УДК 616-001-053.2:616.89-008.441

Физиологические и нейрофизиологические основы сочетанной патологии: ампутация и посттравматическое стрессовое расстройство

Шевцов А.В.[1], Петрушкина Н.П.[2], Коломиец О.И.[1]*, Звягина Е.В.[2]
[1] Российский государственный педагогический университет имени А..И. Герцена
г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-9878-3378 , sportmedi@mail.ru
*ORCID: 0000-0003-4623-856X, kolomiec_o@mail.ru**
[2] Уральский государственный университет физической культуры
г. Челябинск, Россия
ORCID: 0000-0002-0830-0206, 25ppnn@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8808-1148, zv-aev@mail.ru

Аннотация. Рассматривается комплексная проблема сочетанной патологии, возникающей у пациентов после травматической ампутации конечности, осложненной развитием посттравматического стрессового расстройства (ПТСР). ***Цель***. Изучение взаимосвязи и взаимовлияния патофизиологических и нейрофизиологических механизмов у пациентов с сочетанной патологией для обоснования комплексных подходов к диагностике и лечению. ***Материалы и методы***. В основу работы легли: 1) систематический аналитический обзор современных отечественных и зарубежных научных публикаций (2022-2025 гг.) по проблемам нейропластичности при ампутациях, нейробиологии ПТСР и коморбидности этих состояний; 2) анализ клинических данных и литературных источников, описывающих реабилитацию военнослужащих после боевой травмы. Применялись методы сравнительного и системного анализа для интеграции данных из смежных областей: клинической неврологии, психологии и реабилитологии. ***Результаты.*** Проведен анализ взаимовлияния патогенетических механизмов обоих состояний. Показано, что хронический болевой синдром (включая фантомно-болевой) и нейровоспалительные процессы, характерные для ампутации, потенцируют гиперактивацию миндалевидного тела, дисфункцию гиппокампа и префронтальной коры — ключевые нейрофизиологические маркеры ПТСР. Обратное влияние ПТСР через дисрегуляцию вегетативной нервной системы и оси «гипоталамус-гипофиз-надпочечники» ухудшает течение восстановительного периода, усиливая периферическую и центральную сенситизацию. Обоснована необходимость интегрированного диагностического и терапевтического подхода, направленного на разрыв порочного круга взаимно отягощающих физиологических и психоневрологических нарушений. ***Научная новизна.*** Заключается в системном обосновании концепции единого патофизиологического контура «ампутация-ПТСР». Впервые на основе интегративного анализа выделены и описаны ключевые точки взаимного потенцирования: а) роль нейровоспаления как общего звена, связывающего периферическое повреждение с центральными нейродегенеративными процессами; б) идентификация психофизиологического гипервозбуждения при ПТСР в качестве прямого модулятора центральной сенситизации и фантомной боли. Сформулирован новый концептуальный вывод о фантомно-болевом синдроме как о соматосенсорном корреляте непроработанной психической травмы. ***Практическая значимость.*** Результаты работы обеспечивают теоретическую основу для перехода от симптомоцентрированной к патогенетически обоснованной модели реабилитации. Определены конкретные мишени для комплексного воздействия, что позволяет разрабатывать синхронизированные клинические протоколы, одновременно направленные на коррекцию маладаптивной нейропластичности (с использованием методов зеркальной и виртуальной терапии) и проработку травматических воспоминаний (с помощью методов ДПДГ, ТФ-КПТ). Предложенные принципы способствуют повышению эффективности реабилитации, снижению риска хронизации боли и инвалидизации, а также могут быть использованы при составлении программ медико-психологической помощи и профессиональной переподготовки специалистов реабилитационного профиля. ***Заключение.*** Сочетанная патология ампутации и ПТСР представляет собой качественно новое состояние с формированием единого патофизиологического контура.

Понимание его основ является ключом к разработке эффективных, патогенетически ориентированных реабилитационных стратегий, обеспечивающих восстановление целостности психологического и телесного «Я» пациента.
Ключевые слова: ампутация, посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР), фантомная боль, нейропластичность, нейровоспаление, гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось, сочетанная патология, психофизиология, реабилитация.

Для цитирования: Шевцов А.В., Петрушкина Н.П., Коломиец О.И.*, Звягина Е.В. Физиологические и нейрофизиологические основы сочетанной патологии: ампутация и посттравматическое стрессовое расстройство. Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2026. 21(1): 445-450.

Physiological and neurophysiological foundations of combined pathology: amputation and post-traumatic stress disorder

Anatoliy V. Shevtsov[1], Nadezhda P. Petrushkina[2], Olga I. Kolomiets[1]*, Ekaterina V. Zvyagina[2]

[1] A.I. Herzen Russian State Pedagogical University
Sankt-Peterburg, Russia
ORCID: 0000-0002-9878-3378 , sportmedi@mail.ru
*ORCID: 0000-0003-4623-856X, kolomiec_o@mail.ru**
[2] Ural State University of Physical Culture
Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0002-0830-0206, 25ppnn@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8808-1148, zv-aev@mail.ru

Abstract. The complex problem of combined pathology that occurs in patients after traumatic limb amputation, complicated by the development of post-traumatic stress disorder (PTSD), is considered. Goal. To study the interrelation and interaction of pathophysiological and neurophysiological mechanisms in patients with combined pathology to substantiate integrated approaches to diagnosis and treatment. ***Materials and methods***. The work is based on: 1) a systematic analytical review of modern domestic and foreign scientific publications (2022-2025) on the problems of neuroplasticity in amputations, the neurobiology of PTSD and the comorbidity of these conditions; 2) an analysis of clinical data and literary sources describing the rehabilitation of military personnel after combat trauma. Comparative and systems analysis methods were used to integrate data from related fields: clinical neurology, psychology, and rehabilitation. ***Results.*** The analysis of pathogenetic mechanisms' interaction of both conditions is carried out. It has been shown that chronic pain syndrome (including phantom pain) and neuroinflammatory processes characteristic of amputation potentiate hyperactivation of the amygdala, dysfunction of the hippocampus and prefrontal cortex, which are key neurophysiological markers of PTSD. The reverse effect of PTSD through dysregulation of the autonomic nervous system and the hypothalamus-pituitary-adrenal axis worsens the course of the recovery period, increasing peripheral and central sensitization. The necessity of an integrated diagnostic and therapeutic approach aimed at breaking the vicious circle of mutually aggravating physiological and neuropsychiatric disorders is substantiated. ***Scientific novelty***. It consists in the systematic substantiation of the concept of a single pathophysiological circuit "amputation-PTSD". For the first time, key points of mutual potentiation have been identified and described based on integrative analysis: a) the role of neuroinflammation as a common link linking peripheral damage with central neurodegenerative processes; b) identification of psychophysiological hyperexcitation in PTSD as a direct modulator of central sensitization and phantom pain. A new conceptual conclusion has been formulated about phantom pain syndrome as a somatosensory correlate of an untreated mental trauma. ***Practical significance.*** The results of the work provide a theoretical basis for the transition from a symptom-centered to a pathogenetically based rehabilitation model. Specific targets for complex effects have been identified, which makes it possible to develop synchronized clinical protocols simultaneously aimed at correcting maladaptive neuroplasticity (using mirror and

virtual therapy methods) and processing traumatic memories (using DPDH and TF-CBT methods). The proposed principles contribute to improving the effectiveness of rehabilitation, reducing the risk of chronic pain and disability, and can also be used in the preparation of programs for medical and psychological assistance and professional retraining of rehabilitation specialists. ***Conclusion.*** The combined pathology of amputation and PTSD is a qualitatively new condition with the formation of a single pathophysiological contour. Understanding its fundamentals is the key to developing effective, pathogenetically oriented rehabilitation strategies that ensure the restoration of the integrity of the patient's psychological and bodily self.
Keywords: amputation, post-traumatic stress disorder (PTSD), phantom pain, neuroplasticity, neuroinflammation, hypothalamic-pituitary-adrenal axis, combined pathology, psychophysiology, rehabilitation.

For citation: Anatoliy V. Shevtsov, Nadezhda P. Petrushkina, Olga I. Kolomiets*, Ekaterina V. Zvyagina. Physiological and neurophysiological foundations of combined pathology: amputation and post-traumatic stress disorder. Russian Journal of Physical Education and Sport. 2026; 21(1): 445-450.

Введение

Тема исследования обусловлена комплексом медико-социальных, клинических и научных факторов, приобретающих особую значимость в контексте медицинского обеспечения участников специальной военной операции (СВО).

1. Высокая медико-социальная значимость и масштаб проблемы. Рост числа военнослужащих с тяжелыми боевыми травмами, такими как травматическая ампутация конечностей, создает новую, многочисленную когорту пациентов, требующих длительной и сложной реабилитации [3]. Эффективность их возвращения к активной жизни напрямую определяет не только индивидуальные прогнозы, но и социально-экономические последствия для общества в целом. Низкая эффективность реабилитации ведет к стойкой инвалидизации, что подчеркивает необходимость поиска новых патогенетических подходов.

2. Клиническая неэффективность изолированных («силосных») подходов. Существующая практика, разделяющая физическую (ортопедическую, кинезиотерапевтическую) и психиатрическую/психологическую помощь, доказала свою ограниченность [6, 8]. У пациентов с ампутацией, полученной в боевых условиях, физическое повреждение неизбежно выступает как мощнейшее психотравмирующее событие, приводящее к развитию посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) с частотой, многократно превышающей популяционную [1]. Эти состояния не просто сосуществуют, а формируют целостный патологический комплекс, где ПТСР отягощает и видоизменяет процесс физического восстановления (усиливая фантомные боли, снижая комплаенс, приводя к отторжению протеза), а хронический болевой синдром и ограничения, в свою очередь, усугубляют симптомы психической травмы [1, 7]. Таким образом, актуальность продиктована насущной потребностью в преодолении междисциплинарных барьеров.

3. Научная потребность в интеграции знаний на нейробиологическом уровне. Современные данные нейронаук демонстрируют, что как последствия ампутации (фантомная боль, искажение схемы тела), так и ПТСР имеют четкие, частично пересекающиеся нейрофизиологические основы. С одной стороны, ампутация вызывает маладаптивную нейропластичность – реорганизацию соматосенсорной коры [1]. С другой – ПТСР характеризуется дисфункцией лимбической системы (гиппокамп, миндалина) и префронтальной коры [1]. Их взаимодействие создает «порочный круг»: психофизиологическое гипервозбуждение при ПТСР усиливает центральную сенситизацию и восприятие боли, а хроническая боль активирует нейроэндокринные стресс-системы. Однако механизмы этого взаимного потенцирования, формирующие единый патофизиологический контур, изучены недостаточно. Актуальность заключается в синтезе разрозненных данных из неврологии, психиатрии и реабилитологии для построения целостной модели патогенеза.

4. Практическая востребованность в новых, патогенетически обоснованных технологиях реабилитации. Понимание общих нейробиологических мишеней (нарушенная сенсомоторная интеграция, дисрегуляция оси «гипоталамус-гипофиз-надпочечники», гиперактивность миндалины) открывает путь для разработки принципиально новых интервенций [1, 8]. Актуальным становится внедрение методов, одновременно направленных на коррекцию кортикальной реорганизации (зеркальная терапия, VR/AR, моторная имагинация) и проработку травматических воспоминаний (ДПДГ, ТФ-КПТ), а также их синхронизация в едином реабилитационном маршруте [1, 2].

Таким образом, актуальность темы опреде-

ляется острой общественной и клинической потребностью в повышении эффективности реабилитации ветеранов с сочетанной травмой через углубленное изучение и целенаправленное воздействие на интегрированные физиологические и нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе патологического единства ампутации и ПТСР.

Цель работы - Изучение взаимосвязи и взаимовлияния патофизиологических и нейрофизиологических механизмов у пациентов с сочетанной патологией для обоснования комплексных подходов к диагностике и лечению.

Материалы и методы

Проведен систематический аналитический обзор научной литературы за период 2022–2025 гг. с использованием баз данных PubMed, Scopus, Web of Science, eLIBRARY.RU. Критерии поиска включали комбинации ключевых терминов: «amputation», «phantom limb pain», «posttraumatic stress disorder», «neuroinflammation», «cortical reorganization», «HPA axis», «autonomic nervous system». Отбору подлежали оригинальные исследования, метаанализы и систематические обзоры, посвященные физиологии ампутации, нейробиологии ПТСР и их коморбидности. Также был проведен ретроспективный анализ 40 историй болезни пациентов с травматической ампутацией, находящихся на лечении в Центре травматологии и реабилитации (г. Москва) в период 2020–2025 гг., с оценкой наличия диагностических критериев ПТСР по шкале PCL-5 (Checklist for DSM-5) и характеристик болевого синдрома. [4, 5] Для анализа данных применялись методы сравнительного и корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение

Ретроспективный анализ 40 историй болезни пациентов с травматической ампутацией показал: У 65% (n=26) пациентов с травматической ампутацией в анамнезе были выявлены клинически значимые симптомы ПТСР, что в 4 раза превышает популяционную распространенность; установлена сильная положительная корреляция ($r=0.72$, $p<0.01$) между интенсивностью фантомно-болевого синдрома и выраженностью симптомов гипераройзал (повышенное возбуждение) и избегания при ПТСР.

3. Анализ литературы выявил общие нейрофизиологические субстраты:

Маладаптивная нейропластичность: у пациентов с ампутацией наблюдается реорганизация соматотопических карт в первичной соматосенсорной коре (S1), величина которой коррелирует с интенсивностью фантомной боли. При ПТСР аналогичные процессы дезинтеграции наблюдаются в нейронных сетях, отвечающих за память (гиппокамп) и эмоциональный контроль (префронтальная кора, миндалина).

Дисфункция системы стресс-ответа: для обоих состояний характерна гиперреактивность оси ГГН и симпатической нервной системы, приводящая к повышению уровней кортизола и катехоламинов, что поддерживает состояние системного и нейровоспаления, усиливая периферическую и центральную сенситизацию.

Роль нейровоспаления: цитокиновый каскад, инициированный периферической травмой при ампутации, через гематоэнцефалический барьер и афферентные пути влияет на микроглию и астроциты, способствуя нейровоспалению в ЦНС, что усугубляет нейродегенеративные процессы, характерные для ПТСР.

4. Обнаружено, что наличие ПТСР достоверно ($p<0.05$) увеличивало сроки первичной реабилитации и снижало эффективность протезирования у пациентов.

Заключение

Сочетанная патология ампутации и ПТСР представляет собой не просто сумму двух заболеваний, а качественно новое состояние с формированием единого патофизиологического контура. Физиологической основой этого сочетанного состояния являются хроническая ноцицептивная импульсация, нейровоспаление и дисрегуляция вегетативного гомеостаза. Нейрофизиологической основой выступает маладаптивная реорганизация корковых и подкорковых структур, затрагивающая сенсорные, эмоциональные и когнитивные домены. Взаимное потенцирование этих механизмов создает «порочный круг», объясняющий резистентность к традиционной терапии и худшие клинические исходы. Данные результаты диктуют необходимость обязательного скрининга на ПТСР у всех пациентов после травматической ампутации и внедрения комплексных протоколов лечения, одновременно воздействующих на оба компонента патологии (например, сочетание методов зеркальной терапии, ТМС/ТДКС с когнитивно-поведенческой терапией и фармакотерапией). Перспективным направлением является поиск биомаркеров (например, специфических профилей цитокинов или параметров ЭЭГ/фМРТ), позволяющих прогнозировать риск развития данной сочетанной патологии.

Перспективные направления исследований Реабилитация участников СВО с ампутациями и сопутствующим ПТСР представляет собой

сложнейшую задачу, требующую синтеза достижений клинической медицины, нейронаук, психотравматологии и реабилитологии [3, 4, 8]. Понимание общих нейробиологических основ фантомных ощущений и психопатологических последствий травмы открывает путь к разработке принципиально новых, патогенетически ориентированных интервенций [1, 8].

Перспективными направлениями дальнейших научных изысканий представляются:

углубленное изучение с помощью современных методов нейровизуализации (фМРТ в состоянии покоя и при выполнении задач, ЭЭГ с высокой плотностью отведений) динамики церебральных изменений на разных этапах реабилитации под влиянием различных терапевтических методик;

разработка и валидация комплексных биопсихосоциальных протоколов, в которых фазы психотерапевтической работы (например, ДПДГ) синхронизированы с этапами физической реабилитации и протезирования;

исследование эффективности методов неинвазивной стимуляции мозга (транскраниальная магнитная стимуляция – ТМС, транскраниальная стимуляция постоянным током – tDCS) для целенаправленной модуляции активности префронтальной коры, соматосенсорных зон и связанных с болью нейронных сетей;

создание и внедрение цифровых платформ для дистанционного мониторинга состояния, поддержания психотерапевтического контакта и проведения когнитивных тренировок.

Только такой комплексный, основанный на глубоком понимании патофизиологии подход позволит не просто вернуть ветеранам возможность передвижения или самообслуживания, но и восстановить целостность их психологического и телесного «Я», открыв путь к полноценной жизни после тяжелейшей травмы.

Список литературы

1. Бортникова Е.Г., Вагайцева М.В., Губарева И.Д. Психокоррекция фантомно-болевого синдрома после травматической ампутации у пациентов-военнослужащих (участников СВО). *Вестник психотерапии*. 2025; 94: 6-14. DOI: 10.25016/2782-652X-2025-0-94-06-14.

2. Корнев А.В., Бакай И.Н., Марковская И.Н. и др. Базовые технологии адаптивной физической культуры в рамках комплексной реабилитации участников специальной военной операции. *Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки*. 2025; 2(58): 132-146. DOI: 10.24412/2076-9091-2025-258-132-146.

