

Опыт применения пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» в комплексной реабилитации пациента с посттравматической плексопатией вследствие огнестрельного cervикоторакального ранения (клиническое наблюдение)

А.А. Воробьев^{1,3,4}✉, А.С. Мазунов¹, А.И. Гайворонский², Ф.А. Андрищенко⁴

¹ Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

² Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральный центр поддержки разработки и производства экзопротезов, Волгоград, Россия

⁴ Волгоградский медицинский научный центр, Волгоград, Россия

Аннотация. Применение пассивных экзоскелетов является перспективным направлением лечения пациентов с тяжелой боевой травмой плечевого пояса, приводящей к инвалидности в 30 % случаев. **Цель.** Продемонстрировать возможности пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» в реабилитации и абилитации раненого с повреждением ветвей плечевого нервного сплетения. **Материалы и методы.** Проводились анализ медицинской документации, физикальное обследование, морфометрия, гониометрия. **Клиническое наблюдение и обсуждение.** У больного с посттравматической левосторонней плексопатией вследствие огнестрельного осколочного сквозного cervикоторакального ранения с огнестрельными переломами поперечных отростков С6, С7, Th3 позвонков, I–III ребер слева после реконструктивного вмешательства на элементах плечевого нервного сплетения при неэффективности ранее проводимых реабилитационных мероприятий во время первой примерки аппарата «ЭКЗАР-34» увеличился объем активных движений в суставах поврежденной конечности на 37,1–60,7 %, восстановились бытовые двигательные навыки. **Заключение.** Опыт применения аппарата «ЭКЗАР-34» демонстрирует высокую перспективность в комплексной реабилитации и абилитации пациентов после реконструктивных вмешательств на плечевом нервном сплетении по поводу боевых ранений.

Ключевые слова: пассивный экзоскелет, ЭКЗАР-34, экзоскелетная реабилитация и абилитация, посттравматическая плексопатия

Финансирование. Исследование проведено и статья подготовлена при поддержке Фонда президентских грантов 24-1-000015 Крылья надежды – героям СВО.

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

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)

A.A. Vorobiev^{1,3,4}✉, A.S. Mazunov¹, A.I. Gaivoronsky², A.F. Andruschenko⁴

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

² S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

³ Federal Center for Support of the Development and Production of Exoprostheses, Volgograd, Russia

⁴ Volgograd Medical Research Center, Volgograd, Russia

Abstract. The use of passive exoskeletons is a promising direction in the treatment of patients with severe combat injuries to the shoulder girdle, leading to disability in 30 % of cases. **Aim:** To demonstrate the capabilities of the passive exoskeleton EXAR-34 in the rehabilitation and habilitation of a victim with damage to the branches of the brachial nerve plexus. **Materials and methods:** An analysis of medical documentation, physical examination, morphometry, and goniometry were carried out. **Clinical observation and discussion:** A patient with post-traumatic left-sided plexopathy due to a gunshot perforating shrapnel cervicothoracic wound with gunshot fractures of the transverse processes of C6, C7, Th3 vertebrae, I–III ribs on the left after reconstructive intervention on elements of the brachial nerve plexus, when previously carried out rehabilitation measures were ineffective, during the first fitting of the EXAR-34 device, the range of active movements in the joints of the injured limb increased to 37,1–60,7 %, and routine motor skills were restored. **Conclusion:** The experience of using the EXAR-34 device demonstrates high promise in complex rehabilitation and habilitation of patients after reconstructive interventions on the brachial plexus for combat wounds.

Keywords: passive exoskeleton, EXAR-34, exoskeleton rehabilitation and habilitation, post-traumatic plexopathy

Funding. The research was conducted and the article was prepared with the support of the Presidential Grants Fund 24-1-000015 Wings of Hope - to the heroes of SMO.

