

Обзорная статья
УДК 159.9.07
DOI: 10.14529/jpps240409

Оценка функционального состояния ампутанта при испытании протеза нижней конечности: к протоколу исследования

П.А. Байгужин[✉], В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, С.Б. Сапожников
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
[✉] baiguzhinpa@susu.ru

Аннотация

Обоснование. В ходе протезной реабилитации важно знать, какие аспекты стресса наиболее важны для функционального (психофизиологического) состояния человека. Оценка эффективности протезной реабилитации зависит от индивидуальных и средовых факторов, особенностей текущих событий, определяющих качество психофизиологической реактивности организма ампутантов. **Цель:** выявить информативные параметры (показатели) для оценки психофизиологического состояния ампутанта при испытании протеза нижней конечности. **Материалы и методы.** В качестве материала выступили статьи, соответствующие теме работы, представленные в базе данных поисковой системы PubMed. Применены методы обобщения и конкретизации. **Результаты.** Представлены информативные показатели, отражающие функциональное состояние обследованных лиц, имеющих ампутации нижних конечностей. Характеристики компенсаторных процессов организма ампутантов описаны общими и специфическими параметрами, обобщенными в ряде факторов: социально-демографическом, клиническом, протезной реабилитации, функциональном, физиологическом, психофизиологическом, психологическом, а также техническом и эргономическом. **Заключение.** Высокая эффективность протезной реабилитации и долгосрочной адаптации к ампутации нижних конечностей достигается комплексным подходом к динамическим обследованиям в рамках биопсихосоциальной модели. Все факторы, влияющие и определяющие функциональное состояние ампутанта при испытании протеза нижней конечности, должны быть детально отражены в протоколе исследования.

Ключевые слова: ампутант, нижние конечности, функциональное состояние, показатели, протокол исследования.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ FENU-2023-0017 (2023217ГЗ).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Оценка функционального состояния ампутанта при испытании протеза нижней конечности: к протоколу исследования / П.А. Байгужин, В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, С.Б. Сапожников // Психология. Психофизиология. 2024. Т. 17, № 4. С. 110–115. DOI: 10.14529/jpps240409

Assessing the functional state of amputees when testing lower limb prostheses: study protocol development

P.A. Baiguzhin[✉], V.V. Erlikh, D.Z. Shibkova, S.B. Sapozhnikov
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[✉] baiguzhinpa@susu.ru

Abstract

Introduction. Understanding which aspects of stress are most important for a person's functional (psychophysiological) condition is crucial for evaluating the effectiveness of prosthetic rehabilitation. Individual and environmental factors, along with the characteristics of current events, determine the quality of psychophysiological reactivity in amputees. **Aims:** to identify informative parameters for assessing the psychophysiological state of amputees when testing lower limb prostheses. **Materials and methods.** This study conducted a comprehensive literature review of articles in the PubMed database, applying methods of generalization and concretization. **Results.** Informative indicators reflecting the functional state of individuals with lower limb amputations were identified. Characteristics of compensatory processes in amputees were described through general and specific parameters across several factors: socio-demographic, clinical, prosthetic rehabilitation-related, functional, physiological, psychophysiological, psychological, technical, and ergonomic. **Conclusion.** Efficient prosthetic rehabilitation and long-term adaptation to lower limb amputation require an integrated biopsychosocial approach to dynamic examinations. All factors influencing the amputee's functional state should be thoroughly considered when developing study protocols for testing lower limb prostheses.

Keywords: amputee, lower limbs, functional state, indicators, research protocol.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FENU-2023-0017 (2023217GZ).

