

РЕГУЛЯТОРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗМА

Александр Николаевич Поборский

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Аннотация. Цель – систематизировать литературные данные по эффективности использования препаратов регуляторов энергетического обмена в медицинской практике. Поиск научной литературы проводился в базах данных КиберЛенинка, eLIBRARY.RU, PubMed и др. Глубина поиска преимущественно составила 10 лет за исключением фундаментальных исследований. Препараты, оптимизирующие энергетические процессы, в частности содержащие янтарную кислоту, способствуют более эффективному функционированию организма в условиях повышенной нагрузки и стресса. Они помогают организму адаптироваться к неблагоприятным условиям, улучшая его способность к саморегуляции и поддержанию гомеостаза. Эти препараты также могут играть важную роль в профилактике и лечении различных заболеваний, связанных с различным дисбалансом в организме. Оптимизация факторов, влияющих на уровень устойчивости организма, может значительно улучшить качество жизни и общее самочувствие.

Ключевые слова: регуляторы энергетического обмена, янтарная кислота, профилактика и лечение

Шифр специальности: 3.3.3. Патологическая физиология.

Для цитирования: Поборский А. Н. Регуляторы энергетического обмена как средства повышения устойчивости организма // Вестник СурГУ. Медицина. 2025. Т. 18, № 2. С. 73–80. <https://doi.org/10.35266/2949-3447-2025-2-10>.

Review article

ENERGY METABOLISM REGULATORS AS MEANS OF INCREASING ORGANISM TOLERANCE

Aleksandr N. Poborsky

Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. The aim is to systematize the literature on the effectiveness of energy metabolism drug regulators in medical practice. A systematic review of the scientific literature is conducted using CyberLeninka and eLIBRARY.RU, PubMed, etc. databases. The search primarily covered a 10-year period, including foundational research. Drugs optimizing energy processes, in particular those containing succinic acid, contribute to more efficient functioning of the organism under conditions of increased workload and stress. These processes enhance the body's capacity to adapt to adverse conditions, improving its self-regulatory functions and maintenance of homeostasis. These drugs can also play an important role in the prevention and treatment of various diseases associated with several imbalances in the body. Improving factors affecting the body's tolerance significantly boost well-being and quality of life.

Keywords: energy metabolism regulators, succinic acid, prevention and treatment

Code: 3.3.3 Pathophysiology.

For citation: Poborsky A. N. Energy metabolism regulators as means of increasing organism tolerance. *Vestnik SurGU. Meditsina.* 2025;18(2):73–80. <https://doi.org/10.35266/2949-3447-2025-2-10>.

ВВЕДЕНИЕ

Современный ритм жизни, негативные факторы – социальные и природной среды – оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, что ухудшает его работоспособность и переносимость стрессовых ситуаций, способствует росту заболева-

емости. В силу этого важной проблемой становится увеличение устойчивости организма. Последняя зависит от многих факторов, включая как врожденную, так и приобретенную индивидуальную способность организма переносить стресс. В развитии устойчивости организма важная роль отводится расширению

гомеостатического диапазона регуляции физиологических функций и его резервных возможностей [1–7].

Важно отметить, что увеличение устойчивости организма к неблагоприятным условиям, профилактика заболеваний, ускорение выздоровления после перенесенных болезней требует комплексного подхода, включающего изменение образа жизни и питания, проведение рациональной специфической фармакотерапии, регулярные физические нагрузки, психологическую поддержку и др. Именно комбинированное воздействие на организм позволяет достичь оптимальных результатов в укреплении его защитных функций и повышении устойчивости к стрессу, ускорении выздоровления, снижении негативных проявлений имеющихся заболеваний. Наряду с указанными одним из важных аспектов оптимизации состояния организма является использование целого ряда фармакологических средств метаболического действия [1, 2, 7–11]. Анализ данных о некоторых представителях последних – регуляторах энергетического обмена, представлен в настоящем обзоре.

Цель – систематизировать литературные данные по эффективности использования препаратов регуляторов энергетического обмена в медицинской практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены публикации отечественных и зарубежных авторов, включая платформы КиберЛенинка, eLIBRARY.RU, PubMed и др. Глубина поиска преимущественно составила 10 лет. Помимо этого, включались фундаментальные работы более раннего периода. Поиск литературы проведен по следующим ключевым словам: янтарная кислота, сукцинат, регуляторы энергетического обмена, адаптация, стресс, профилактика, использование в клинической медицине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение литературы по проблеме повышения устойчивости организма к действию неблагоприятных условий позволяет выявить ключевые факторы, определяющие уровень ее проявления. Среди них следует выделить эффективность регуляции нейроэндокринной системы, скорость и выраженность процессов обмена веществ и пластических изменений, а также достаточное наличие субстратов и ко-факторов.