При анализе опыта мировых войн, локальных вооруженных конфликтов и чрезвычайных ситуаций выясняется, что более 60 % раненых имеют повреждения опорно-двигательного аппарата, 90 % из них нуждаются в специализированном хирургическом лечении с участием различных специалистов медицинского профиля [1, 2]. Тяжелые множественные и сочетанные травмы конечностей становятся причиной стойкой утраты трудоспособности более чем в 30 % случаев [3]. Современное комплексное лечение раненых и пострадавших с повреждениями конечностей должно включать не только реконструктивные вмешательства, но и эффективную реабилитацию для максимального восстановления функции травмированных конечностей [4]. Необходимость ранней и эффективной медицинской реабилитации раненых и пострадавших определяется рядом социальных, этических и демографических факторов [5]. Несмотря на неоспоримую эффективность, традиционные методы реабилитации имеют определенные ограничения и обычно требуют много времени для достижения заметных результатов [4, 6, 7]. В последнее время отмечается значительный рост внимания к экзоскелетам конечностей, которые обладают антропоморфной механической структурой, позволяющей компенсировать функции вовлеченных в патологический процесс мышц, обуславливая восстановление ограниченного объема движений и нарушенных двигательных навыков [6, 8, 9]. Это определяет приоритеты применения экзоскелетов в реабилитации пациентов с посттравматическими нейромышечными расстройствами. В основном это пациенты с поражением нижних конечностей.

Исследования, демонстрирующие результаты восстановления утраченных функций верхних конечностей с помощью роботизированных экзоскелетов, крайне немногочисленны. Широкому внедрению таких устройств в клиническую практику, тем более их повседневному применению, препятствует целый ряд конструктивных особенностей (громоздкость, сложность обслуживания, низкая автономность, высокая себестоимость и др.) [9, 10]. Поэтому оптимальным представляется использование пассивных экзоскелетов, к которым относится «ЭКЗАР-34». С применением этого аппарата связан положительный опыт реабилитации и абилитации пациентов, страдающих врожденными и приобретенными заболеваниями, обуславливающими синдром верхнего вялого пара-(моно-) пареза [4, 5, 6, 7]. Вместе с тем конструктивно-функциональные возможности пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» при наличии общих патофизиологических звеньев в развитии пара-(моно-) монопареза верхних конечностей вследствие заболеваний и в ре-

зультате травм позволяют расширить область применения данного аппарата на реабилитацию пациентов с последствиями тяжелой сочетанной травмы, в том числе, ассоциированной с боевыми ранениями. В этой связи представляется актуальным изучение и оценка опыта использования пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» в комплексе реабилитации пациента с посттравматической плексопатией после реконструктивного вмешательства на ветвях плечевого нервного сплетения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Продемонстрировать возможности применения аппарата «ЭКЗАР-34» в комплексной реабилитации и абилитации раненого с огнестрельным осколочным сквозным цервикоторакальным ранением и огнестрельными переломами позвонков и ребер, осложненными брахиальной плексопатией и монопарезом верхней конечности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для медицинской реабилитации применен аппарат «ЭКЗАР-34» – мобильный вариант пассивного экзоскелета верхних конечностей, сконструированный по авторской технологии в соответствии с ТУ 32.50.22-001-39543129-2022 при поддержке Фонда президентских грантов в рамках проекта 24-1-000015 Крылья надежды – героям СВО. В описание клинического случая включены данные анамнеза, в том числе анализ медицинской документации, физикального обследования пациента. Для объективной оценки результатов реабилитации и абилитации на разных этапах использовали морфометрию, гониометрию (измерение углов активного и пассивного сгибания, отведения, ротации суставов).

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент Ш., 48 лет, согласно медицинской документации, 18.12.2022 г., находясь в зоне СВО и выполняя боевую задачу, получил осколочное ранение шеи и груди (рис. 1). Был доставлен в госпиталь ЛНР, где после первичного обследования, включая СКТ шеи, грудной клетки были выполнены ПХО ран, дренирование левой плевральной полости по Бюлау. 19.12.2022 г. эвакуирован в военный госпиталь в Ростове-на-Дону, где госпитализирован в нейрохирургическое отделение с диагнозом: Сочетанная минно-взрывная травма, огнестрельное осколочное сквозное цервикоторакальное ранение слева с огнестрельными переломами поперечных отростков С6, С7, Th3 позвонков, I–III ребра слева, повреждением плечевого нервного сплетения, левого легкого, гемопневмотораксом слева.