3. Левкин В.Г., Лецкая О.А. Характеристика инвалидности вследствие травм и увечий, полученных в ходе Специальной военной операции, и реабилитационные мероприятия. *Физическая и реабилитационная медицина*. 2022; 4(4): 7-16. DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-4-7-16.

4. Михеев С.Ю., Пустовойт В.И., Юрку К.А. и др. Особенности медико-биологического сопровождения спортсменов с ампутациями конечностей. *Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна*. 2024; 3: 38-42. DOI: 10.33266/2782-6430-2024-3-38-42.

5. Нескородов С.Е., Федотова И.В. Оценка уровня физической подготовленности военнослужащих с односторонней и двухсторонней ампутацией верхних конечностей. *Физическое воспитание и спортивная тренировка*. 2025; 3(53): 212-220. EDN: HHEUFW.

6. Пепеляев А.В., Скоблин А.А. Клинико-статистический анализ состояния культей как элемент выявления противопоказаний к протезированию. *Гений ортопедии*. 2025; 31(2): 165-174. DOI: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-165-174.

7. Рыбаченкова В.А. Этиология травмы нижней конечности и психофизические особенности у ампутантов с нижней конечностью. *Вестник науки*. 2025; 3-5(86): 1965-1978.

8. Симонов А.В., Осадченко И.В. Реабилитация молодых мужчин после ампутации конечностей вследствие боевых действий и военной травмы. *Успехи гуманитарных наук. 2024; 12: 344-349*. DOI: 10.58224/2618-7175-2024-12-344-349.

References

1. Bortnikova E.G., Vagaytseva M.V., Gubareva I.D. Psychocorrection of phantom pain syndrome after traumatic amputation in military patients (participants of the special military operation). *Vestnik psikhoterapii*. 2025; 94: 6-14. DOI: 10.25016/2782-652X-2025-0-94-06-14 [In Russ.].

2. Kornev A.V., Bakay I.N., Markovskaya N.E. et al. Basic technologies of adaptive physical culture in the framework of comprehensive rehabilitation of participants of the special military operation. *Vestnik MGPU. Seriya: Estestvennye nauki*. 2025; 2(58): 132-146. DOI: 10.24412/2076-9091-2025-258-132-146 [In Russ.].

3. Levkin V.G., Letskaya O.A. Characteristics of disability due to injuries and mutilations received during the Special Military Operation, and rehabilitation measures. *Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina*. 2022; 4(4): 7-16. DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-4-7-16 [In Russ.].

4. Mikheev S.Yu., Pustovoyt V.I., YUrku K.A. et al. Features of medical and biological support for

athletes with limb amputations. *Klinicheskii vestnik FMBC im. A.I. Burnazyana*. 2024; 3: 38-42. DOI: 10.33266/2782-6430-2024-3-38-42 [In Russ.].

5. Neskorodov S.E., Fedotova I.V. Assessment of the level of physical fitness of servicemen with unilateral and bilateral upper limb amputation. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka*. 2025; 3(53): 212-220. – EDN: HHEUFW [In Russ.].

6. Pepelyaev A.V., Skoblin A.A. Clinical and statistical analysis of stump condition as an element of identifying contraindications to prosthetics. *Genii ortopedii*. 2025; 31(2): 165-174. DOI: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-165-174 [In Russ.].

7. Rybachenkova V.A. Etiology of lower limb injury and psychophysical characteristics of amputees with lower limb. Vestnik nauki. 2025; 3-5(86): 1965-1978 [In Russ.].

8. Simonov A.V., Osadchenko I.V. Rehabilitation of young men after limb amputation due to combat actions and military trauma. *Uspekhi gumanitarnykh nauk*. 2024; 12: 344-349. DOI: 10.58224/2618-7175-2024-12-344-349 [In Russ.].

Статья поступила в редакцию: 05.02.2026

Шевцов Анатолий Владимирович *- доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой оздоровительной физической культуры и адаптивного спорта, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, дом 48, e-mail: sportmedi@mail.ru*

Петрушкина Надежда Петровна *- доктор медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующая кафедрой физиологии, Уральский государственный университет физической культуры, 454091, Россия, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, дом 1, e-mail: 25ppnn@mail.ru*

Коломиец Ольга Ивановна *- кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры оздоровительной физической культуры и адаптивного спорта, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, дом 48, e-mail: Kolomiec_o@mail.ru*

Звягина Екатерина Владимировна *- кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, Уральский государственный университет физической культуры, 454091, Россия, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, дом 1, zv-aev@mail.ru*