Сегодня доказано, что препараты метаболического действия, такие как актопротекторы, ноотропы, адаптогены, антиоксиданты, антигипоксанты, витамины, пептидные биорегуляторы, регуляторы энергетического обмена и др., в большей степени оказывают позитивное воздействие на устойчивость организма к внешним факторам, улучшают переносимость имеющихся заболеваний [5, 8–10, 12–15].

Фармакологические средства, рассматриваемые в данном контексте, различаются как по химическому строению, так и по механизму фармакологического воздействия. Они объединены тем, что их действие осуществляется главным образом на уровне клеток и тканей. Считается, что именно воздействие на клеточном уровне позволяет предотвращать и смягчать негативное воздействие различных неблагоприятных факторов на любой орган, что обеспечивает «универсальность» их действия. Благодаря мета-

бolicескому механизму действия, который не истощает запасы организма и не вызывает допингового эффекта, эти средства могут использоваться в течение продолжительного времени [7, 10, 12, 16–21, 23–25].

Хорошо известно, что основой всех сдвигов в организме, как позитивных, так и негативных, являются изменения в энергетическом обмене. Именно недостатком энергии определяется вся последовательность метаболических и структурных изменений, происходящих в организме. Использование препаратов метаболического действия и, в частности, регуляторов энергетического обмена – один из значимых подходов в фармакологической коррекции сдвигов в энергообмене клетки. Препараты, оптимизирующие энергетический обмен клетки, повышают резервные возможности организма и способствуют лучшей переносимости негативных воздействий на организм. Одним из перспективных и достаточно изученных подходов является использование янтарной кислоты (ЯК) и ее солей. Многочисленные исследования показали, что введение ЯК в организм может значительно повлиять на работоспособность и устойчивость к различным стрессовым ситуациям, повысить эффективность терапии различных болезней [2, 7, 12, 13, 16–25].

ЯК («сосновая кислота», или сукцинат (Succinic Acid)), играет ключевую роль в процессе энергообмена в организме. Она участвует в цикле трикарбоновых кислот, обеспечивая необходимый уровень энергии для клеток. Повышенная устойчивость организма к стрессу и неблагоприятным условиям обусловлена именно нормализацией работы системы энергообмена за счет ЯК.

Сукцинат в цикле трикарбоновых кислот, образующийся из сукцинил-S-Коэнзима А, затем дегидрируется при участии сукцинатдегидрогеназы (СДГ) с образованием фумарата. Этот процесс имеет важное значение для передачи электронов в митохондриях. Он не только обеспечивает энергию для клеток, но также способствует поддержанию общего баланса и стабильности в организме. При влиянии на любую из систем организма неблагоприятных факторов (стресс, гипоксия, увеличение симпатических воздействий и пр.) поддержание его работы в основном обеспечивается именно окислением ЯК, что рассматривается как физиологический приспособительный механизм [6–9, 11, 13, 18–20].

В связи с тем, что ЯК является самым мощным источником электронов, введение дополнительной ее дозы может значительно повлиять на работоспособность организма и его защиту от неблагоприятных воздействий.

В настоящее время препараты ЯК (как отдельные, так и в составе комбинированных средств (янтарь-антитокс, лимонтар, ремаксол, реамберин, цитофлавин)) и ее соли (например, сукцинат натрия, сукцинат аммония, сукцинат калия) применяются при различных состояниях. Механизмы их действия обуславливают широкий спектр терапевтических эффектов [1, 2, 11, 12, 24–33].

Введение ЯК способствует детоксикации организма за счет энергетической поддержки процессов дезинтоксикации и вывода токсинов. Также применение препарата предотвращало неблагоприятные

эффекты гормонов, производных барбитуровой кислоты, антибиотиков, нестероидных противовоспалительных средств, этилового алкоголя и др. веществ. Снижая токсичность и улучшая проникновение в ткани, ЯК усиливала положительное воздействие диуретиков, сердечных гликозидов, некоторых антибиотиков [2, 11, 12, 16, 20, 22, 24–26, 28, 34].

Фармакологические свойства сукцината являются основой его применения для устранения метаболического ацидоза после физической нагрузки, при лечении сердечной недостаточности, ишемической болезни сердца и нарушений мозгового кровообращения. Известное антигипоксическое действие ЯК и ее солей основано на низкой чувствительности системы окисления ЯК к недостатку кислорода [10, 12, 15, 23, 24, 29, 30, 35–40].

