

УДК 615.322 + 615.017

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТОГЕННЫХ СВОЙСТВ ЕЖОВИКА ГРЕБЕНЧАТОГО (*HERICIUM ERINACEUS*) В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НЕИЗБЕЖАЕМОЙ ИНТЕНСИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

О. И. ГУБИЧ¹⁾, П. О. ЖУРАВИЦКИЙ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Экспериментально подтверждена стабилизация ключевых показателей углеводного (концентрация глюкозы и пирувата) и энергетического (содержание креатинфосфата) обмена в условиях интенсивной физической нагрузки у лабораторных мышей при преднагрузочном однократном пероральном введении экстракта ежевика гребенчатого (*Hericum erinaceus*) в дозе 100 мг/кг. Установлены полное предотвращение развития нагрузочной гипогликемии и нормализация содержания креатинфосфата в скелетной мускулатуре подопытных животных по сравнению с аналогичными показателями у животных контрольной группы. Адаптогенное действие ежевика гребенчатого превосходило соответствующее действие янтарной кислоты – адаптогена с доказанной эффективностью, использованного в качестве препарата сравнения. Полученные результаты позволяют рассматривать препараты на основе ежевика гребенчатого как перспективные средства коррекции метаболических сдвигов при интенсивной физической нагрузке.

Ключевые слова: ежевик гребенчатый; интенсивная физическая нагрузка; адаптоген; макроэрг; углеводный обмен.

Образец цитирования:

Губич ОИ, Журавитский ПО. Исследование адаптогенных свойств ежевика гребенчатого (*Hericum erinaceus*) в экспериментальной модели неизбежной интенсивной физической нагрузки. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2026;1:74–78.
EDN: OZVGFI

For citation:

Hubich AI, Zhuravitski PA. The investigation of the adaptogenic properties of *Hericum erinaceus* on the experimental model of intense physical activity. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2026;1:74–78. Russian.
EDN: OZVGFI

Авторы:

Оксана Игоревна Губич – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры биохимии биологического факультета.
Павел Олегович Журавитский – магистрант кафедры биохимии биологического факультета. Научный руководитель – О. И. Губич.

Authors:

Aksana I. Hubich, PhD (biology), docent; associate professor at the department of biochemistry, faculty of biology.
aksanahubich@gmail.com
Pavel A. Zhuravitski, master's degree student at the department of biochemistry, faculty of biology.
vinzel_bugatti@mail.ru

THE INVESTIGATION OF THE ADAPTOGENIC PROPERTIES OF *HERICIUM ERINACEUS* ON THE EXPERIMENTAL MODEL OF INTENSE PHYSICAL ACTIVITY

A. I. HUBICH^a, P. A. ZHURAVITSKI^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. I. Hubich (aksanahubich@gmail.com)

Abstract. The stabilisation of the key parameters of carbohydrate (glucose and pyruvate concentration) and energy (creatine phosphate content) metabolism under intense physical activity of laboratory mice after a single oral preload of *Hericum erinaceus* extract at a dose of 100 mg/kg was experimentally confirmed. A complete prevention of the development of stress hypoglycaemia and normalisation of creatine phosphate content in the skeletal muscles of experimental animals, compared to the corresponding parameters in animals of the control group, was established. The adaptogenic effect of *H. erinaceus* exceeded the same effect of an adaptogen with proven efficacy – succinic acid, which was used as a comparison drug. The results obtained allow us to consider preparations of *H. erinaceus* as promising drug for the correcting of metabolic shifts during intense physical activity.

Keywords: *Hericum erinaceus*; intense physical activity; adaptogen; macroerg; carbohydrate metabolism.