Рис. 1. Рубцы в области шеи пациента на месте входного (А) и выходного (Б) отверстий огнестрельного осколочного ранения

При поступлении в левой верхней конечности отмечались отсутствие активных движений, снижение силы и мышечного тонуса, угнетение глубоких рефлексов (моноплегия) с чувствительными нарушениями в виде глубокой гипестезии с гиперпаретическим компонентом. Проводилось консервативное лечение. 20.12.2022 г. направлен в Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург), где доктором медицинских наук доцентом А.И. Гайворонским была выполнена хирургическая реконструкция ветвей плечевого нервного сплетения. С 24.10.2023 по 07.11.2023 гг. пациент проходил реабилитационное лечение в неврологическом отделении Томского НИИКиФ ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России, где проводились ЛФК, физиотерапевтическое лечение (электромиостимуляция, грязевые аппликации на левую кисть, сухие углекислые ванны, ультрафонофорез гидрокортизона на воротниковую область, массаж верхней конечности).

На момент обращения в Федеральный центр поддержки разработки и производства экзопротезов ФГБОУ ВО «ВолгГМУ» Минздрава России 17.11.2023 г. при объективном обследовании выявлены следующие патологические изменения. В области груди на уровне IV ребра, на 4 см медиальнее от срединноключичной линии слева на месте входного пулевого отверстия определен с округлыми очертаниями и неровными краями втянутый белесый рубец $2,0 \times 1,5$ см; на уровне III–IV ребра по паравертебральной линии

слева на месте выходного пулевого отверстия – неправильной треугольной формы поперечного направления рубец $5,0 \times 3,0$ см с розовато-белесыми краями; по задней подмышечной линии слева отмечены телесного цвета рубцы от входного осколочного отверстия (рис. 1 А) и по месту установки дренажа по Бюлау.

В передней области шеи слева в проекции латерального треугольника с переходом на левую надключичную ямку – округлый рубец на месте выходного осколочного ранения и языкообразный рубец на месте послеоперационной раны (рис. 1 Б). Отмечена умеренно выраженная асимметрия плечевого пояса, гипотрофия мышц левой верхней конечности (преимущественно *m. deltoideus* и *m. biceps brachii*). В неврологическом статусе рефлексы верхних конечностей: карпорадиальный $D > S$, *m. triceps brachii* $D > S$, *m. biceps brachii* $D > S$, низкие.

Отмечена гипотония мышц левого предплечья и плеча. Сила мышц левой верхней конечности снижена до 1–2 баллов. Выявлены зоны гипестезии на уровне левого предплечья и плеча. Также выявлено ограничение объема движений в шейном отделе позвоночника, болезненность паравертебральных точек на уровне C2–C7 позвонков, напряжение *m. trapezius* и *m. erector spinae* с обеих сторон. Согласно морфометрическим и гониометрическим показателям, ограничения движений в левом плечевом суставе составили: отведение – $50\text{--}51^\circ$. (норма: $180\text{--}116^\circ$) (рис. 2 А), сгибание – 47°

(норма: 180–121°) (рис. 3 А), ротация невозможна, в локтевом суставе: сгибание – 9° (норма: 79–30°) (рис. 4 А), сгибание в лучезапястном суставе отсут-

ствовало (норма: 80–36°), отведение I пальца, активные движения во II–V пальцах невозможны. Отмечена атрофия мышц левой кисти.



Рис. 2. Отведение в плечевом суставе до (А) и во время (Б) примерки пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34»



Рис. 3. Сгибание в плечевом суставе до (А) и во время (Б) примерки пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34»



Рис. 4. Сгибание в локтевом суставе до (А) и во время (Б) примерки пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34»

22.11.2023 г. во время первой примерки и отладки аппарата «ЭКЗАР-34», изготовленного по индивидуальным антропометрическим параметрам пациента в соответствии с ТУ 32.50.22-001-39543129-2022, объем движений в левом плечевом суставе увеличился: активное сгибание составило 142° (рис. 2 Б), отведение – 94° (рис. 3 Б), стала возможной наружная ротация до 30–40°, сгибание в локтевом суставе – 57° (рис. 4 Б).

Таким образом, уже при первом применении пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» удалось добиться увеличения объема активных движений в скомпromитированных суставах пораженной верхней конечности на 31,7–60,7 % (см. табл.).