Сукцинат также обладает вазодилатирующим эффектом и способностью облегчать поставку кислорода к тканям. Описаны его защитные свойства, проявляющиеся в экстремальных условиях, что делает препарат потенциально ценным биологическим адаптогеном и антистрессором. ЯК и ее соли показали себя как эффективные средства поддержки функциональных возможностей детей в процессе их адаптации к обучению в школе в неблагоприятных условиях [7–10, 33, 41, 42].

Исследования показывают противовирусное действие препаратов ЯК при различных заболеваниях, таких как грипп, герпес, ветряная оспа, благодаря энергетической поддержке иммунной системы. Благоприятное влияние препарата на функциональное состояние организма через оптимизацию энергетического гомеостаза проявлялось в уменьшении заболеваемости детей, ее кратности и продолжительности, прежде всего за счет болезней органов дыхания (ОРЗ, грипп, бронхит) [13, 16, 17, 33, 42]. Также доказана эффективность ЯК при гипервитаминозе витамина D, связанном с защитой почки от нефрокальциноза. В данном случае ее антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие позволяет предотвращать внутриклеточное отложение кальция [11, 12, 24].

Помимо перечисленных эффектов известно о наличии у сукцината антиретарогенной активности, а также антиоксидантного, противовоспалительного, противоопухолевого и генопротективного действия. Проведенные исследования показали, что препарат обладает геропротективной активностью, которая основана на способности нормализовать внутриклеточное соотношение АТФ/АДФ. Разносторонние исследования фармакологической активности сукцината позволили установить прямую корреляцию между активностью СДГ, введением ЯК и кислотностью желудочного сока. ЯК воздействует на гипоталамо-гипофизарный аппарат и периферические звенья эндокринной системы, стимулируя симпатоадреналовую систему. Разные авторы отмечают терапевтический эффект ЯК при нарушениях нервной и психической деятельности. Широкое применение ЯК находит в комплексном лечении митохондриальных заболеваний [1, 11–13, 16, 17, 20, 21, 25, 26, 34, 43–46].

Другие исследования показывают, что ЯК может оказывать влияние на различные патологические процессы, связанные с нарушениями энергетического обмена. Например, некоторые данные указывают на возможность использования ЯК в лечении заболе-

ваний, таких как диабет и ожирение, которые часто связаны с нарушениями обмена веществ и энергии в организме [11, 12, 21, 25, 34, 43].

Как отмечается разными исследователями, с целью улучшения адаптивных возможностей и профилактики заболеваний актуален вопрос о предотвращении возможных «сбоев» в энергетическом метаболизме и предупреждении патологических процессов. Считается, что регуляции через энергетический обмен подлежат функциональные нарушения, более «мягкие» и с меньшим стажем развития [7, 18, 19, 21, 24, 25].

Описанные в обзоре факты, отражающие процессы нормализации различных функций, являются результатом воздействия на организм через механизмы энергетического обмена. Возможность активного участия в регуляции этих процессов поддерживает мысль о том, что «будь нарушения энергетического обмена причиной или следствием измененной функции, трудно представить, чтобы его нормализация, если она удается, не привела бы к улучшению функционального состояния» [12, 19, 21, 24, 25].

В связи с этим особое внимание в исследованиях использования ЯК в терапии уделяется выявлению состояний, наиболее чувствительных к ней. Следует учитывать индивидуальные особенности каждого индивида при применении ЯК в терапии. Различные пациенты могут иметь разные отклики на данное воздействие, и поэтому важно персонализировать подход к лечению. Данные указывают на то, что ЯК оказывает минимальное воздействие при «нормальном» состоянии, но максимальное нормализующее действие при умеренных и средних отклонениях от нормы с последующим ухудшением при более глубоких сдвигах. При благоприятных условиях объекта эффект ЯК не проявляется, т. к. отсутствует необходимость улучшения – нечего улучшать. Помимо этого, известно, что ЯК плохо проникает в интактные клетки.

Выраженный восстановительный эффект введения ЯК, наблюдаемый при умеренных отклонениях от нормы, связывают с феноменом «хуже – лучше». При исследовании воздействия негативных факторов на организм (гипоксия, стресс и пр.) было обнаружено, что энергетическая регуляция митохондрий ослабевает. Вместе с тем при увеличении концентрации ЯК органеллы, которые находились в плохом состоянии (были «хуже»), в этой энергизированной среде становились более функциональными (стали «лучше»), чем у организмов, не подвергавшихся стрессу. Ученые утверждают, что такой эффект связан с уменьшением уровня энергизации в организме в переходных состояниях или при наличии патологий, что приводит к умеренному ослаблению энергетической регуляции клеточного дыхания и ускорению работы дыхательной цепи. При недостаточной поддержке биохимических процессов из внутренней среды может возникать декомпенсация. Мощным фактором такой поддержки становится введение ЯК и ее значительное проникновение в возбужденные клетки, активация быстрого метаболического кластера ЦТК, что обеспечит увеличение содержания эндогенной ЯК в клетках, способствуя усилению компенсаторных процессов. В условиях ситуации недостаточной «биохимической поддержки» со стороны внутренней

