

А. А. Воробьев^{1,2}, **Ф. А. Андрющенко**²,
А. С. Мазунов¹✉, **Е. Е. Писарева**¹, **Е. В. Венскель**¹,
О. Д. Чулков¹, **В. О. Чернов**^{1,3}

¹ Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

² Федеральный центр поддержки разработки и производства экзопротезов

Волгоградского государственного медицинского университета, Волгоград, Россия

³ Больница № 16, Волгоград, Россия

✉ astra_83@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКЗОСКЕЛЕТНОГО ОРТЕЗИРОВАНИЯ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ПАЦИЕНТОВ СТАРШЕЙ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ

*3.1.33. Восстановительная медицина, спортивная медицина,
лечебная физкультура, курортология и физиотерапия
и медико-социальная реабилитация*

Аннотация. Причинами верхних моно- и парализованных, приводящих к инвалидизации, зачастую оказываются инсульт, миопатии и травмы, частота которых увеличивается с возрастом. Необходима оценка результатов, особенностей и перспективы применения инновационного метода экзоскелетной абилитации и реабилитации у возрастных пациентов.

Цель: показать возможности применения модификации пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» в комплексной абилитации и реабилитации у пациентов старшей возрастной группы с верхним вялым пара- и монопарезом.

Материалы и методы. Обобщен опыт использования экзоскелета «ЭКЗАР-34» с применением способа анатомической параметризации у 2 женщин и 2 мужчин в возрасте 63–86 лет с верхним вялым пара- и монопарезом различной этиологии. Прибегали к гониометрии, исследованию неврологического статуса.

Результаты. Выявлены и описаны конструктивные особенности модификации экзоскелета верхних конечностей серии «ЭКЗАР», подлежащего применению у возрастных пациентов с верхними моно- и парализованными. Продемонстрировано как в результате экзоскелетной абилитации и реабилитации всем больным обсуждаемой категории в короткие сроки удалось стойко увеличить объем отведения и сгибания в скомпроментированных патологией плечелопаточных сочленениях от уровня значительного до незначительного ограничения, что существенно улучшило их качество жизни. Обозначена концепция и дана оценка положительным и отрицательным аспектам применения пассивных экзоскелетов в комплексе абилитационных и реабилитационных мероприятий при моно- и парализованных у лиц пожилого и преклонного возраста. Обосновано расширение показаний и определены условия использования пассивного экзоскелета при спастической парализованности. Раскрыты патогенетические эффекты и патофизиологические механизмы воздействия экзоскелетов серии «ЭКЗАР» на нейромышечную передачу.

Выводы. Первый опыт использования пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» у пациентов старшей возрастной группы с верхним вялым пара- и монопарезом свидетельствует о хорошей переносимости экзоскелета и выраженных абилитационном и реабилитационном эффектах. Расширение показаний к использованию экзоскелета «ЭКЗАР-34» возможно за счет группы больных с постинсультными осложнениями в виде спастической парализованности, после предварительной терапии ботулотоксином.

Ключевые слова: *верхний вялый пара- и монопарез, брахиоплексопатия, осложнения инсульта, миопатия, абилитация и реабилитация, экзоскелет верхних конечностей, пассивные экзоскелеты, ЭКЗАР-34, геронтология, ботулотоксин*

VOLGOGRAD SCIENTIFIC AND MEDICAL JOURNAL. 2025. VOL. 22, NO. 2. P. 78–85.

ORIGINAL ARTICLE

doi: <https://doi.org/10.19163/2658-4514-2025-22-2-78-85>

A. A. Vorobiev^{1,2}, **F. A. Andryushchenko**², **A. S. Mazunov**¹✉,
E. E. Pisareva¹, **E. V. Venskel**¹, **O. D. Chulkov**¹, **V. O. Chernov**^{1,3}

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia² Federal Center for Supporting the Development and Production of Exoprostheses
of Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia³ Hospital №16, Volgograd, Russia.✉ astra_83@mail.ru