Также к пациенту вернулись недоступные после ранения для поврежденной верхней конечности бы-

товые двигательные навыки: он смог самостоятельно держать ложку, причесываться, умываться травмированной рукой. Больной освоил и получил рекомендации по выполнению упражнений, обеспечивающих ротацию головки плечевой кости в суставной впадине лопатки в разных плоскостях (сагиттальной, фронтальной, горизонтальной), таких как «плавание», «лезгинка» и т. п. При движении в плечевом суставе у пациента отмечался умеренно выраженный болевой синдром, который, несмотря на существенное расширение объема выполняемых движений, не усиливался. Тотчас после первой примерки аппарата «ЭКЗАР-34» больной отметил субъективное улучшение, сообщив: «рука почувствовала, что может двигаться», указал на появление ощущения разлитого тепла в надплечье.

Объем движений в суставах поврежденной верхней конечности на разных этапах экзоскелетной реабилитации/абилитации

Этап реабилитации/абилитации	Объем движений в суставе			
	плечевой сустав, ° (% от нормы)			локтевой сустав, ° (% от нормы)
	сгибание	отведение	ротация	сгибание
До ЭКЗАР-34	47 (26,1)	50–51 (43,1–43,9)	0	9 (11,4)
Вместе с ЭКЗАР-34	142 (78,8)	94 (81)	30–40	57 (72,1)
Прирост	95 (52,7)	43 (37,1)	30–40	48 (60,7)
Норма	180–121 (100)	180–116 (100)	–	79–30 (100)

Пациент продолжил реабилитацию в амбулаторных и абилитацию в домашних условиях с повседневным использованием аппарата «ЭКЗАР-34» и запланированной контрольной оценкой функционального состояния левой верхней конечности на 40, 90, 120-е сутки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Описанное клиническое наблюдение утверждает факт того, что больной с последствиями огнестрельного цервикоторакального ранения в виде левосторонней плексопатии, монопареза левой верхней конечности, у которого, несмотря на регулярное проведение курсов комплексной реабилитации в течение 10 месяцев после реконструктивного хирургического вмешательства на элементах плечевого нервного сплетения, не удалось добиться стойких положительных результатов и улучшения трудового прогноза, уже с первых минут применения пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» смог продемонстрировать восстановление двигательных навыков и начал пользоваться поврежденной конечностью. Возможность продолжить реабилитационные мероприятия в перманентном режиме, обеспеченная конструктивными особенностями аппарата «ЭКЗАР-34», ношение которого в домашних условиях не связано с какими-либо существенными ограничениями, улучшила качество жизни пациента, позволил ему впервые после травмы пользоваться поврежденной левой рукой и обходиться без посторонней помощи в быту. Это позитивно отразилось и на эмоциональном статусе больного, существенно повысив его мотивацию на выздоровление.

Конструкция пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34», разгружая мышцы плечевого пояса и свободной части поврежденной верхней конечности за счет компенсации их собственного веса, обеспечивает возможность преобразования пассивных движений гипотрофированных мышц в активные движения, объем которых стремится к нормальным антропометрическим параметрам. Это разрывает порочный круг патогенеза, обеспечивая как стимуляцию репаративных процессов в морфологической структуре мышечной ткани, так и восстановление функциональных взаимосвязей между нервной системой, руководящей двигательным актом, и мышцами, осуществляющими движения.

Применение пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34», позволяющее уже с момента первой примерки существенно расширить объем движений в поврежденной конечности, является эффективной мерой профилактики контрактур в скомпрометированных суставах, развитие которых может существенно осложнить реабилитацию пациентов с посттравматической плексопатией.

Конкурентные преимущества пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34», связанные с его конструктивными особенностями (мобильность, автономность, изно-

стойкость, простота применения) обуславливают возможность эффективного использования данного аппарата не только в лечебно-профилактических учреждениях (стационар, амбулатория), но и в домашних условиях, где пациент, не отрываясь от своих рутинных дел, имеет возможность в течение неограниченного периода времени продолжать курс реабилитации. Применение аппарата «ЭКЗАР-34» позволяет пациенту общаться с лечащим врачом в плановом режиме и/или режиме «по требованию» как на личном приеме, так и с помощью информационно-коммуникационных технологий. При этом необходимость врачебных консультаций связана в основном с контролем проводимого реабилитационного курса (динамика объема движений в пораженной конечности, вопрос об изменении комплекса физических упражнений и т. п.). Вместе с тем потребность в регулярной отладке первоначально правильно настроенного экзоскелетного аппарата практически отсутствует.