Введение

Интенсивная физическая нагрузка предъявляет повышенные требования к системам энергообеспечения организма, неизбежно приводя к значительным метаболическим сдвигам, в частности к изменению концентрации глюкозы и пирувата (лактата) в крови, а также к снижению уровня ключевых макроэргов, таких как креатинфосфат, в скелетной мускулатуре и центральной нервной системе [1; 2]. Данные изменения являются частью адаптационного ответа, но их чрезмерная выраженность может обуславливать развитие утомления и снижение работоспособности [3]. В связи с этим поиск безопасных и эффективных средств, способных модулировать ключевые звенья энергетического метаболизма в указанных условиях, представляет значительный интерес для спортивной медицины, нутрициологии и восстановительной медицины. Особое внимание сегодня уделяется адаптогенам природного происхождения, обладающим комплексным, но относительно мягким действием на различные органы и системы организма, что открывает широкие возможности для коммерциализации подобных препаратов и их дальнейшего внедрения в практику.

Одним из популярных и перспективных объектов исследования специалистов в области биохимии и фармакологии является ежовик гребенчатый (*Hericum erinaceus*). Результаты ранее проведенных биомедицинских исследований этого съедобного гриба, широко применяемого в традиционной медицине Восточной Азии, свидетельствуют о многообразии его фармакологических свойств, в число которых входит нейропротекторное, противовоспалительное, антидиабетическое и иммуномодулирующее действие [4; 5]. Установлено, что вышеперечисленные биологические эффекты обусловлены наличием комплекса биологически активных соединений, включая полисахариды (в частности, β-глюканы), специфические алкалоиды (эринацины), гериценоны, а также уникальный по выраженности действия антиоксидант эрготионеин [6]. Однако, несмотря на широкий спектр имеющихся литературных данных, способность ежовика гребенчатого регулировать показатели углеводного и энергетического обмена в условиях кратковременной интенсивной физической нагрузки изучена недостаточно [7]. Вместе с тем известно, что липофильные компоненты этого гриба в условиях стресса проявляют свойства агонистов рецептора PPARδ, приводя к индукции пируватдегидрогеназы, инактивации пируватдегидрогеназного комплекса и, как следствие, переключению энергетического метаболизма с окисления углеводов на окисление жиров, обеспечивая таким образом экономию гликогена [8]. Кроме того, показана способность полисахаридов ежовика гребенчатого активировать путь CREB/PGC-1α, стимулируя митохондриальный биогенез и окислительное фосфорилирование [9], и отмечена выраженная антиоксидантная защита, обеспечиваемая высоким содержанием эрготионеина, что может быть критически важно для сохранения функции митохондрий в условиях нагрузочного окислительного стресса [10].

Принимая во внимание перспективный химический состав и описанную выше способность препаратов данного гриба регулировать ряд важнейших звеньев энергетического обмена, целью настоящего исследования являлось изучение влияния однократного перорального введения водного экстракта плодового

тела ежевика гребенчатого на показатели углеводного и энергетического обмена, такие как концентрация глюкозы и пирувата в крови и содержание креатинфосфата в скелетной мускулатуре лабораторных мышей в условиях неизбежной интенсивной физической нагрузки.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на беспородных белых мышах-самцах массой 30–50 г, содержащихся на стандартном рационе вивария Белорусского государственного университета. Все эксперименты осуществлялись в соответствии с этическими нормами обращения с животными, а также правилами проведения работ с использованием лабораторных животных в научных исследованиях, составленными на основе рекомендаций и требований Всемирного общества защиты животных и Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 1986).

В работе использовали коммерческий препарат измельченных высушенных плодовых тел ежевика гребенчатого (ООО «Микофарм», Россия), экстракт которого готовили непосредственно перед проведением исследования из расчета 600 мг сухого сырья на 25 мл дистиллированной воды, настаивали 10 мин и однократно вводили животным соответствующих экспериментальных групп перорально с помощью пипетки в экспериментально подобранной максимально эффективной дозе 100 мг/кг. В качестве препарата сравнения использовали коммерческий препарат известного и хорошо охарактеризованного адаптогена – янтарной кислоты (ООО «Балтийская косметика», Россия), раствор которого готовили в соответствии с прилагающейся инструкцией и вводили перорально в аналогичной основному препарату дозе (100 мг/кг) для обеспечения возможности сравнения фиксируемых эффектов.