PROSPECTS OF EXOSKELETAL ORTHOSIS OF THE UPPER EXTREMITIES IN PATIENTS OF THE OLDER AGE GROUP

3.1.33. *Restorative medicine, sports medicine, physical therapy, balneology and physiotherapy, and medical and social rehabilitation*

Abstract. Introduction. The causes of upper mono- and paraparesis leading to disability are often stroke, myopathy and trauma, the frequency of which increases with age. It is necessary to evaluate the results, features and prospects of using the innovative method of exoskeleton habilitation and rehabilitation in elderly patients. **Objective:** to demonstrate the possibilities of using the modification of the passive exoskeleton of the upper limbs "EXAR-34" in complex habilitation and rehabilitation of older patients with upper flaccid para- and monoparesis. **Materials and methods.** The experience of using the EXAR-34 exoskeleton using the anatomical parameterization method in 2 women and 2 men aged 63–86 years with upper flaccid para- and monoparesis of various etiologies is summarized. Goniometry and neurological status examination were used. **Results.** The design features of the modification of the upper limb exoskeleton of the EXAR series, to be used in elderly patients with upper mono- and paraparesis, are revealed and described. It is demonstrated how, as a result of exoskeleton habilitation and rehabilitation, all patients of the discussed category in a short time managed to steadily increase the volume of abduction and flexion in the shoulder-scapular joints compromised by pathology from the level of significant to insignificant limitation, which significantly improved their quality of life. The concept is outlined and an assessment is given of the positive and negative aspects of the use of passive exoskeletons in a complex of habilitation and rehabilitation measures for mono- and paraparesis in elderly and old people. The expansion of indications is substantiated and the conditions for using a passive exoskeleton in spastic paraplegia are determined. The pathogenetic effects and pathophysiological mechanisms of the influence of the EXAR series exoskeletons on neuromuscular transmission are revealed. **Conclusions.** The first experience of using the EXAR-34 passive upper limb exoskeleton in older patients with upper flaccid para- and monoparesis indicates good tolerance of the exoskeleton and pronounced habilitation and rehabilitation effects. The expansion of indications for the use of the EXAR-34 exoskeleton is possible due to a group of patients with post-stroke complications in the form of spastic paraplegia, after preliminary botulinum toxin therapy.

Keywords: *upper flaccid para- and monoparesis, brachioplexopathy, complications of stroke, myopathy, habilitation and rehabilitation, upper limb exoskeleton, passive exoskeletons, EXAR-34, gerontology, botulinum toxin*

Риск развития синдрома верхнего пара- и монопареза у пациентов старшего возраста значительно выше ввиду возрастающей частоты заболеваний центральной и периферической нервной системы [1]. Так, в Российской Федерации инсульт различных видов ежегодно встречается более чем у 500 тыс. человек, из которых у 80 % развивается стойкая утрата трудоспособности [2]. Хотя приведение эпидемиологических данных по миопатиям связано с трудностями ввиду неоднородности этой группы заболеваний, характеризующихся раз-

личными нарушениями в структуре и метаболизме скелетных мышц, известно, что их распространенность варьирует от 1 до 6 случаев на 100 тыс. человек, из которых не менее 30 % становятся инвалидами I или II группы [3]. Постравматические поли- и мононейропатии также не являются редкостью для этой категории больных и приводят к инвалидности более чем в 30 % случаев [4]. Вместе с тем абилитация и реабилитация пациентов старшего возраста зачастую требует больших усилий по причине целого ряда имеющихся у них особенностей,

таких как инволюция тканей и изменение индивидуальных антропометрических параметров, которые нужно обязательно учитывать при применении ортезов, ортопедических конструкций, мехатронных и прочих средств [5].

Помимо чисто технических аспектов абилитации и реабилитации в геронтологии, следует помнить об изменении качества нейрофизиологических и нейропатологических процессов в пожилом и преклонном возрасте.

Недостаточное внимание к этим и другим вопросам вместо ожидаемого положительного лечебного эффекта может привести к усугублению состояния пожилого человека и ухудшению реабилитационного прогноза. Концепция ранней абилитации и реабилитации, поддерживаемая большинством специалистов, приобретает еще большую актуальность для возрастных пациентов, потому что в отсутствие комплекса восстановительных мероприятий функциональные двигательные нарушения, закрепляясь, не только с большей частотой приводят к инвалидизации и ухудшению качества жизни, но и лежат в основе запуска каскада патофизиологических процессов, которые как итог сокращают среднюю продолжительность жизни [6].

