as a new direction in rehabilitation and abilitation (literature review)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2025 [cited 2025 Nov 25];6 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/1-6.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-1-6. EDN COHBFX

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/e2025-6.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY