

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 616-092.9:59.085

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-15-22>

Стресс-протективная и актопротекторная активность янтарной кислоты при акустической нагрузке на лабораторных крыс в эксперименте

Н.В. Симонова¹ , С.В. Панфилов² , И.Ю. Саяпина², А.П. Лашин³ ¹Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, г. Калуга, Российская Федерация²Амурская государственная медицинская академия, г. Благовещенск, Российская Федерация³Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии

— МВА имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация

✉ simonova.agma@yandex.ru

EDN: HANJLM

Аннотация

Введение. На сегодняшний день расширение диапазона антропогенного влияния на теплокровный организм, включающего увеличение акустической нагрузки, так значительно, что предполагает необходимость поиска возможных средств профилактики и коррекции изменений, вызванных воздействием шума. Шумовое воздействие на организм сопровождается сдвигом равновесия в функционировании нейрогуморальной системы в сторону увеличения концентрации катехоламинов в крови. В результате нарушается микроциркуляция и трофика тканей, увеличивается проницаемость биологических мембран клеток, изменяются структурно-функциональные свойства интегральных и периферических белков, повышается интенсивность процессов перекисного окисления липидов, потенцирующих формирование гипоксии. В этих условиях целесообразность использования энергокорректора — янтарной кислоты — требует экспериментального обоснования. Цель данного исследования — определение стресс-протективных и актопротекторных свойств янтарной кислоты при акустической нагрузке на лабораторных крыс.

Материалы и методы. Исследования проводились в период с 2022 по 2023 гг. на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории Амурской ГМА (г. Благовещенск). Объектом исследования стали 90 белых беспородных крыс-самцов, разделенные на три группы: 1-я группа — интактная, животные находились в стандартных условиях вивария и каким-либо воздействиям не подвергались; 2-я группа — контрольная, животных подвергали акустической нагрузке в течение 21 дня ежедневно по 60 минут на фоне предварительного ежедневного внутрибрюшинного введения непосредственно перед акустической нагрузкой изотонического раствора натрия хлорида в дозе 1 мл/кг; 3-я группа — опытная, крысам перед акустической нагрузкой ежедневно внутрибрюшинно вводили янтарную кислоту в дозе 1 мл/кг в течение 21 дня. Акустическую нагрузку создавали путем подачи через динамики предварительно записанного звука работающего двигателя мотоцикла с уровнем звукового давления 95–105 дБ.

Стресс-протективную активность определяли по массе надпочечников, вилочковой железы, селезенки и количеству эрозивных дефектов на поверхности слизистой оболочки желудка. Актопротекторную активность янтарной кислоты определяли на 7-й, 14-й и 21-й дни от начала эксперимента по длительности плавания крыс в воде.

Результаты исследования. Данные эксперимента подтвердили актопротекторную активность янтарной кислоты в условиях воздействия шума — длительность плавания крыс опытной группы увеличилась на 25 % (7-й день), 27 % (14-й день), 32 % (21-й день) в сравнении с контрольной группой. Стресс-протективный эффект янтарной кислоты при акустической нагрузке выражался предупреждением инволюции вилочковой железы и селезенки в среднем на 42 % к концу опыта, количество эрозивных дефектов слизистой желудка крыс в опытной группе было меньше в 2,5–3,5 раза в течение всего опыта относительно животных группы контроля.

Обсуждение и заключение. Подтверждена актопротекторная и стресс-протективная активность янтарной кислоты при акустической нагрузке на организм: введение сукцината способствует повышению физической выносливости лабораторных крыс, подвергнутых воздействию шума, увеличению коэффициентов массы вилочковой железы и селезёнки в опытной группе на фоне статистически значимого снижения количества эрозивных дефектов на поверхности слизистой оболочки желудка. Это связано с нормализацией энергетического и пластического обмена, кислородного гомеостаза при введении янтарной кислоты, что обеспечивает повышение потенциала компенсаторно-приспособительных реакций к воздействию стресс-фактора.

Ключевые слова: акустическая нагрузка, янтарная кислота, актопротекторная активность, стресс-протективное действие, крысы

Для цитирования. Симонова Н.В., Панфилов С.В., Саяпина И.Ю., Лашин А.П. Стресс-протективная и актопротекторная активность янтарной кислоты при акустической нагрузке на лабораторных крыс в эксперименте. *Ветеринарная патология*. 2025;24(1):15–22. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-15-22>

Original Empirical Research

Stress-Protective and Adaptogenic Effect of Succinic Acid Determined in the Experiment with Laboratory Rats Exposed to Acoustic Load

Natalia V. Simonova¹ , Stepan V. Panfilov² , Irina Yu. Sayapina², Anton P. Lashin³ 

¹Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski, Kaluga, Russian Federation

²Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk, Russian Federation

³Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — Skryabin MBA, Moscow, Russian Federation

✉ simonova.agma@yandex.ru

Abstract

Introduction. Today, the range of anthropogenic influences on the endothermic organism, including that caused by acoustic load, is growing so significantly that makes it necessary to search for the possible ways of preventing and correcting changes induced by noise exposure. Exposure of an organism to noise is attributed with neurohumoral mechanisms disbalance leading to catecholamine concentration increase in blood. This results in the microcirculation and tissue trophism disorder, cell membrane permeability increase, changes in structural and functional properties of integral and peripheral proteins, and lipid peroxidation intensity increase with the risk of hypoxia development. Therefore, the expedience of using succinic acid as an energy corrector should be justified experimentally. The present research aims at determining the stress- and adaptogenic properties of succinic acid in laboratory rats exposed to acoustic load.

Materials and Methods. The research was conducted in the period from 2022 to 2023 at the Central Research Laboratory of the Amur State Medical Academy (Blagoveshchensk). The objects of the research were 90 white outbred male rats, divided into three groups: 1st – intact group, the animals were kept in the standard vivarium conditions and were not exposed to any influence; 2nd – control group, the animals were exposed to acoustic load daily for 60 minutes during 21 days preceded by daily intraperitoneal administration of isotonic sodium chloride solution at a dose of 1 ml/kg right before the start of acoustic loading; 3^d – experimental group, prior to the acoustic loading start, the rats were daily intraperitoneally injected with succinic acid at a dose of 1 ml/kg during 21 days. The acoustic load was created by playing back through the speakers the recorded sound of a running motorcycle engine with the level of sound pressure of 95–105 dB. Stress-protective effect was determined by the weight of the adrenal glands, thymus gland, spleen and the number of gastric mucosa erosions. The adaptogenic effect of succinic acid was determined on the 7th, 14th and 21st days from the start of the experiment by the duration of rats' swimming in the water.

Results. The data obtained during the experiment has confirmed the adaptogenic effect of succinic acid in conditions of exposure to noise — the swimming time of rats from the experimental group increased by 25% (on the 7th day), by 27% (on the 14th day), by 32% (on the 21st day) compared to the control group. The stress-protective effect of succinic acid under acoustic load was manifested in prevention of thymus gland and spleen involution, on average, by 42% by the end of the experiment; and reduction by 2.5–3.5 times throughout the experiment of the number of gastric mucosa erosions in rats from the experimental group compared to the animals from the control group.

Discussion and Conclusions. The adaptogenic and stress-protective effect of succinic acid on the organism under acoustic load has been confirmed: administering the succinate to laboratory rats exposed to noise improves their physical endurance, increases the mass coefficients of the thymus gland and spleen in the experimental group against the background of statistically significant reduction of the number of gastric mucosa erosions. This is related to normalization of the energy-

yielding and constructive metabolism and oxygen homeostasis, when administering the succinic acid, which ensures improvement of the compensatory and adaptive reaction capacity as a feedback to stress.

Keywords: acoustic load, succinic acid, adaptogenic effect, stress-protective effect, rats

For Citation. Simonova NV, Panfilov SV, Sayapina IYu, Lashin AP. Stress-Protective and Adaptogenic Effect of Succinic Acid Determined in the Experiment with Laboratory Rats Exposed to Acoustic Load. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(1):15–22. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-15-22>

Введение. Проблема дисфункционала при акустической нагрузке на клеточно-тканевом уровне и в организме в целом является актуальной в современном мире ввиду прогрессирующей динамики антропогенного влияния на организм, безусловно требующего прицельного раскрытия механизмов развития патологического состояния с целью проведения своевременной фармакопрофилактики и фармакокоррекции. Известно, что шумовое воздействие на теплокровный организм сопровождается сдвигом равновесия в функционировании нейрогуморальной системы в сторону увеличения концентрации катехоламинов в крови с последующим нарушением микроциркуляции и трофики тканей [1]. С другой стороны, исследователями подтверждена роль механорецепторов как первичного звена, напрямую воспринимающего акустические колебания, в формировании ответной реакции со стороны вегетативной нервной системы [2]. Периферические механизмы, срабатывающие при акустической нагрузке, потенцируют возбуждение в коре и подкорковых структурах головного мозга, что подтверждают нейрофизиологические исследования, с последующим отклонением вегетативных функций от референсного диапазона [3]. Итогом является формирование порочного круга, связывающего центральный и периферический компоненты ответной реакции на шум в усугубляющийся, в зависимости от длительности экспозиции, патологический процесс.

При этом, рассматривая влияние акустической нагрузки на клеточном уровне, необходимо отметить основную мишень воздействия шума — клеточные мембраны: меняются структурно-функциональные свойства интегральных и периферических белков с деградацией конформационных способностей, что приводит к изменению проницаемости мембраны и электрофизиологическому дисбалансу клетки, мембранная энзимопатия содействует повышению интенсивности перекисного окисления липидов, входящих в структурный липопротеидный кластер биомембран [4–6].

Учитывая, что описанные изменения в организме при шумовом воздействии попадают под отдельные звенья стресс-реакции, требующей адекватного энергообеспечения для нивелирования мембранной дисфункции, восстановления микроциркуляции и т. д., рабочей гипотезой настоящего исследования явилось

изучение возможности коррекции негативного воздействия акустической нагрузки введением янтарной кислоты. *Цель работы* — определить стресс-протективную и актопротекторную активность янтарной кислоты при акустической нагрузке на лабораторных крыс.

Материалы и методы. Исследования проводились в период с 2022 по 2023 гг. на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории Амурской ГМА (г. Благовещенск). Объектом эксперимента стали 90 белых беспородных крыс-самцов массой 220–260 г в соответствии с нормативными требованиями проведения доклинических экспериментальных исследований и с разрешения Локального этического комитета (протокол № 1 от 01.12.2021 г.). Животные были разделены на три группы: 1-я группа — интактная (n=30), крысы находились в стандартных условиях вивария и каким-либо воздействиям не подвергались; 2-я группа — контрольная (n=30), животных подвергали акустической нагрузке (АН) в течение 21 дня ежедневно по 60 мин на фоне ежедневного внутрибрюшинного введения непосредственно перед АН изотонического раствора NaCl в дозе 1 мл/кг; 3-я группа — опытная (n=30), крысам перед АН ежедневно внутрибрюшинно вводили янтарную кислоту в дозе 1 мл/кг в течение 21 дня. АН создавали путем подачи через динамики предварительно записанного звука работающего двигателя мотоцикла с уровнем звукового давления 95–105 дБ, определяемого с помощью шумомера PCE-999 (PCE Group, Германия).

Стресс-протективную и актопротекторную активность янтарной кислоты определяли по изложенным в ранее опубликованной нами работе методикам: на 7-й, 14-й, 21-й дни от начала эксперимента фиксировали длительность плавания крыс в воде, в эти же контрольные временные точки из декапитированных тел крыс извлекали желудок (с последующим подсчетом количества эрозивных дефектов на слизистой), вилочковую железу, селезенку, надпочечники (с последующим расчетом коэффициента массы органов).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью Microsoft Excel 2016 и пакета прикладных программ Statistica v.10.0: результаты описаны с помощью расчета медианы (Me), нижнего и верхнего квартиля [Q₁; Q₃]; сравнение групп по количественному показателю осуществляли с помощью U-критерия Манна-Уитни; статистическую значимость изменений

показателей в динамике внутри группы оценивали с помощью критерия Вилкоксона; во всех процедурах оценки различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Акустическая нагрузка на организм приводит к снижению физической выносливости крыс, что подтвердилось статистически значимым уменьшением длительности плавания крыс в воде на

23,8 % (7-й день), 22,6 % (14-й день), 25,4 % (21-й день опыта) (рис. 1–3). Определение актопротекторной активности янтарной кислоты в условиях АН показало, что введение лекарственного средства лабораторным крысам сопровождается увеличением физической выносливости на 24,8 % к концу первой недели эксперимента, на 26,9 % — к концу второй, на 31,9 % — к концу третьей недели в сравнении с контрольной группой ($p < 0,05$).



Рис. 1. Влияние янтарной кислоты на физическую выносливость крыс в условиях акустической нагрузки на 7-й день опыта (в минутах)

Примечание. Здесь и на рис. 2–6:

* $p < 0,05$, по сравнению с интактными животными в аналогичный срок эксперимента;

** $p < 0,05$, по сравнению с контрольными животными в аналогичный срок эксперимента;

Интакт — интактная группа,

Контроль (АН) — контрольная группа (акустическая нагрузка),

Опыт (ЯК+АН) — опытная группа (янтарная кислота + акустическая нагрузка)

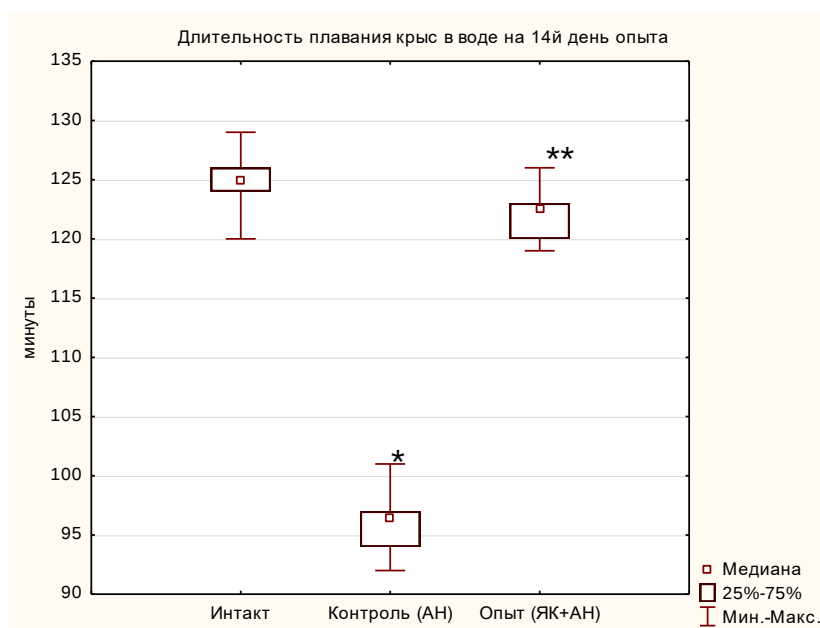


Рис. 2. Влияние янтарной кислоты на физическую выносливость крыс в условиях акустической нагрузки на 14-й день опыта (в минутах)

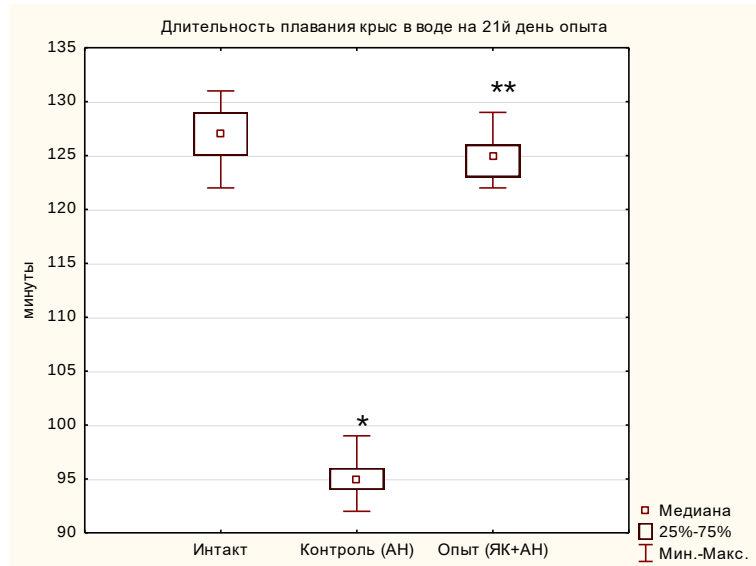


Рис. 3. Влияние янтарной кислоты на физическую выносливость крыс в условиях акустической нагрузки на 21-й день опыта (в минутах)

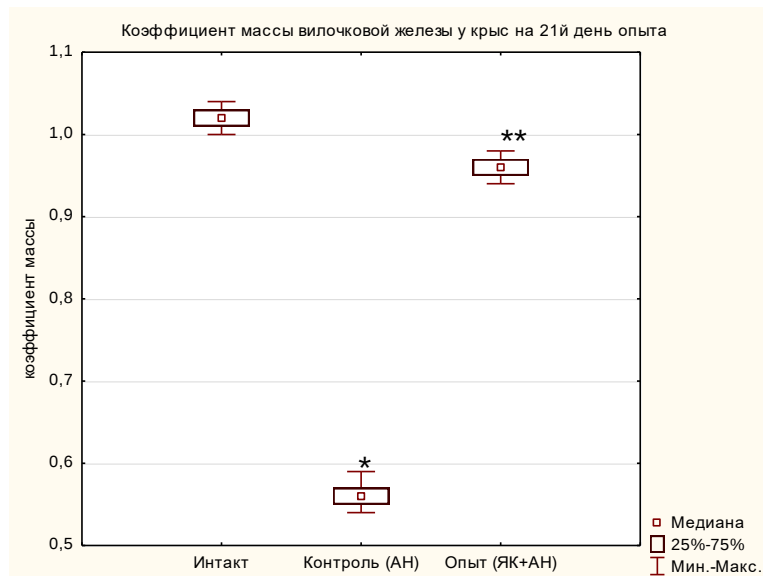


Рис. 4. Влияние янтарной кислоты на коэффициент массы вилочковой железы у крыс в условиях акустической нагрузки на 21-й день опыта

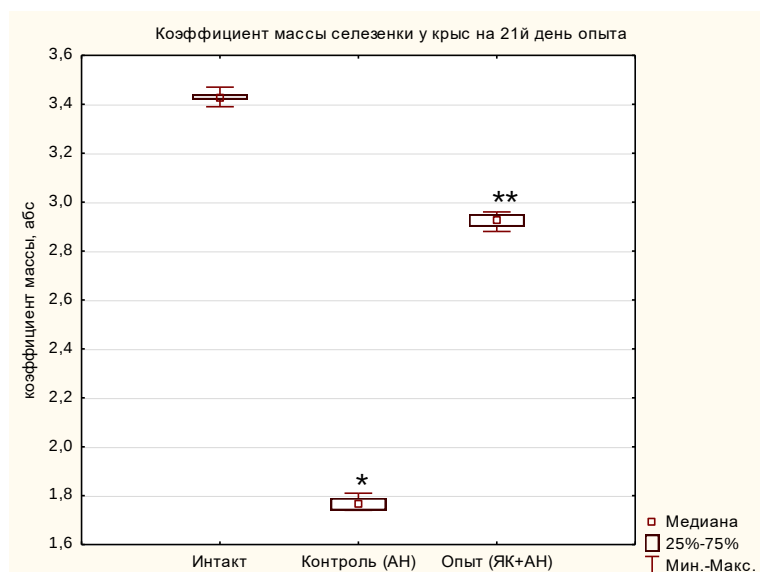


Рис. 5. Влияние янтарной кислоты на коэффициент массы селезенки у крыс в условиях акустической нагрузки на 21-й день опыта

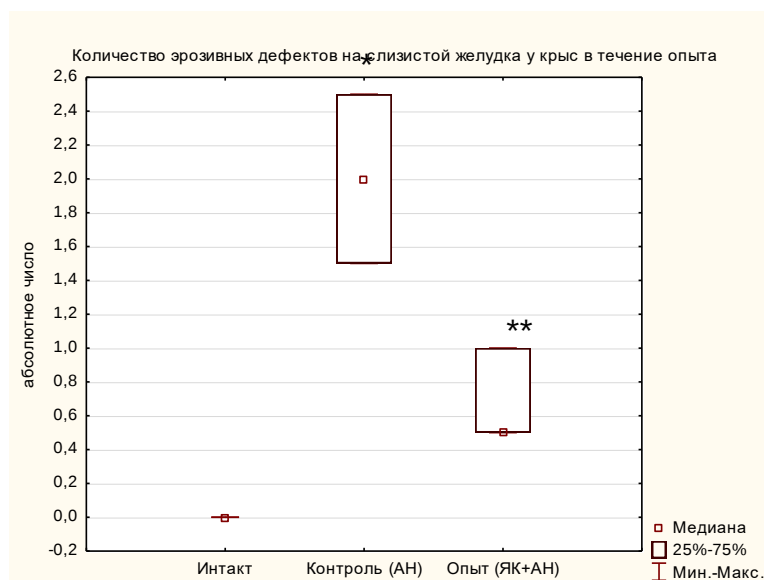


Рис. 6. Влияние янтарной кислоты на количество эрозивных дефектов на слизистой оболочке желудка у крыс в условиях акустической нагрузки на 21-й день опыта

Акустическая нагрузка на крыс вызывает формирование стресс-реакции в организме, подтвержденной статистически значимым уменьшением в контрольной группе по сравнению с интактной коэффициентов массы вилочковой железы и селезенки на фоне увеличения количества эрозивно-язвенных дефектов на поверхности слизистой оболочки желудка ($p < 0,05$, рис. 4–6). Оценка стресс-протективной активности янтарной кислоты показала, что в опытной группе по сравнению с контрольной коэффициент массы вилочковой железы к концу эксперимента был выше на 41,7 %, коэффициент массы селезенки — на 42,3 %, количество эрозивных дефектов слизистой желудка в опытной группе было меньше в 2,5–3,5 раза в течение всего опыта ($p < 0,05$).

Обсуждение и заключение. Проведенный эксперимент показал, что воздействие шума на крыс в течение 21-го дня способствует формированию стресс-реакции, негативные последствия которой возможно предупредить введением янтарной кислоты. Актопротекторный эффект янтарной кислоты реализуется поставкой в организм стимулирующего синтез АТФ фармакологического агента, который в условиях гипоксии и энергодефицита при физической нагрузке поставляет электроны на ферментный комплекс сукцинат-коэнзим Q-оксидоредуктаза на внутренней мембране митохондрий, восстанавливая адекватную работу дыхательной цепи, направленную на стабилизацию энергообмена в организме. Напомним, что дыхательная цепь митохондрий включает несколько ферментных комплексов, транспортирующих электроны от донора (α -кетоглутарат, пируват, жирные кислоты) к акцептору: первый комплекс — восстановленный НАД-коэнзим Q-оксидоредуктаза; второй комплекс — сукцинат-коэнзим Q-оксидоредуктаза; третий — коэнзим Q-цитохром

С-оксидоредуктаза; четвертый — цитохром С-оксидаза. Система окисления янтарной кислоты включает второй, третий и четвертый комплексы. Важно, что активация сукцинатом второго комплекса дыхательной цепи восстанавливает электрохимический градиент на мембране митохондрий, который в условиях гипоксии сдвигается за счет ингибирования первого комплекса и деполяризации внутренней мембраны, что приводит к нарушению трансмембранного транспорта и зачастую последующей гибели клетки [7–10].