В настоящее время среди разнообразного перечня эффективных методов абилитации и реабилитации больных старшего возраста с неврологической патологией особый интерес представляют экзоскелеты конечностей [7]. Причем в литературе зачастую обсуждается экзоскелетное ортезирование нижних конечностей, а сообщения об эффективном использовании подобных механических средств при нейрогенной дисфункции верхних конечностей крайне редки [8].

В федеральном центре поддержки, разработки и производства экзопротезов ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России с учетом и устранением недостатков, которые не позволяли предшественникам достаточно широко внедрить подобные конструкции в клиническую практику, был разработан и запатентован пассивный экзоскелет верхних конечностей «ЭКЗАР-34» [9]. Последний нашел успешное применение и на разных этапах абилитации и реабилитации у пациентов, страдающих верхним вялым параличом и монопарезом, включая детей с врожденными и приобретенными заболеваниями (артрогриппозом, различными видами миопатий и др.), взрослых с посттравматическими моно- и полинейропатиями, плексопатиями после огнестрель-

ных, минно-взрывных травм, колото-резаных ранений [4, 10]. Вместе с тем в доступной нам литературе нет указаний на использование пассивных экзоскелетов верхних конечностей у пациентов старшей возрастной группы [1].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Показать возможности применения модификации пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» в комплексной абилитации и реабилитации у пациентов старшей возрастной группы с верхним вялым параличом и монопарезом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обобщен инновационный опыт использования модификации пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34», представляющего авторскую разработку А. А. Воробьева и Ф. А. Андрющенко, сконструированную по ГОСТ Р 60.5.0.3-2024 и ТУ 32.50.22-001-39543129-2022 [9], у 2 женщин и 2 мужчин, страдающих верхним вялым параличом и монопарезом, обусловленным последствиями травмы, инсульта и миопатии в возрасте от 63 до 86 лет.

Для подбора и адаптации индивидуальной версии экзоскелета применялся оригинальный способ анатомической параметризации, состоящий из 4 этапов [11]. При оценке эффективности экзоскелетной абилитации и реабилитации прибегали к гониометрии, исследованию неврологического статуса.

Настоящее исследование соответствует этическим нормам и одобрено локальным этическим комитетом: решение № 2025/34-ДИ от 23.05.2025.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из немаловажных аспектов при создании пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» для лиц пожилого и преклонного возраста явился подбор материалов, качество которых способно обеспечить необходимые медицинские свойства конструкции. При изготовлении последней применены магниевые сплавы АМгЗ и АМг5, нержавеющая медицинская сталь, PLA и ABS пластики, литевой пластик, низкотемпературные термопластики с памятью формы «Турбокаст» и «Поливик», а также жесткие полимеры. Предпочтение отдавалось отечественным материалам. Для изготовления деталей использовали 3D-моделирование, объемную фрезеровку на станке

с ЧПУ, 3D-принтер, литье в пресс-формы, лазерную резку. В качестве упругих элементов выбраны резиновые кольца различного диаметра и сечения.

До начала экзоскелетной абилитации у всех больных ($n = 4$) в силу патологии отмечалось значительное, 80° и менее, ограничение сгибания и отведения в плечевых суставах пораженных парезом рук. Первичный абилитационный и реабилитационный эффект был отмечен сразу же во время первой примерки экзоскелетов, адаптированных к индивидуальным параметрам пациентов, к которым вернулась возможность сгибания и отведения в скомпрометированных плечелопаточных сочленениях в объеме более 100° , что уже соответствовало незначительному ограничению объема движений, определяемого по критериям Постановления Правительства РФ от 04.07.2013 № 565 (ред. от 17.04.2024) «Об утверждении Положе-

ния о военно-врачебной экспертизе». Однако для лучшей переносимости у пациентов старшего возраста следует отдавать предпочтение более плавному плановому увеличению амплитуды движений, что достигается благодаря сочетанию тонких настроек авторской конструкции и динамическому изменению комплекса физических упражнений. Еще одним важным условием успешного использования пассивного экзоскелета является индивидуальный подбор элементов восстановительной программы, при составлении которой должен участвовать врач-реабилитолог.

Мы также выявили конструктивную особенность экзоскелета для возрастных пациентов, которая связана со значительным весом верхней конечности. Для таких экзоскелетов предпочтительнее использовать плечевой и локтевой шарниры, снабженные 3 или 4 парами подшипниковых узлов и усиленными осями (см. рис.).



Рис. 1. Конструктивные особенности экзоскелета «ЭКЗАР-34» для пациентов старшей возрастной группы (на примере больной С., 82 года)

При этом для плечевых тяг целесообразнее выбирать двутавровые конструкции. Тяга предплечья тоже по возможности может быть усилена дополнительными ребрами жесткости, однако это требование не столь критично, как для плечевых парных тяг. Несмотря на некоторое увеличение веса, такие конструкции показали себя более надежными в эксплуатации. Считаем нецелесо-

образным использование жакетов (корсетов) жесткой конструкции из-за их плохой переносимости пациентами. Более обоснованным полагаем применение разработанного нами жакета-разгрузки с несущей углепластиковой пластиной и узлом настройки «верхний крест» (см. рис.).

Спустя 6 месяцев экзоскелетной абилитации и реабилитации с применением модифициро-

ванной конструкции «ЭКЗАР-34» во всех случаях ($n = 4$) удалось закрепить положительный клинический эффект, при котором объем движений в вовлеченных в патологический процесс плечевых суставов сохранялся на уровне незначительного ограничения ($101\text{--}115^\circ$) и/или нижней границы нормы ($116\text{--}180^\circ$) с темпом прироста за указанный период от 50 до 150 %. Также у всех участников исследования ($n = 4$) отметили оживление сухожильных рефлексов и увеличение силы мышц ослабленных конечностей с 2–3 до 4–5 баллов. Это относительно выбранной категории больных мы считаем хорошим результатом, существенно улучшившим их способность к самообслуживанию и, как следствие, качество жизни. Полученные результаты применения модифицированного пассивного экзоскелета у возрастных пациентов соответствовали таковым при абилитации и реабилитации посредством «ЭКЗАР-34» больных с верхними моно- и парализациями из других возрастных групп [4, 10, 11].

Достоверных различий в результатах экзоскелетной реабилитации между пациентами с заболеваниями центральной и периферической нервной системы не наблюдали, что объясняется общностью патофизиологических звеньев и подтверждает гипотезу о возможности универсального применения экзоскелетов серии «ЭКЗАР» в лечении больных с нейромышечными расстройствами различной этиологии. При этом пациенты старшей возрастной группы отмечали хорошую переносимость экзоскелета. Ни в одном из наблюдений не отмечено поломки аппарата или осложнения, связанные с его применением. Вместе с тем в одном случае ($n = 1$) у больного с постинсультными осложнениями в виде спастической парализации, которая может ограничивать возможности применения пассивных экзоскелетов, нам удалось расширить показания к использованию конструкции «ЭКЗАР-34» посредством проведения предварительной терапии ботулотоксином.

Таким образом, перспективы применения экзоскелета верхних конечностей у данной группы больных огромны, однако следует выстраивать взаимоотношения в последовательности действий невролога по использованию ботулотоксина и ортезированию. Вместе с тем считаем необходимым продолжить исследование с изучением выборок большего объема.

В представленных наблюдениях продемонстрировано, что достижение первичного по-

ложительного результата у пациентов с верхними моно- и парализациями в старшей возрастной группе при применении модифицированной авторской конструкции «ЭКЗАР-34» возможно за счет:

- увеличения силы мышц плеча и предплечья в экзоскелете;
 - увеличения амплитуды движений конечности в аппарате;
 - коррекции избыточных движений позвоночника при использовании несущего жакета.
- Приведенные аспекты реализуемы за счет следующих патогенетических эффектов, обеспечиваемых конструкцией пассивного экзоскелета:
- трансформации пассивных движений денервированных мышц в активные;
 - влияния на нейронные связи между центральным и периферическим отделом нервной системы;
 - тренировки с увеличением собственной силы мышц плечевого пояса и свободной верхней конечности;
 - улучшения кровотока в мышечной ткани и нейромышечной проводимости;
 - профилактики контрактур.