среды, приводящей к декомпенсации, предполагают, что именно дефицит ЯК играет более значительную роль в возникновении нарушений, чем изменение состояния СДГ. При углублении отклонений происходит изменение и активности СДГ, что, в свою очередь, способствует увеличению образования эндогенной ЯК в организме. В ситуации, когда отклонения становятся еще более глубокими, выраженным, они уже сопровождаются торможением активности СДГ и «иссяканием» эндогенной ЯК [7, 12, 18, 19, 24, 25, 33].

Исследование успешного использования ЯК и ее солей в различных областях, таких как спорт и медицина, ставит вопрос: насколько одинаковы представления о воздействии сукцинатов на обмен веществ в организме и вне его? Могут ли экзогенные ЯК и ее соли использоваться в цикле Кребса как источники энергии? Интересные результаты получены учеными, которые изучали способность сукцинатов проникать в ткани и превращаться в CO_2 после введения меченого препарата в желудок. Данные исследования показали, что экзогенный сукцинат способен проникать через желудочно-кишечный тракт в кровь, где он подвергается окислительному распаду до CO_2 , который в дальнейшем выводится с выдыхаемым воздухом. Уже через 10 минут после введения ЯК в организм ее присутствие можно обнаружить во всех тканях. При физической нагрузке этот процесс ускоряется [7, 12, 18, 19].

Применение различных препаратов, особенно тех, что направлены на регуляцию обмена в организме, имеет переменный эффект, который определяется как дозировкой, так и частотой их введения. Для коррекции нарушений энергетического обмена как у людей, так и у животных широко используются ЯК и ее соли в диапазоне концентраций от 0,002 до 0,15 г на 1 кг массы тела. При этом целый ряд исследований показал, что эти препараты могут быть безопасны при долгосрочном использовании в широком диапазоне доз, т. к. они являются одними из наименее токсичных метаболитов энергетического обмена. Они не обладают допинговым эффектом, не стимулируют и не истощают системы организма. Оптимальная доза препарата ЯК для взрослого человека составляет 5–8 мг на килограмм веса, а для детей – 1,0–2,5 мг на килограмм веса в первой половине дня. Ряд специалистов рекомендуют начинать прием с 0,05 г соли ЯК каждое утро после завтрака. В случае чувства бодрости в течение дня и уменьшения ночного сна (с укорочением его продолжительности к утру, хотя и с ощущением свежести при пробуждении, что служит показателем передозировки) рекомендуется уменьшить дозировку до $1\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{4}$ исходной. Важно помнить о том, что уменьшение приема препарата всегда является приоритетом. Рекомендуется вводить интервалы пропуска приема ЯК, например, чередовать 2–3 дня приема с 1–2 днями отдыха или 4–5 дней приема с перерывами в 2–3 дня. Этот режим способствует поддержанию активированного состояния на протяжении длительного периода, в то время как непрерывное ежедневное использование больших доз препарата не рекомендуется более 7–9 дней [1, 3, 12, 16–18, 25, 29, 33, 37, 43, 46–48].

Сегодня наблюдается тенденция к существенному снижению дозировок ЯК по сравнению с ранее рекомендуемыми, где используемые дозы и концентра-

ции приближаются к субстратным значениям. При изучении растительных и животных клеток выяснилось, что концентрации ЯК в диапазоне 10^{-6} – 10^{-8} М оказывают наиболее эффективное воздействие. В то же время у пациентов с хронической ишемической болезнью сердца, страдающих тахи- и брадиаритмиями, успешно применяли ЯК в дозировке от 0,2 до 0,5 мг на килограмм веса [1–3]. Благоприятное воздействие ЯК также описано при пероральном приеме у людей с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями при дозировке от 0,5 до 1,0 мг на килограмм веса. Это позволило сделать предположение, что ЯК работает и через другой, более чувствительный механизм, а ее эффективность в дозировке от 0,5 до 1 мг на килограмм веса и концентрации 10 мкМ *in vitro* рассматривается как *сигнальное действие*. Исследования показали, что органические кислоты, включая сукцинат, или пептидные биорегуляторы, могут действовать через мембранные рецепторы или другие центры связывания как сигнал для органов и тканей, указывая на изменения в организме и необходимость включения процессов компенсации этих сдвигов. В частности, вне митохондрий, вне клетки ЯК отсутствует в норме. Появляется она вне клетки, в кровотоке лишь в условиях выраженной гипоксии. В этом случае рецепторные системы воспринимают появление ЯК как сигнал о наличии гипоксии или нехватке энергоресурсов в организме. В результате организм реагирует на это целым комплексом биохимических и физиологических компенсаторных сдвигов, имеющих в основе мобилизацию реакций энергетического обмена. Считается, что аналогично организму реагирует и на введение экзогенной ЯК и подобные позитивные сдвиги происходят не в ответ на реально наступившее состояние гипоксического энергодефицита, а на сигнал о том, что, возможно, он имеет место [12, 18–21, 25, 35, 49, 50].