На сегодняшний день доказано, что янтарная кислота обладает свойствами внутри- и внеклеточной сигнальной молекулы, функции которой превосходят диапазон чистой энергопродукции: сукцинат в организме принимает участие в целом ряде метаболических процессов, являясь косвенным регулятором транскрипции генов, фактором посттрансляционной модификации белков, первичным мессенджером и посредником межклеточных взаимодействий [11, 12]. Биоэффекты сукцината затрагивают процессы энергетического и пластического обмена, кислородный гомеостаз, регуляцию жизненного цикла клеток, что в процессе компенсаторно-приспособительных реакций к воздействию стресс-факторов приобретает особую значимость в проекции формирования немедленного и отсроченного клеточного ответа.

Таким образом, в условиях акустической нагрузки янтарная кислота продемонстрировала наличие комбинации стресс-протективного и актопротекторного эффектов, что раскрывает перспективы дальнейшего изучения сукцинатсодержащих препаратов в клинике и эксперименте с целью расширения доказательной базы эффективности фармакопрофилактики и фармакокоррекции негативного воздействия шума на тепловой организм.

Список литературы / References

1. Адипбаев Б.М., Алмабаева Н.М., Ахсанова О. Влияние звуковых волн на организм. *Вестник Казахского НМУ*. 2018;(1):262–263.
Adibayev BM, Almabaeva NM, Akhsanova O. Influence of Sound-Waves on an Organism. *KazNMU Bulletin*. 2018;(1):262–263. (In Russ.).
2. Melkonyan MM, Sahakyan GV, Pogosyan GA, Hunanyan LS. Physical Parameters White Rat Erythrocyte Membranes under Conditions of Acoustic Stress. *The New Armenian Medical Journal*. 2012;6(1):26–29. URL: <https://ysmu.am/v2/wp-content/uploads/2023/09/4-Melkonyan-NAMJ-v6n1-Inter-Eng.pdf> (accessed: 01.02.2025)
3. Торкунова О.В. Холинергическая регуляция нарушений функций центральной нервной системы вследствие воздействия низкочастотных акустических колебаний. Диссертация кандидата биологических наук. Санкт-Петербург; 2019. 158 с.
Torkunova OV. *Cholinergic Regulation of Central Nervous System Dysfunctions due to Exposure to Low-Frequency Acoustic Vibrations*. Cand. Sci. (Biology) Dissertation. Saint Petersburg; 2019. 158 p. (In Russ.).
4. Доровских В.А., Ли О.Н., Симонова Н.В. Ремаксол в коррекции процессов перекисного окисления липидов биомембран, индуцированных холодным воздействием. *Якутский медицинский журнал*. 2015;4(52):21–24.
Dorovskikh VA, Li ON, Simonova NV. Remaxol in the Correction of Lipid Peroxidation Processes in Biomembranes Induced by Cold Exposure. *Yakut Medical Journal*. 2015;4(52):21–24. (In Russ.).
5. Лашин А.П., Симонова Н.В., Симонова Н.П. Фитопрофилактика диспепсии у новорожденных телят. *Вестник КрасГАУ*. 2015;9(108):189–192.
Lashin AP, Simonova NV, Simonova NP. Phytoprophylaxis of Dyspepsia in Newborn Calves. *Bulletin of KSAU*. 2015;9(108):189–192. (In Russ.).
6. Торкунова О.В., Шабанов П.Д. Фармакологическая коррекция неблагоприятного действия низкочастотных акустических колебаний. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2014;12(3):20–25.
Torkunova OV, Shabanov PD. Pharmacological Correction of Extreme Effects of Infrasound Acoustic Vibrations. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2014;12(3):20–25. (In Russ.).
7. Semenza GL. Pharmacologic Targeting of Hypoxia-Inducible Factors. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 2019;59:379–403. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010818-021637>
8. Лашин А.П., Симонова Н.В. Фитопрепараты в коррекции окислительного стресса у телят. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;4(44):131–135.
Lashin AP, Simonova NV. Phytopreparation in Correction of Oxidative Stress in Calves. *Far Eastern Agricultural Journal*. 2017;4(44):131–135. (In Russ.).
9. Cerri M. The Central Control of Energy Expenditure: Exploiting Torpor for Medical Applications. *Annual Review of Physiology*. 2017;79:167–186. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-022516-034133>
10. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампеисов Т.М. Современные представления о клеточной гибели. Гены и клетки. 2018;13(1):6–19. <https://doi.org/10.23868/201805001>
Deev R.V., Bilyalov A.I., Zhampeisov T.M. Modern Ideas about Cell Death. *Genes and Cells*. 2018;13(1):6–19. <https://doi.org/10.23868/201805001> (In Russ.).
11. Приходько В.А., Селизарова Н.О., Оковитый С.В. Молекулярные механизмы развития гипоксии и адаптации к ней. Часть I. *Архив патологии*. 2021;83(2):52–61. <https://doi.org/10.17116/patol20218302152>
Prikhodko VA, Selizarova NO, Okovityi SV. Molecular Mechanisms for Hypoxia Development and Adaptation to It. Part I. *Russian Journal of Archive of Pathology*. 2021;83(2):52–61. <https://doi.org/10.17116/patol20218302152> (In Russ.).
12. Приходько В.А., Селизарова Н.О., Оковитый С.В. Молекулярные механизмы развития гипоксии и адаптации к ней. Часть II. *Архив патологии*. 2021;83(3):62–69. <https://doi.org/10.17116/patol20218303162>
Prikhodko VA, Selizarova NO, Okovityi SV. Molecular Mechanisms for Hypoxia Development and Adaptation to It. Part II. *Russian Journal of Archive of Pathology*. 2021;83(3):62–69. <https://doi.org/10.17116/patol20218303162> (In Russ.).