В основе вышеперечисленных патофизиологических эффектов может лежать следующий нейрофизиологический механизм, требующий дальнейшего углубленного и детального изучения. При использовании экзоскелета происходит перманентная афферентная стимуляция центров коры головного мозга, участвующих в нейромышечной передаче, приводящая к постепенному модулированию эфферентного нервного импульса в соответствии с вновь возникшими в поврежденном в результате заболевания или травмы нейроне-проводнике морфофизиологическими условиями.

Подобным образом характер нервного импульса может быть изменен до уровня, необходимого для компенсации утраченных скомпрометированной мышцей функциональных параметров и достижения ими исходных показателей.

Одновременно с этим происходит обеспечение репаративных процессов в самом нейроне-проводнике. Приведенный механизм замкнут в контуре: зона коры головного мозга – нейрон-проводник – мышечные волокна. Таким образом происходит перестройка функциональной системы нейромышечной проводимости.

В случае вовлечения в патологический процесс отделов центральной нервной системы,

например, после инсульта, наряду с вышеописанным механизмом в действие вступают нейропластичность и активация других участков головного мозга, также стимулируемые обратной нейрофизиологической связью от поддерживаемых пассивным экзоскелетом мышц, благодаря чему их утраченная функция постепенно полностью или частично восстанавливается и оказывается возможной уже без экзоскелетного пособия.

Также следует обратить внимание на конкурентные конструктивные преимущества пассивных экзоскелетов серии «ЭКЗАР», к которым следует отнести низкую себестоимость, возможность модификации по индивидуальным антропометрическим параметрам пациента, простоту в настройках и обслуживании, мобильность и прочие, что позволяет использовать авторскую разработку в различных режимах.

Изменения в модификации, адресованной для возрастных больных, также не усложняют конструкцию экзоскелета, а делают ее более

удобной для регулярного и повседневного использования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первый опыт использования пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» в комплексной абилитации и реабилитации пациентов старшей возрастной группы с верхним вялым пара- и монопарезом свидетельствует о высокой перспективности этого направления реконструктивной медицины.