Согласно экспериментальным данным и теоретическим предпосылкам, эффективность действия ЯК на организм может быть увеличена за счет одновременного введения веществ, участвующих в ее превращениях. Ряд исследований показал, что натуральные фруктовые соки содержат биологически активные вещества – регуляторы энергетического обмена. Эти регуляторы также обнаружены и в экстрактах растений, таких как пустырник, бадан, шлемник Байкальский, корень солодки. Поступая в организм, они усиливают действие эндогенной ЯК. Благодаря содержанию витаминов, микроэлементов, органических кислот и полисахаридов, продукты с биофлавоноидами улучшают усвоение питательных веществ и оказывают положительное воздействие на физиологические процессы. Биофлавоноиды, входящие в состав соков и экстрактов, обладают противовоспалительными, антиаллергическими и антиоксидантными свойствами. Также они стимулируют работу надпочечников и повышают эффективность витамина С. В ключе обсуждаемой темы показано, что биофлавоноиды обладают способностью улучшать клеточную энергопродукцию, что играет ключевую роль в разнообразных формах фармакологического воздействия. Пектиновые вещества, гемицеллюлоза, целлюлоза и другие полисахариды активизируют работу кишечника, улучшают всасывание питательных веществ и выводят токсины из организма. Антисепти-

ческое и детоксицирующее действие оказывают органические кислоты, такие как лимонная, яблочная, салициловая, уксусная и др., способствуя усвоению витаминов и микроэлементов через стимуляцию со-коотделения в желудочно-кишечном тракте и активацию перистальтики [3, 5, 12, 15, 17, 24, 29, 37, 51–54].

Исходя из представленных фактов, учитывая важную функцию флавоноидсодержащих веществ в достижении эффектов ЯК, их безопасность, активно обсуждается актуальность одновременного применения этих соединений с целью регуляции процессов энергопродукции. Это не только способствует проявлению действия ЯК и его усилению, но также благоприятно дополняет профилактическую эффективность данной комбинации, что находит применение для профилактики заболеваний у детей, взрослых, повышения работоспособности спортсменов, ускорения выздоровления после заболеваний [3, 10–12, 16, 23, 29, 33, 37, 47, 51–54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сведения, изложенные в обзоре, и накопившийся клинический опыт подтверждают высокую целесообразность использования препаратов регуляторов энергетического обмена, прежде всего в качестве средств рациональной диетотерапии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов В. Н. Средства профилактики преждевременного старения (геропротекторы) // Успехи геронтологии. 2000. № 4. С. 275–277.
 2. Косинец В. А. Нутритивная поддержка организма в условиях критических состояний // Новости хирургии. 2013. Т. 21, № 2. С. 100–104.
 3. American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine et al. Nutrition and athletic performance // Medicine & Sciences in Sports & Exercise. 2009. Vol. 41, no. 3. P. 709–731. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31890eb86>.
 4. Kamei Y., Hatazawa Y., Uchitomi R. et al. Regulation of Skeletal Muscle Function by Amino Acids // Nutrients. 2020. Vol. 12, no. 1. <https://doi.org/10.3390/nu12010261>.
 5. Шустов Е. Б., Новиков В. С., Оковитый С. В. и др. Патогенетические механизмы повышенной утомляемости и основные направления ее фармакологической коррекции // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2020. № 4. С. 26–40.
 6. Новиков В. С., Шустов Е. Б. Фундаментальные основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях: адаптация, дезадаптация, коррекция // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2021. Т. 25, № 3. С. 5–13.
 7. Молекулярные механизмы клеточного гомеостаза / под ред. И. И. Гительзон. Новосибирск : Наука, 1987. 232 с.
 8. Новиков В. С., Сороко С. И., Шустов Е. Б. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция : моногр. СПб. : Политехника-принт, 2018. 548 с.
 9. Новиков В. С., Голянич В. М., Шустов Е. Б. Физиология экстремальных состояний : моногр. СПб. : Наука, 1998. 247 с.
 10. Новиков В. С., Голянич В. М., Шустов Е. Б. Коррекция функциональных состояний при экстремальных воздействиях моногр. СПб. : Наука, 1998. 544 с.
 11. Смирнов А. В., Нестерова О. Б., Голубев Р. В. Янтарная кислота и ее применение в медицине. Часть II. Применение янтарной кислоты в медицине // Нефрология. 2014. Т. 18, № 4. С. 12–24.
- Препараты, оптимизирующие энергетические процессы, в частности содержащие ЯК, способствуют более эффективному функционированию организма в условиях повышенной нагрузки и стресса. Они помогают организму адаптироваться к неблагоприятным условиям, улучшая его способность к саморегуляции и поддержанию гомеостаза. Эти препараты также могут играть важную роль в профилактике и лечении различных заболеваний, связанных с дисбалансом в организме. Исследования в области увеличения устойчивости организма продолжаются, и ученые постоянно работают над разработкой новых эффективных препаратов и методов, способных улучшить адаптивные возможности организма. Персонализированный подход к поддержанию здоровья и устойчивости каждого человека становится все более важным в условиях современного ритма жизни и постоянных стрессов. Оптимизация факторов, влияющих на уровень устойчивости организма, может значительно улучшить качество жизни и общее самочувствие.
- Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
- Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