Об авторах:

Наталья Владимировна Симонова, доктор биологических наук, профессор кафедры медико-биологических дисциплин Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского (248023, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Степана Разина, д. 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), simonova.agma@yandex.ru

Степан Владимирович Панфилов, аспирант кафедры госпитальной терапии с курсом фармакологии Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [ORCID](#), panfilstep59@gmail.com

Ирина Юрьевна Саяпина, доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой гистологии и биологии Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [SPIN-код](#), sayapina_agma@mail.ru

Антон Павлович Лашин, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры радиобиологии и биофизики имени академика А.Д. Белова Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К. И. Скрябина (109472, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23), [SPIN-код](#), [ORCID](#), ant.lashin@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Н.В. Симонова: научное руководство, формирование основной концепции, цели исследования, анализ результатов исследований, формирование выводов, подготовка и доработка текста.

С.В. Панфилов: сбор и обработка материала, подготовка текста.

И.Ю. Саяпина: помощь в доработке текста.

А.П. Лашин: анализ результатов исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Natalia V. Simonova, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Medical and Biological Disciplines Department, Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski (26, Stepan Razin Str., Kaluga, 248023, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), simonova.agma@yandex.ru

Stepan V. Panfilov, Postgraduate Student of the Hospital Therapy Department with the Course in Pharmacology, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, 675006, Russian Federation), [ORCID](#), panfilstep59@gmail.com

Irina Yu. Sayapina, Dr.Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Histology and Biology Department, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, 675006, Russian Federation), [SPIN-code](#), sayapina_agma@mail.ru

Anton P. Lashin, Dr.Sci.(Biology), Associate Professor, Professor of the Radiobiology and Biophysics Department Named after Academician A.D. Belov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — Skryabin MBA (23, Academician Skryabin Str., Moscow, 109472, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), ant.lashin@yandex.ru

Claimed Contributorship:

NV Simonova: academic advising, formulating the main concept, aim and objectives of the research, analysis of the research results, formulating the conclusions, preparing and refining the text.

SV Panfilov: collecting and processing materials, preparing the text.

IYu Sayapina: assistance in text refining.

AP Lashin: analysis of the research results.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.12.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 16.01.2025

Принята к публикации / Accepted 21.01.2025