Таким образом, вышеперечисленные аспекты применения пассивного экзоскелета «ЭКЗАР-34» наряду с высоким восстанавливающим эффектом способствуют улучшению качества жизни пациентов, приближая процесс реабилитации к уровню повседневной активности, и позволяют оптимизировать работу врачей, освобождая их руки и время с пользой для пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения аппарата «ЭКЗАР-34» показывает его высокую перспективность на разных этапах комплексной реабилитации и абилитации у пациентов с посттравматической брахиальной плексопатией, в том числе после реконструктивных хирургических вмешательств на элементах плечевого нервного сплетения.

Разработка, совершенствование и внедрение метода экзоскелетной реабилитации и абилитации в клиническую практику являются многообещающими направлениями современной медицины, позволяющими значительно и в принципиально новом ключе улучшить результаты лечения пациентов с политравмой, осложненной плексопатией.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сухарев В.А., Хоминец И.В., Кукушко Е.А., Васкул Д.И. Лечение сочетанного огнестрельного ранения с дефектом плечевой кости и лучевого нерва (клиническое наблюдение). *Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко*. 2022;4(10):57–64.
2. Хоминец В.В., Шукин А.В., Ткаченко М.В. и др. Опыт лечения военнослужащего с огнестрельным переломо-вывихом проксимального отдела плечевой кости. *Политравма/Polytrauma*. 2022;3:55–61. doi: 10.24412/1819-1495-2022-3-55-61.

3. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П. и др. Эволюция концепции оказания медицинской помощи раненым и пострадавшим с повреждениями опорно-двигательного аппарата. *Военно-медицинский журнал*. 2020;341(2):4–11. doi: 10.17816/RMMJ82214.

4. Vorobyev A.A., Petrukhin A.V., Zasyapkina O.A. et al. Exoskeleton as a new means in habilitation and rehabilitation of invalids (review). *Sovremennye tehnologii v medicine = Modern Technologies in Medicine*. 2015;7(2):185–197. doi: 10.17691/stm2015.7.2.22.

5. Воробьев А.А., Доница А.Д., Горелик И.М., Андриющенко Ф.А. Реабилитация комбатантов: этический и медицинский подходы. *Биоэтика*. 2023;16 (1):39–43. doi: 10.19163/2070-1586-2023-16-1-39-43.

6. Воробьев А.А., Баринов А.С., Баринаева Е.А., Андриющенко Ф.А. Экзоскелетная реабилитация в условиях измененной анатомии после огнестрельного ранения лопаточной области. *Астраханский медицинский журнал*. 2023;18(4):111–116. doi: 10.17021/1992-6499-2023-4-111-116.

7. Воробьев А.А., Баринов А.С., Баринаева Е.А., Андриющенко Ф.А. К вопросу об экзоскелетной реабилитации плечелопаточного периартрита после минно-взрывного ранения лопаточной области. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2023;26(3):47–53. doi: 10.52581/1814-1471/86/06.

8. Dai Z., Li Y., Lu M. et al. Clinical profile of musculoskeletal injuries associated with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2010;6(16):503–507.

9. He C., Xiong C.-H., Chen Z.-J. et al. 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.

10. Sanchez C., Blanco L., Del Río C. et al. A 3D-printed passive exoskeleton for upper limb assistance in children with motor disorders: proof of concept through an electromyography-based assessment. *Peer J*. 2023;11:e15095. doi: 10.7717/peerj.15095.

REFERENCES

1. Sukharev V.A., Khominets V.V., Kukushko E.A., Vaskul D.I. Treatment of a combined gunshot wound with a defect of the humerus and radial nerve (clinical observation). *Meditsinskii vestnik GVKG im. N.N. Burdenko = Medical*

Bulletin of Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko. 2022;4(10):57–64. (In Russ.).