REFERENCES

1. Anisimov V. N. Means of the prevention of premature aging (geroprotectors). *Advances in Gerontology*. 2000;(4): 275–277. (In Russ.).
2. Kosinets V. A. Nutritional support of the body in critical conditions. *Novosti Khirurgii*. 2013;21(2):100–104. (In Russ.).
3. American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine et al. Nutrition and athletic performance. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*. 2009;41(3):709–731. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31890eb86>.
4. Kamei Y., Hatazawa Y., Uchitomi R. et al. Regulation of Skeletal muscle function by amino acids. *Nutrients*. 2020;12(1). <https://doi.org/10.3390/nu12010261>.
5. Shustov E. B., Novikov V. S., Okovity S. V. et al. Pathogenetic mechanisms of undue fatigue and main directions of its pharmacological correction. *Herald of Education and Science Development of Russian Academy of Natural Sciences*. 2020;(4):26–40. (In Russ.).
6. Novikov V. S., Shustov E. B. Fundamentals of human vital activity under extreme conditions: Adaptation, deadaptation, correction. *Herald of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2021;25(3):5–13. (In Russ.).
7. Molekulyarnye mekhanizmy kletochnogo gomeostaza. Gitelzon I. I., ed. Novosibirsk: Nauka; 1987. 232 p. (In Russ.).
8. Novikov V. S., Soroko S. I., Shustov E. B. Desadaptation states of man to exposure to extreme conditions and their correction. Monograph. St. Petersburg: Politehnika-print; 2018. 548 p. (In Russ.).
9. Novikov V. S., Golyanich V. V., Shustov E. B. Physiology of extreme conditions. Monograph. St. Peterburg: Nauka; 1998. 247 p. (In Russ.).
10. Novikov V. S., Golyanich V. M., Shustov E. B. Correction of functional state under extreme conditions. Monograph. St. Peterburg: Nauka; 1998. 544 p. (In Russ.).
11. Smirnov A. V., Nesterova O. B., Golubev R. V. Succinic acid and its application in medicine. Part 2. Application of succinic acid in medicine. *Nephrology*. 2014;18(4):12–24. (In Russ.).
12. Khazanov V. A., ed. Regulyatory energeticheskogo obmena. Kliniko-farmakologicheskiye aspekty. Tomsk: Tomsk State University; 2003. 110 p. (In Russ.).