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Baiguzhin P.A., Erlikh V.V., Shibkova D.Z., Sapozhnikov S.B. Assessing the functional state of amputees when testing lower limb prostheses: study protocol development. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2024;17(4):110–115. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps240409

Введение

Комплексное обследование лиц с ограниченными возможностями здоровья – всегда стрессогенное мероприятие. При этом важно знать, какие типы и аспекты стресса наиболее важны для конкретного (состояния) человека. Стресс как динамический процесс включает взаимодействие между индивидуальными параметрами организма и факторами среды – особенностями текущих событий, часто определяющих качество психологической и физиологической реактивности. По мнению E.S. Epel с соавт. (2018), наука о стрессе продвинулась бы еще дальше, если бы исследователи приняли общую концептуальную модель, которая включает эпидемиологические, аффективные и психофизиологические перспективы с более точным языком для описания критериальных оценок стресса [1].

Собственно обследованию предшествует разработка и утверждение медико-биологи-

ческим этическим комитетом регламентирующего документа – протокола исследования. Во множестве руководств представлены структура и требования к разработке протокола. В частности, структура протокола исследования должна содержать следующие элементы: 1) название, которое является конкретным, броским; 2) аннотация – краткое изложение критических моментов исследования; 3) введение, выделяющее контекст исследования от широкого к узкому и определяющее пробел в знаниях; 4) обоснование, отражающее значимость предлагаемого исследования; 5) конкретные, измеримые, достижимые, релевантные и ограниченные по времени цели и задачи; 6) методология; 7) распространение результатов; 8) этика и конфликт интересов; 9) анализ бюджета (финансирования); 10) ссылки на источники [2].

Пункт «Методология» в протоколе определяющий и должен включать: 1) дизайн и

параметры исследования, 2) субъекты исследования, расчет размера выборки, 3) характеристику участников, 4) разработку анкеты, 5) потенциальные переменные (показатели), 6) план анализа данных.

В качестве краткого обзора протоколов подробнее представим переменные, показатели, отражающие функциональное состояние обследованных лиц, имеющих ампутации нижних конечностей.

Традиционно психофизиологические исследования включают применение метода оценки вариабельности сердечного ритма. Оценка тонуса блуждающего нерва отражает вклад парасимпатической нервной системы в регуляцию сердца, связана с механизмами саморегуляции на когнитивном, эмоциональном, социальном уровнях [3]. Парасимпатическая и симпатическая иннервация мышц сфинктера и дилатора зрачка в ответ на психологические и физические воздействия вызывает изменения диаметра зрачка глаза, также отражая реактивность автономной нервной системы [4].

Ранее было показано, что ходьба с протезом нижней конечности сопряжена с высокой когнитивной нагрузкой для ампутантов, что влияет на их мобильность, безопасность и автономность. Установлено, что психофизиологические параметры (проводимость и температура кожи, ЭКГ-показатели, частота дыхания, работоспособность и субъективные оценки) дают точную информацию о когнитивной нагрузке во время различных вариантов ходьбы (симметричной, асимметричной и двухзадачной). Высокая когнитивная нагрузка приводит к значительному увеличению частот шагов, дыхания и сердечных сокращений на фоне снижения вариабельности сердечного ритма [5].

Единичными являются исследования психофизиологического механизма регуляции позы, в частности взаимосвязи позных и психологических характеристик человека. Эффективность современных технологий биоуправления зависит от индивидуальных параметров двигательных и когнитивных способностей, определяющих качество пострурального контроля (внимание, пространственная память, настроение, эмоциональный тонус, скорость принятия решений, мелкая моторика пальцев рук) [6].

В рамках долгосрочной адаптации к ампутации нижних конечностей исследуют ряд психосоциальных переменных: интенсивность болевого синдрома (в том числе фантомной боли), когнитивных способностей (катастрофизация, воспринимаемый контроль над бо-

лью), совладания, социального окружения (социальная поддержка, заботливое реагирование) и функционирования (помехи боли, депрессивные симптомы) [7].

Принципиальной является оценка интенсивности болевого синдрома на этапе протезной реабилитации. Например, показано, что температура культи, интенсивная сердечно-сосудистая гиперреактивность надежно отличают ампутантов с фантомной болью от ампутантов без таковой [8].

В литературе описана связь между положением тела и уровнем активации мышц нижних конечностей с использованием поверхностной электромиографии, но неизвестно, как эти отношения сохраняются после ампутации [9]. Данные ЭМГ необходимо включать в методологию протезной реабилитации [10].