2. Khominets V.V., Shchukin A.V., Tkachenko M.V. et al. The experience with treatment of a serviceman with gunshot fracture dislocation of the proximal humerus. *Polytrauma*. 2022;3:55–61. (In Russ.) doi: 10.24412/1819-1495-2022-3-55-61.

3. Trishkin D.V., Kryukov E.V., Chuprina A.P. et al. The evolution of the concept of medical care for the wounded and injured with injuries of the musculoskeletal system. *Voенно-meditsinskii zhurnal = Military Medical Journal*. 2020;341(2):4–11. (In Russ.) DOI: 10.17816/RMMJ82214.

4. Vorobyev A.A., Petrukhin A.V., Zasyapkina O.A. et al. Exoskeleton as a new means in habilitation and rehabilitation of invalids (review). *Sovremennye tehnologii v medicine = Modern Technologies in Medicine*. 2015;7(2):185–197. doi: 10.17691/stm2015.7.2.22.

5. Vorobyev A.A., Donika A.A., Gorelik I.M., Andryushchenko F.A. Rehabilitation of combatants: ethical and medical approaches. *Bioetika = Bioethics*. 2023;16(1):39–43. (In Russ.) doi: 10.19163/2070-1586-2023-16-1-39-43.

6. Vorobyev A.A., Barinov A.S., Barinova E.A., Andryushchenko F.A. On the issue of exoskeletal rehabilitation of shoulder periartthritis after a gunshot wound of the scapular area. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal = Astrakhan Medical Journal*. 2023;18(4):111–116. (In Russ.) doi: 10.17021/1992-6499-2023-4-111-116.

7. Vorobyev A.A., Barinov A.S., Barinova E.A., Andryushchenko F.A. On the issue of exoskeletal rehabilitation of shoulder periartthritis after a gunshot wound of the scapular area. *Voprosy rekonstruktivnoi i plasticheskoi khirurgii = Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2023;26(3):47–53. (In Russ.) doi: 10.52581/1814-1471/86/06.

8. Dai Z., Li Y., Lu M. et al. Clinical profile of musculoskeletal injuries associated with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2010;6(16):503–507.

9. He C., Xiong C.-H., Chen Z.-J. et al. 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.

10. Sanchez C., Blanco L., Del Río C. et al. A 3D-printed passive exoskeleton for upper limb assistance in children with motor disorders: proof of concept through an electromyography-based assessment. *Peer J*. 2023;11:e15095. doi: 10.7717/peerj.15095.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Александр Александрович Воробьев – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии, заместитель директора Федерального центра поддержки разработки и производства экзопротезов и экзоскелетов, Волгоградский государственный медицинский университет Волгоград, Россия; ✉ cos@volgmed.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8378-0505>

Антон Сергеевич Мазунов – кандидат медицинских наук, доцент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, Волгоградский государственный медицинский университет Волгоград, Россия; astra_83@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-1137-4484>

Алексей Иванович Гайворонский – доктор медицинских наук, доцент кафедры и клиники нейрохирургии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; vmeda-na@mil.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1886-5486>

Федор Андреевич Андриющенко – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории инновационных методов реабилитации и абилитации, Волгоградский научный медицинский центр, Волгоград, Россия; cos@volgmed.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6497-1848>

Статья поступила в редакцию 07.03.2023; одобрена после рецензирования 05.05.2024; принята к публикации 08.08.2024.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Alexander A. Vorobyov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Deputy Director of the Federal Center for Support of the Development and Production of Exoprostheses and Exoskeletons, Volgograd State Medical University Volgograd, Russia; cos@volgmed.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8378-0505>

Anton S. Mazunov – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Volgograd State Medical University Volgograd, Russia; astra_83@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-1137-4484>

Alexey I. Gaivoronsky – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department and Clinic of Neurosurgery, S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia; vmeda-na@mil.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1886-5486>

Fyodor A. Andryushchenko – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Innovative Methods of Rehabilitation and Habilitation, Volgograd Scientific Medical Center, Volgograd, Russia; cos@volgmed.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6497-1848>

The article was submitted 07.03.2023; approved after reviewing 05.05.2024; accepted for publication 08.08.2024.