12. Регуляторы энергетического обмена. Клинико-фармакологические аспекты: материалы 3 Российского симпозиума / под ред. В. А. Хазанова. Томск : Томский государственный университет, 2003. 110 с.
13. Ивницкий Ю. Ю., Головко А. И., Софонов Г. А. Янтарная кислота в системе средств метаболической коррекции функционального состояния резистентности организма : моногр. СПб. : Лань, 1998. 82 с.
14. Хавинсон В. Х., Кузник Б. И., Рыжак Г. А. Пептидные геропротекторы – эпигенетические регуляторы физиологических функций организма : моногр. СПб. : Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2014. 271 с.
15. Оковитый С. В., Суханов Д. С., Заплутанов В. А. и др. Антигипоксанты в современной клинической практике // Клиническая медицина. 2012. Т. 90, № 9. С. 63–68.
16. Зайцев А. А. Янтарная кислота в клинической медицине : моногр. М. : ООО «Айконмед», 2017. 20 с.
17. Коваленко А. Л., Петров А. Ю., Романцов М. Г. Биологическое действие и фармакологическая активность янтарной кислоты. СПб. : НТФФ Полисан, 2001. С. 4–11.
18. Кондрашова М. Н. Гормоноподобное действие янтарной кислоты // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2002. № 1. С. 7–12.
19. Молекулярные механизмы и регуляция энергетического обмена : Всесоюзный симпозиум: сб. тезисов / отв. ред. Ю. В. Евтодиенко, Ю. Г. Каминский. 11–13 июня 1986 г., г. Пущино. Пущино : Пущинский Научный центр РАН, 1986. С. 162.
20. Маевский Е. И., Розенфельд А. С., Гришина Е. В. и др. Коррекция метаболического ацидоза путем поддержания функций митохондрий : моногр. Пущино, 2001. 155 с.
21. Евлевский А. А., Рыжкова Г. Ф., Евлевская Е. П. и др. Биологическая роль и метаболическая активность янтарной кислоты // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 67–69.
22. Labiche L. A., Grotta J. C. Clinical trials for cytoprotection in stroke // NeuroRx. 2004. Vol. 1. P. 46–70. <https://doi.org/10.1602/neurorx.1.1.46>.
23. Бобков Ю. Г., Виноградов В. М., Катков В. Ф. и др. Фармакологическая коррекция утомления : моногр. М. : Медицина, 1984. 208 с.
24. Янтарная кислота в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве : сб. науч. ст. / отв. ред. М. Н. Кондрашовой, Ю. Г. Каминского, Е. И. Маевского. Пущино : Институт теоретической и экспериментальной биофизики, 1997. 301 с.
25. Терапевтическое применение янтарной кислоты : сб. ст. / отв. ред. М. Н. Кондрашова. Пущино : Научный центр биологических исследований АН СССР. 1976. 234 с.
26. Реамберин: реальность и перспективы: сб. науч. ст. СПб. : НТФФ «Полисан», 2002. 162 с.
27. Косинец В. А., Столбицкий В. В., Штурч И. П. Опыт применения цитофлавина в спортивном питании // Клиническая медицина. 2012. № 7. С. 56–58.
28. Афанасьев В. В. Клиническая фармакология реамберина. СПб. : 2005. 42 с.
29. Новиков В. С., Каркищенко В. Н., Шустов Е. Б. Функциональное питание спортсменов: принципы инновационного конструирования // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2016. № 4. С. 5–15.
30. Deuster P., Maier S., Moore V. et al. Dietary supplements and military divers. A synopsis for undersea medical officers // Uniformed Services University of the Health Sciences. 2004. 117 p.
31. Бузник Г. В., Шабанов П. Д. Сукцинатсодержащие антигипоксанты в лечении астенических расстройств // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. 2022. № S6. С. 27–32.
32. Оковитый С. В., Смирнов А. В. Антигипоксанты // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2001. Т. 64, № 3. С. 76–80.
33. Ivnitsky Yu. Yu., Golovko A. I., Sofronov G. A. Yantarnaya kislota v sisteme sredstv metabolicheskoy korreksii funktsionalnogo sostoyaniya i rezistentnosti organizma. St. Petersburg: Lan; 1998. 82 p. (In Russ.).
34. Khavinson V. Kh., Kuznik B. I., Ryzhak G. A. Peptidnyye geroprotektory – epigeneticheskiye regulatory fiziologicheskikh funktsiy organizma. Monograph. St. Petersburg: Herzen State Pedagogical University; 2014. 271 p. (In Russ.).
35. Okovity S. V., Sukhanov D. S., Zaplutanov V. A. et al. Antihypoxants in current clinical practice. *Clinical Medicine*. 2012;90(9):63–68. (In Russ.).
36. Zaitsev A. A. Succinic acid in clinical medicine. Monograph. Moscow: OOO "Aikonmed"; 2017. 20 p. (In Russ.).
37. Kovalenko A. L., Petrov A. Yu., Romantsov M. G. Biological action and pharmacological activity of succinic acid. St. Petersburg: NTFF Polisan; 2001. p. 4–11. (In Russ.).
38. Kondrashova M. N. Gormonopodobnoe deystvie yantarnoy kisloty. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2002;(1):7–12. (In Russ.).
39. Evtodienko Yu. V., Kaminsky Yu. G., eds. Molekulyarnye mekanizmy i regulatsiya energeticheskogo obmena. Pushchino: Pushchinsky Nauchny Tsentr RAN; 1986. p. 162. (In Russ.).
40. Maevsky E. I., Rosenfeld A. S., Grishina E. V. et al. Korreksiya metabolicheskogo atsidoza putem podderzhaniya funktsiy mitokhondriy. Monograph Pushchino; 2001. 155 p. (In Russ.).
41. Evglevsky A. A., Ryzhkova G. F., Evglevskaya E. P. et al. Biologicheskaya rol i metabolicheskaya aktivnost yantarnoy kisloty. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2013;(9):67–69. (In Russ.).
42. Labiche L. A., Grotta J. C. Clinical trials for cytoprotection in stroke. *NeuroRx*. 2004;1:46–70. <https://doi.org/10.1602/neurorx.1.1.46>.
43. Bobkov Yu. G., Vinogradov V. M., Katkov V. F. et al. Farmakologicheskaya korreksiya utomleniya. Moscow: Meditsina; 1984. 208 p. (In Russ.).
44. Kondrashova M. N., Kaminsky Yu. G., Maevsky E. I., eds. Yantarnaya kislota v meditsine, pishchevoy promyshlennosti, selskom khozyaystve. Pushchino: Institut neoreticheskoy i eksperimentalnoy biofiziki; 1997. 301 p. (In Russ.).
45. Kondrashova M. N., ed. Terapevticheskoye primeneniye yantarnoy kisloty. Pushchino: Nauchny Tsentr biologicheskikh issledovanii AN SSSR; 1976. 234 p. (In Russ.).
46. Reamberin: Reality and prospects: Collection of scientific articles. St. Petersburg: NTFF "Polisan"; 2002. 162 p. (In Russ.).
47. Kosinets V. A., Stolbitsky V. V., Shturych I. P. Experience of using cytoflavin in sports nutrition. *Clinical Medicine*. 2012;(7):56–58. (In Russ.).
48. Afanasyev V. V. Klinicheskaya farmakologiya reamberina. St. Petersburg; 2005. 42 p. (In Russ.).
49. Novikov V. S., Karkishchenko V. N., Shustov E. B. Functional nutrition of athletes: Principles of innovative design. *Bulletin of Education and Development of Science of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2016;(4):5–15. (In Russ.).
50. Deuster P., Maier S., Moore V. et al. Dietary supplements and military divers. A synopsis for undersea medical officers. *Uniformed Services University of the Health Sciences*. 2004. 117 p.
51. Buznik G. V., Shabanov P. D. Succinate-containing antihypoxants in the treatment of asthenic disorders. *Bulletin of the NAS KR*. 2022;(S6):27–32. (In Russ.).
52. Okovity S. V., Smirnov A. V. Antihypoxants. *Experimental and Clinical Pharmacology*. 2001;64(3):76–80. (In Russ.).
53. Poborsky A. N. The role of drugs – regulators of energy metabolism in optimizing adaptive reactions in first-graders in the Middle Ob region. Extended abstract of Doctoral (Medicine) Thesis. Tomsk; 2004. 50 p. (In Russ.).
54. Sukhanov D. S., Petrov A. Yu., Romantsov M. G. Pharmacological activity of succinate-containing drugs in chronic liver damage.