Ампутации снижают качество жизни человека, что выражено в соответствующем психологическом состоянии и психическом здоровье. Формируются чувство угрозы жизненным целям; неоднозначные и интенсивные эмоции (как правило, аффективные и астенические: тревога, страх смерти, грусть, гнев, беспомощность, отчаяние, раскаяние, чувство вины); снижение самооценки, развитие интровертированности, катастрофизации и депрессии; изменение роли в семье и профессиональной жизни, восприятие социальной изоляции [11–13].

В мировой практике для оценки эффективности протезной реабилитации используются около десятка диагностических инструментов [14, 15]. Однако, руководствуясь преимуществами объективной оценки, нашего внимания заслуживают «Шкала баланса Берг» (BBS) [16] и AMPPRO (предиктор мобильности ампутантов с протезом) [17].

Надежным и валидным является комплексный диагностический инструмент AMPPRO (предикторы мобильности ампутантов с протезом), включающий тестирование равновесия при осуществлении различных двигательных задач (равновесие сразу после вставания, при поднимании предмета с пола и т. п.), а также базовых двигательных актов (вставание со стула, ходьба, повороты в движении, подъём и спуск по лестнице) – всего 21 тест. Критерии оценивания функциональных способностей инвалидов-ампутантов позволяют проводить дифференциацию на пять функциональных уровней [17, 18]. Целесообразность применения указанных выше и подобных инструментов лежит в рамках концепции «динамической оценки функционального баланса».

Ключевые параметры, характеризующие «функциональный баланс» в большинстве методик оценивания кинематики двигательных задач, отражают статическое и динамическое функциональное равновесие. Наиболее информативными показателями, тесно связанными с динамическим балансом, являются: скорость походки (м/с), каденция (шаг/мин), процент фазы опоры левой и правой ног (L%, R%) и их двойная опора (%). Статические характеристики баланса включают стабиллографические показатели: площадь смещения эллипса (мм²), длину пути эллипса (мм) и среднюю скорость смещения эллипса (мм/с), процентное соотношение подошвенного давления на пораженной и здоровой ноге (%) [19].

В протоколе исследования должен быть указан факт наличия в анамнезе испытуемого коронавирусной инфекции (COVID-19). В настоящее время оценены социальные, психологические и физиологические последствия COVID-19 [20]. В частности, представлены доказательства различных дисфункций центральной нервной системы, нейропсихиатрических и неврологических симптомов, включая когнитивные дефициты, расстройства настроения [21], в патогенезе которых вирусный нейротропизм и нерегулируемое периферическое воспаление [22].

Таким образом, определены факторы и показатели, информативные и достаточные для оценки психофизиологического состояния ампутантов.

Цель: выявить информативные параметры (показатели) для оценки психофизиологического состояния ампутанта при испытании протеза нижней конечности.

Материалы и методы

В качестве материала выступили статьи, соответствующие теме работы, представленные в базе данных поисковой системы PubMed. Применены методы обобщения и конкретизации.

Результаты

Анализ источников информации позволил заключить, что компенсаторные процессы и механизмы организма ампутантов, специфичность их реализации определяется рядом факторов. Характеристики компенсаторных процессов организма ампутантов описаны общими и специфическими параметрами психофизиологического состояния.

Считаем необходимым обобщить факторы (параметры, показатели), уточняющие ме-

тоды исследования и составляющие протокола оценки компенсаторных механизмов организма при обследовании ампутантов:

– социально-демографические показатели (пол, возраст, род деятельности, уровень двигательной активности и физической подготовленности, качество жизни);

– медико-биологические или клинические (антропометрический профиль, показатели функционального состояния (в том числе сопутствующие заболевания), реактивность организма, качество медикаментозной поддержки, биоритмологический тип (хронотип));