Ввиду выявленных в ходе исследования инженерно-анатомических особенностей пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР-34» считаем необходимым при его изготовлении и сборке наряду с прочими параметрами учитывать возраст целевых больных. Расширение показаний к использованию модификаций экзоскелета «ЭКЗАР-34» возможно за счет группы пациентов с постинсультными осложнениями в виде спастической параплегии, после предварительной терапии ботулотоксином.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Письменная Е. В., Петрушанская К. А., Котов С. В., Аведиков Г. Е., Митрофанов И. Е., Толстов К. М. и др. Клинико-биомеханическое обоснование применения экзоскелета «ЭкзоАтлет» при ходьбе больных с последствиями ишемического инсульта. *Российский журнал биомеханики*. 2019;23(2):204–230. doi: 10.15593/RZhBiomeh/2019.2.04.
2. Кандыба Д. В. Инсульт. *Российский семейный врач*. 2016;20(3):5–15. doi: 10.17816/RFD201635-15.
3. Курушина О. В., Андриященко Ф. А., Агаркова О. И., Дворецкая Ю. А. Современный подход к диагностике и лечению первичных и вторичных миопатий. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2017;1(61):16–20. doi: 10.19163/1994-9480-2017-1(61)-16-22.
4. Воробьев А. А., Мазунов А. С., Гайворонский А. И., Андриященко Ф. А. Опыт применения пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» в комплексной реабилитации пациента с посттравматической плексопатией вследствие огнестрельного цервикоторакального ранения (клиническое наблюдение). *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2024;21(3):173–180. doi: 10.19163/1994-9480-2024-21-3-173-180.
5. He C., Xiong C.-H., Chen Z.-J., Fan W., Huang X.-L., Fu C. Preliminary Assessment of a Postural Synergy-Based Exoskeleton for Post-Stroke Upper Limb Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2021;29:1795–1805. doi: 10.1109/tnsre.2021.3107376.
6. Князев Д. А., Ловчев Н. Е., Орешкин А. В. Пассивный медицинский экзоскелет для реабилитации пациентов с локомоторными нарушениями. *Известия томского политехнического университета. Промышленная кибернетика*. 2023;1(3):1–6. doi: 10.18799/29495407/2023/3/30.
7. Бабанов Н. Д., Кубряк О. В. Физиологические методики в изучении «пассивных» промышленных экзоскелетов спины и нижних конечностей. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020;5:318–328. doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-5-318-328.
8. Sturma A., Hruby L. A., Boesendorfer A., Pittermann A., Salminger S., Gstoettner C. et al. Prosthetic Embodiment and Body Image Changes in Patients Undergoing Bionic Reconstruction Following Brachial Plexus Injury. *Frontiers Neurobot*. 2021. doi: 10.3389/fnbot.2021.645261.
9. Патент на изобретение № 2629738. Российская Федерация, МПКА6/H1/00A61H1/0216.03.16. Экзоскелет верхних конечностей. Воробьев А. А., Андриященко Ф. А. ; заявл. 16.03.2016 ; опубл. 31.08.2017, Бюл. № 25.
10. Воробьев А. А., Мазунов А. С., Чулков О. Д., Нежинский Д. И., Сергеев П. Р., Григорян К. К. Случай эффективной экзоскелетной абилитации и реабилитации пациента с акушерским параличом Дюшенна – Эрба.

Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). 2025;9(1):41–47. doi: 10.17116/operhirurg2025901141.

11. Воробьев А. А., Андрющенко Ф. А., Пономарева О. А., Соловьева И. О., Кривоножкина П. С. Разработка и клиническая апробация пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР». *Современные медицинские технологии.* 2016;8(2):90–95 doi: 10.17691/stm2016.8.2.13.

REFERENCES

1. Pismennaya E. V., Petrushanskaya K. A., Kotov S. V., Avedikov G. E., Mitrofanov I. E., Tolstov K. M., et al. Clinical and biomechanical foundation of application of the exoskeleton «ExoAtlet» at walking of patients with poststroke disturbances. *Rossiiskij zhurnal biomekhaniki = Russian Journal of Biomechanics.* 2019;23(2):204–230. (In Russ.). doi: 10.15593/RZhBiomeh/2019.2.04.

2. Kandyba D. V. Stroke. *Rossiiskij semejnyj vrach = Russian Family Doctor.* 2016;20(3):5–15. (In Russ.). doi: 10.17816/RFD201635-15.

3. Kurushina O. V., Andryushchenko F. A., Agarkova O. I., Dvoretzskaya Y. A. Modern approach to diagnostics and treatment of primary and secondary myopathies. *Vestnik Volgogradsko gosudarstvennogo medicinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University.* 2017;1(61):16–20. (In Russ.). doi: 10.19163/1994-9480-2017-1(61)-16-22.

4. Vorob'ev A. A., Mazunov A. S., Gaivoronsky A. I., Andruschenko F. A. Experience of using the passive exoskeleton EXAR-34 in complex rehabilitation of a patient with post-traumatic plexopathy due to gunshot cervicothoracic wound (clinical observation). *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University.* 2024;21(3):173–180. (In Russ.). doi: 10.19163/1994-9480-2024-21-3-173-180.

5. He C., Xiong C.-H., Chen Z.-J., Fan W., Huang X.-L., Fu C. Preliminary Assessment of a Postural Synergy-Based Exoskeleton for Post-Stroke Upper Limb Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.* 2021;29:1795–1805. doi: 10.1109/tnsre.2021.3107376.