Экспериментальная модель неизбежной интенсивной физической нагрузки представляла собой 12-минутное активное безостановочное плавание лабораторных животных в воде комнатной температуры (+24 °C), как описано в работе [11]. Условия эксперимента полностью исключали возможность пассивного удержания животных на воде (лежание на воде, удержание за стенки резервуара и др.). По истечении указанного времени животных выводили из эксперимента путем декапитации и выполняли измерение концентрации глюкозы в крови глюкозоксидазным методом с помощью коммерческого набора реагентов (научно-технический производственный кооператив «Анализ Х», Беларусь), концентрации пирувата в крови модифицированным методом Умбрайт¹ и содержания креатинфосфата в скелетной мускулатуре методом Фиске – Суббароу².

Экспериментальные данные обрабатывали статистически с подсчетом среднего арифметического ($\bar{X}$), стандартной ошибки среднего арифметического ($\pm S_x$) и достоверности результатов при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для статистических расчетов использовали лицензионный пакет программ *Stadia* (версия 6.0).

Результаты и их обсуждение

Как отмечено выше, для оценки адаптогенных свойств водного экстракта ежевика гребенчатого использована традиционная экспериментальная модель интенсивной физической нагрузки. В качестве анализируемых показателей выбраны содержание креатинфосфата в скелетной мускулатуре, отражающее энергообеспечение начальных (пусковых) этапов мышечного сокращения, а также концентрация глюкозы и уровень пирувата в крови, косвенно отображающие интенсивность гликолитического пути энергообеспечения сокращающейся скелетной мускулатуры.

Интенсивная физическая нагрузка в нашем эксперименте закономерно приводила к развитию у лабораторных мышей состояния утомления, проявляющегося в неспособности животных к дальнейшим активным плавательным движениям и их переходе к энергосберегающим формам пассивного удержания на воде (лежание на воде, удержание за стенки резервуара и др.). Наблюдаемое состояние сопровождалось достоверным снижением в скелетной мускулатуре запасов креатинфосфата (его содержание оказалось на 53,2 % ниже начальных значений), который участвует в ресинтезе АТФ, необходимого для мышечного сокращения. Параллельно с этим фиксировались снижение концентрации глюкозы в крови на 22,9 % и тенденция к уменьшению концентрации пирувата, по-видимому метаболизировавшегося за время эксперимента в молочную кислоту (см. таблицу).

¹Медицинская биохимия: практикум : пособие для студентов учреждения высш. образования, обучающихся по специальности 1-31 01 02 «Биохимия» / сост. О. И. Губич. Минск : БГУ, 2015. 84 с.

²Биоэнергетика: практикум : учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высш. образования, обучающихся по специальностям 1-31 01 01 «Биология (по направлениям)», 1-31 01 02 «Биохимия» / сост. О. И. Губич. Минск : БГУ, 2016. 87 с.

Влияние водного экстракта ежевика гребенчатого и раствора янтарной кислоты на биохимические показатели углеводного и энергетического обмена у лабораторных мышей в экспериментальной модели интенсивной физической нагрузки

Effects of *H. erinaceus* water extract and a solution of succinic acid on the biochemical markers of carbohydrate and energetic metabolism of laboratory mice in the experimental model of intensive physical activity

Серия	Концентрация глюкозы, ммоль/л	Концентрация пирувата, ммоль/л	Содержание креатинфосфата, мкмоль/г
Интактные мыши	9,48 ± 0,91 (100 %)	3,05 ± 0,12 (100 %)	0,77 ± 0,04 (100 %)
Мыши, подвергнутые физической нагрузке	7,31 ± 1,74 (77,1 %)*	2,83 ± 0,08 (92,8 %)	0,36 ± 0,01 (46,8 %)*
Интактные мыши, получавшие экстракт ежевика гребенчатого	8,83 ± 0,83 (93,1 %)	3,14 ± 0,18 (103,0 %)	0,82 ± 0,11 (106,5 %)
Мыши, подвергнутые физической нагрузке и получавшие экстракт ежевика гребенчатого	9,33 ± 0,95 (98,4 %)**	2,78 ± 0,20 (91,1 %)	1,01 ± 0,09 (131,2 %)**
Интактные мыши, получавшие раствор янтарной кислоты	9,69 ± 1,43 (102,2 %)	3,65 ± 0,92 (119,6 %)	0,74 ± 0,02 (96,1 %)
Мыши, подвергнутые физической нагрузке и получавшие раствор янтарной кислоты	6,92 ± 2,37 (73,0 %)	3,57 ± 0,26 (117,0 %)**	1,10 ± 0,03 (142,9 %)**