– режимы протезной реабилитации (причина и вид ампутации, стаж реабилитации, особенности программы реабилитации (предоперационный, послеоперационный и предпротезный, протезная подгонка и социальная сплоченность, профессиональная/спортивная реабилитация и последующее наблюдение), уровень болевой чувствительности);

– тестирование кондиций (сезон обследования, целесообразность (обоснование) теста, стандартные условия к проведению функциональных проб, критерии включения и исключения, пространственно-временные параметры функциональной пробы с учетом особенностей ампутантов);

– технические и эргономические показатели протеза (масса, габариты, особенности конструкции, обуви);

– физиологическое состояние (функциональное состояние автономной нервной, сердечно-сосудистой, нейромышечной систем);

– психофизиологическое состояние (психомоторная сфера, поструральный баланс (кинематические и кинетические параметры движений), нейродинамические и поведенческие параметры);

– психологические параметры (психодиагностика когнитивной, эмоциональной, волевой сфер, психического состояния).

Заключение

Высокая эффективность протезной реабилитации и долгосрочной адаптации к ампутации нижних конечностей достигается комплексным подходом к динамическим обследованиям в рамках биопсихосоциальной модели. Все факторы, влияющие и определяющие функциональное состояние ампутанта при испытании протеза нижней конечности, должны быть детально отражены в протоколе исследования.

Список источников / References

1. Epel E.S., Crosswell A.D., Mayer S.E. et al. More than a feeling: A unified view of stress measurement for population science. *Frontiers in Neuroendocrinology*. 2018;49:146–169. DOI: 10.1016/j.yfrne.2018.03.001
2. Makram A.M., Elsheikh R., Makram O.M. et al. Tips from an expert panel on the development of a clinical research protocol. *BMC Medical Research Methodology*. 2024;24(1):293. DOI: 10.1186/s12874-024-02315-1
3. Laborde S., Mosley E., Thayer J.F. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in Psychology*. 2017;8:213. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00213
4. Steinhauer S.R., Bradley M.M., Siegle G.J. et al. Publication guidelines and recommendations for pupillary measurement in psychophysiological studies. *Psychophysiology*. 2022;59(4):e14035. DOI: 10.1111/psyp.14035
5. Knaepen K., Marusic U., Crea S. et al. Psychophysiological response to cognitive workload during symmetrical, asymmetrical and dual-task walking. *Human Movement Science*. 2015;40:248–263. DOI: 10.1016/j.humov.2015.01.001
6. Bazanova O.M., Kovaleva A.V. Psychophysiological Indicators of Postural Control. Contribution of the Russian Scientific School. Part I. *Human Physiology*. 2022;48(2):207–228. DOI: 10.1134/S0362119722020025
7. Hanley M.A., Jensen M.P., Ehde D.M. Psychosocial predictors of long-term adjustment to lower-limb amputation and phantom limb pain. *Disability and Rehabilitation*. 2004;26(14-15):882–893. DOI: 10.1080/09638280410001708896
8. Angrilli A., Köster U. Psychophysiological stress responses in amputees with and without phantom limb pain. *Physiology and Behavior*. 2000;68(5):699–706. DOI: 10.1016/S0031-9384(99)00235-8
9. Posh R.R., Barry E.C., Schmiegeler J.P., Wensing P.M. Lower-Limb Myoelectric Calibration Postures for Transtibial Prostheses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation*. 2024;32:1210–1220. DOI: 10.1109/TNSRE.2024.3375118
10. Dhal C., Wahi A. Psycho-physiological training approach for amputee rehabilitation. *Biomedical Instrumentation and Technology*. 2015;49(2):138-43. DOI: 10.2345/0899-8205-49.2.138
11. Abdel Rahim A., Tam A., Holmes M., Mittapalli D. The effect of amputation level on patient mental and psychological health, prospective observational cohort study. *Annals of Medicine and Surgery*. 2022;84:104864. DOI: 10.1016/j.amsu.2022.104864.
12. Şimsek N., Öztürk G.K., Nahya Z.N. The Mental Health of Individuals With Post-Traumatic Lower Limb Amputation: A Qualitative Study. *Journal of Patient Experience*. 2020;7(6):1665–1670. DOI: 10.1177/2374373520932451
13. Alkadem A.T.A., Noori A.K.M. Self-esteem and its Correlation with Quality of Life among Amputees. *Iranian Journal of War and Public Health*. 2023;15(3):315–321.
14. Heinemann A.W., Bode R.K., O'Reilly C. Development and measurement properties of the Orthotics and Prosthetics Users' Survey (OPUS): a comprehensive set of clinical outcome measures. *Prosthetics and Orthotics International*. 2003;27:191–206.
15. Tinetti M.E. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1986; 34(2):119–126. DOI: 10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x
16. Alghwiri A.A., Whitney S.L. Chapter 18 – Balance and falls. Guccione A.A., Wong R.A., Avers D. Ed. *Geriatric Physical Therapy (Third Edition)* Mosby. 2012.
17. Gailey R.S. Predictive Outcome Measures Versus Functional Outcome Measures in the Lower Limb Amputee. *Journal of Prosthetics and Orthotics*. 2006;18(1S):P51–P60.
18. Васильченко Е.М. Динамика частоты ампутаций нижней конечности в городе Новокузнецке. Ретроспективное исследование. Медицина в Кузбассе. 2018. Т. 17, № 4. С. 5–10. [Vasilchenko E.M. The dynamics of the frequency of lower limb amputations in the city of Novokuznetsk: a retrospective study. *Meditsina v Kuzbasse = Medicine in Kuzbass*. 2018;17(4):5–10 (in Russ.)].
19. Zhang X., Liu Z., Qiu G. Measuring balance abilities of transtibial amputees using multiattribute utility theory. *BioMed Research International*. 2021;2021:8340367. DOI: 10.1155/2021/8340367
20. Clemente-Suárez V.J., Dalamitros A.A., Beltran-Velasco A.I. et al. Social and Psychophysiological Consequences of the COVID-19 Pandemic: An Extensive Literature Review. *Frontiers in Psychology*. 2020;11:580225. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.580225