6. Knyazev D. A., Lovchev N. E., Oreshkin A. V. Passive medical exoskeleton for rehabilitation of patients with locomotor disorders. *Izvestiya tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Promyshlennaya kibernetika = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Industrial Cybernetics.* 2023;1 (3):1–6. (In Russ.). doi: 10.18799/29495407/2023/3/30.

7. Babanov N. D., Kubryak O. V. Physiological methods in the study of “passive” industrial exoskeletons of the back and lower extremities. *Meditsina truda i promyshlennaya e'kologiya = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2020;(5):318–328. (In Russ.). doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-5-318-328.

8. Sturma A., Hruby L. A., Boesendorfer A., Pittermann A., Salminger S., Gstoettner C. et al. Prosthetic Embodiment and Body Image Changes in Patients Undergoing Bionic Reconstruction Following Brachial Plexus Injury. *Frontiers Neurobot.* 2021. doi: 10.3389/fnbot.2021.645261.

9. Patent for invention No. 2629738. Russian Federation, IPKA6/H1/00A61H1/0216.03.16. Exoskeleton of the upper extremities. Vorobyov A. A., Andryushchenko F. A. ; applic. 16.03.2016 ; publ. 31.08.2017, Byul. No. 25.

10. Vorob'ev A. A., Mazunov A. S., Chulkov O. D., Nezhinsky D. I., Sergeev P. R., Grigoryan K. K. A case of effective exoskeleton habilitation and rehabilitation of a patient with obstetric Duchenne – Erb palsy. *Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Pirogovskij nauchnyj zhurnal) = Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy.* 2025;9(1):41–47. (In Russ.). doi: 10.17116/operhirurg2025901141.

11. Vorob'ev A. A., Mazunov A. S., Chulkov O. D., Nezhinsky D. I., Sergeev P. R., Grigoryan K. K. A case of effective exoskeleton habilitation and rehabilitation of a patient with obstetric Duchenne – Erb palsy. *Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Pirogovskij nauchnyj zhurnal) = Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy.* 2025;9(1):41–47. (In Russ.). doi: 10.17116/operhirurg2025901141.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Александрович Воробьев – заведующий кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заместитель директора Федерального центра поддержки разработки и производства экзопротезов и экзоскелетов, cos@volgmed.ru

Фёдор Андреевич Андрющенко – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Федерального центра поддержки разработки и производства экзопротезов и экзоскелетов, andrewshenko@mail.ru

Антон Сергеевич Мазунов – доцент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, кандидат медицинских наук, astra_83@mail.ru

Елена Евгеньевна Писарева – доцент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, кандидат медицинских наук, доцент, eeepisareva@mail.ru

Елена Владимировна Венскель – доцент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, кандидат медицинских наук, доцент, elenavenskel@yandex.ru

Олег Дмитриевич Чулков – ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, *chulkovoleg1966@mail.ru*

Вячеслав Олегович Чернов – ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, *chernovts@yandex.ru*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

Статья поступила в редакцию 06.05.2025; одобрена после рецензирования 19.05.2025; принята к публикации 02.06.2025.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander A. Vorobiev – the Head of Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, Doctor of Medicine, Professor, Honored Worker of Science, Deputy Director of Federal Center for Supporting the Development and Production of Exoprostheses, *cosaav@mail.ru*

Fedor A. Andryushchenko – Candidate of medical Science, Senior Researcher, Federal Center for Supporting the Development and Production of Exoprostheses, *andrewshenko@mail.ru*

Anton S. Mazunov – Associate Professor of the Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, Candidate of medical Science, *astra_83@mail.ru*

Elena E. Pisareva – Associate Professor of the Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, Candidate of medical Science, *eepisareva@mail.ru*

Elena V. Venskel – Associate Professor of the Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, Candidate of medical Science, *elenavenskel@yandex.ru*

Oleg D. Chulkov – lecturer of the Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, *chulkovoleg1966@mail.ru*

Vyacheslav O. Chernov – lecturer of the Department for Operative Surgery and Topographic Anatomy, *chernovts@yandex.ru*

The authors declare no conflict of interest. Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural network.

The article was submitted 06.05.2025; approved after reviewing 19.05.2025; accepted for publication 02.06.2025.