Примечания: 1. Данные представлены в виде $\bar{X} \pm S_x$. 2. Знаком * отмечены достоверные различия по отношению к показателям интактных мышей, а знаком ** – достоверные различия по отношению к показателям мышей, подвергнутых физической нагрузке и не получавших препарат ($p \leq 0,05$; $n = 5$ для каждой серии). 3. В скобках указано процентное изменение анализируемых биохимических маркеров всех экспериментальных серий по отношению к показателям интактной серии (приняты за 100 %).

Иная картина наблюдалась при аналогичной нагрузке, но после однократного приема животными препаратов ежевика гребенчатого и янтарной кислоты (препарат сравнения) в экспериментально подобранной максимально эффективной дозе за 10 мин до начала эксперимента. Интересно, что оба препарата проявили выраженную, но принципиально разную активность. Так, экстракт ежевика гребенчатого полностью нивелировал нагрузочную гипогликемию, поддерживая концентрацию глюкозы в крови на уровне, статистически не отличающемся от такового у интактных животных (98,4 % от показателя интактной серии). Повышение концентрации пирувата, предшественника молочной кислоты, составило лишь 17 % по отношению к его уровню у интактных животных (см. таблицу). Что касается содержания креатинфосфата в скелетной мускулатуре, то введение препарата ежевика гребенчатого обеспечило не только стабилизацию, но и повышение данного показателя.

Наблюдаемая стабилизация анализируемых показателей углеводного и энергетического обмена может быть связана с индуцируемой ежевиком гребенчатым активацией рецептора PPAR δ , позволяющего переключить метаболический поток с углеводных источников получения энергии на липидные источники, как описано в работе [8]. Интересно, что пероральное введение раствора янтарной кислоты в аналогичной серии эксперимента не обеспечило стабилизацию концентрации глюкозы в крови активно плавающих животных, однако значительно повысило содержание креатинфосфата в скелетной мускулатуре. Подобный феномен впервые был описан еще в 1971 г. М. Н. Кондрашовой и Н. Р. Чаговцом [12], которые сделали вывод о том, что сукцинат играет роль энергетического субстрата, поддерживающего ресинтез креатинфосфата в условиях дефицита АТФ.

Необходимо отметить, что введение экстракта ежевика гребенчатого интактным мышам в отсутствие физической нагрузки не сопровождалось изменениями поведенческих реакций, равно как и негативными изменениями анализируемых показателей углеводного и энергетического обмена (см. таблицу). Таким образом, экстракт ежевика гребенчатого отвечает первому требованию, предъявляемому к препаратам адаптогенного действия, согласно которому адаптоген должен действовать только на соответствующем фоне с минимальными сдвигами в нормальных условиях или без них [13].

Заключение

Полученные результаты позволяют заключить, что в условиях высокой физической нагрузки водный экстракт ежевика гребенчатого обеспечивает адаптацию путем более экономного расходования

энергетических субстратов, не уступая в действии янтарной кислоте, адаптогенная эффективность которой считается полностью доказанной. Примечательно, что наблюдаемый эффект реализовался уже после первого приема экстракта, подобное характерно лишь для немногих растительных адаптогенов (например, для падуба парагвайского [11], рододендрона Адамса [14], клитории тройчатой [15]). Данный факт позволяет рассматривать ежовик гребенчатый как потенциально перспективное средство стабилизации метаболических сдвигов при интенсивной физической нагрузке.