21. Tariq M., Mahak F., Kumar R. et al. Unmasking the long-term effects: unravelling neuropsychiatric and neurological consequences of COVID-19. *Annals of Medicine and Surgery*. 2024;86(3):1490–1495. DOI: 10.1097/MS9.0000000000001624

22. Volk P., Rahmani Manesh M., Warren M.E. et al. Long-term neurological dysfunction associated with COVID-19: Lessons from influenza and inflammatory diseases? *Journal of Neurochemistry*. 2024;168(10):3500–3511. DOI: 10.1111/jnc.16016

Поступила 13.10.2024; одобрена после рецензирования 19.11.2024; принята к публикации 22.11.2024.

Информация об авторах

Байгужин Павел Азифович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки; Институт спорта, туризма и сервиса; Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5092-0943>, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru

Эрлих Вадим Викторович, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Институт спорта, туризма и сервиса; Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>, e-mail: erlih-vadim@mail.ru

Шибкова Дарья Захаровна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки; Институт спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8583-6821>, e-mail: shibkova2006@mail.ru

Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры технической механики, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7022-4865>, e-mail: sapozhnikovsb@susu.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Submitted 13.10.2024; approved after reviewing 19.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

About the authors

Pavel A. Baiguzhin, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Center for Sports Science; Institute of Sport, Tourism and Service; South Ural State University (76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5092-0943>, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru

Vadim V. Erlikh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport, Institute of Sport, Tourism and Service; South Ural State University (76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>, e-mail: erlih-vadim@mail.ru

Daria Z. Shibkova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Research Center for Sports Science; Institute of Sport, Tourism and Service; South Ural State University (76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8583-6821>, e-mail: shibkova2006@mail.ru

Sergey B. Sapozhnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Department of Technical Mechanics, South Ural State University (76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7022-4865>, e-mail: sapozhnikovsb@susu.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

All authors have read and approved the final manuscript.