Библиографические ссылки

1. Constantin-Teodosiu D, Peirce NS, Fox J, Greenhaff PL. Muscle pyruvate availability can limit the flux, but not activation, of the pyruvate dehydrogenase complex during submaximal exercise in humans. *The Journal of Physiology*. 2004;561(2):647–655. DOI: 10.1113/jphysiol.2004.073411.
2. Kemp GJ, Taylor DJ, Radda GK. Control of phosphocreatine resynthesis during recovery from exercise in human skeletal muscle. *NMR in Biomedicine*. 1993;6(1):66–72. DOI: 10.1002/nbm.1940060111.
3. Tipton CM, editor. *Exercise physiology: people and ideas*. New York: Springer; 2003. XIII, 510 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7543-9.
4. Contato AG, Conte-Junior CA. Lion's mane mushroom (*Hericium erinaceus*): a neuroprotective fungus with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial potential – a narrative review. *Nutrients*. 2025;17(8):1307. DOI: 10.3390/nu17081307.
5. Brandalise F, Roda E, Ratto D, Goppa L, Gargano ML, Cirilione F, et al. *Hericium erinaceus* in neurodegenerative diseases: from bench to bedside and beyond, how far from the shoreline? *Journal of Fungi*. 2023;9(5):551. DOI: 10.3390/jof9050551.
6. Chen S, Ling B, Liu X, Liu L, Feng J, Zhang J, et al. Structural characterization of β -glucan in *Hericium erinaceus* pretreated by steam explosion and its effects on human gut microbiota *in vitro*. *Food Chemistry*. 2025;482:144156. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144156.
7. Liu X, Luo D, Guan J, Chen J, Xu X. Mushroom polysaccharides with potential in antidiabetes: biological mechanisms, extraction, and future perspectives: a review. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:1087826. DOI: 10.3389/fnut.2022.1087826.
8. Komiya Y, Nakamura T, Ishii M, Shimizu K, Hiraki E, Kawabata F, et al. Increase in muscle endurance in mice by dietary Yamabushitake mushroom (*Hericium erinaceus*) possibly via activation of PPAR δ . *Animal Science Journal*. 2019;90(6):781–789. DOI: 10.1111/asj.13199.
9. Liu P, Zhang Z, Du M, Chen W, Li W, Yang W, et al. Restoring mitochondrial function and remodeling gut microbiota by low-molecular-weight β -glucan of *Hericium erinaceus* in alcohol-induced gastrointestinal injury. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2025;73(45):28864–28882. DOI: 10.1021/acs.jafc.5c10515.
10. Roda E, Ratto D, De Luca F, Desiderio A, Ramieri M, Goppa L, et al. Searching for a longevity food, we bump into *Hericium erinaceus* primordium rich in ergothioneine: the «longevity vitamin» improves locomotor performances during aging. *Nutrients*. 2022;14(6):1177. DOI: 10.3390/nu14061177.
11. Губич ОИ, Огорокова СС, Копылева ДВ, Джаафар НС, Дуц ДВ, Коваль МИ. Исследование адаптогенных и гепатопротекторных свойств падуба парагвайского (*Ilex paraguariensis*) на экспериментальных моделях *in vivo*. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2021;2:43–51. DOI: 10.33581/2521-1722-2021-2-43-51.
12. Кондрашова МН, Чаговец НР. Янтарная кислота в скелетных мышцах при интенсивной деятельности и в периоде отдыха. *Доклады Академии наук СССР*. 1971;198(1):243–246.
13. Яременко КВ. Учение Н. В. Лазарева о СНПС и адаптогенах как базовая теория профилактической медицины. *Психофармакология и биологическая наркология*. 2005;5(4):1086–1092. EDN: HSOGMR.
14. Губич ОИ, Пучкова КВ, Залесская НА, Крючкова НВ. Исследование адаптогенных свойств рододендрона Адамса (*Rhododendron adamsii* Rehder) на экспериментальных моделях *in vivo*. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2018;1:60–68. EDN: SNNWIP.
15. Губич ОИ, Бандык ЯА, Залесская НА, Огорокова СС, Капаник АИ, Герасимова АЭ. Исследование адаптогенных, сахароснижающих и гепатопротекторных свойств клитории тройчатой (*Clitoria ternatea* L.) на экспериментальных моделях *in vivo*. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2020;1:27–38. DOI: 10.33581/2521-1722-2020-1-27-38.

Получена 04.02.2026 / исправлена 14.02.2026 / принята 16.02.2026.
Received 04.02.2026 / revised 14.02.2026 / accepted 16.02.2026.