33. Поборский А. Н. Роль препаратов – регуляторов энергетического обмена в оптимизации адаптивных реакций у учащихся первых классов в условиях Среднего Приобья : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Томск, 2004. 50 с.
34. Суханов Д. С., Петров А. Ю., Романцов М. Г. и др. Фармакологическая активность сукцинатсодержащих препаратов при хроническом поражении печени различными инициирующими агентами // Фундаментальные исследования. 2011. № 5. С. 159–168.
35. Тамбовцева Р. В., Войтенко Ю. Л., Лаптев А. И. и др. Влияние минимальных доз экзогенного сукцината аммония на показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем в восстановительном периоде после нагрузки аэробного характера // Теория и практика физической культуры. 2017. № 5. С. 62–64.
36. Невзорова В. А., Черток В. М., Бродская Т. А. и др. Дисфункция митохондрий и сосудистое старение при коморбидной патологии // Тихоокеанский медицинский журнал. 2022. № 1. С. 10–16.
37. Каркищенко Н. Н., Уйба В. В., Каркищенко В. Н. и др. Очерки спортивной фармакологии. Т. 2. Векторы фармакопroteкций : моногр. / под ред. Н. Н. Каркищенко, В. В. Уйба. М., СПб. : ООО «Айсинг», 2014. 448 с.
38. Sakamoto M., Takeshige K., Yasui H. et al. Cardioprotective effect of succinate against ischemia/reperfusion injury // Surgery Today. 1998. Vol. 28, no. 5. P. 522–528.
39. Стаценко М. Е., Туркина С. В., Лемпарт Б. А. и др. Использование метаболических средств в комплексной терапии ишемической болезни сердца // Лечащий врач. 2012. № 3. С. 77.
40. Олесова В. М., Маркатюк О. Ю., Юррова Ю. Ю. и др. Метаболизм миокарда и препараты метаболического действия // Кардиология. 2013. Т. 53, № 1. С. 66–71.
41. Serin Y., Acar Tek N. Effect of circadian rhythm on metabolic processes and the regulation of energy balance // Annals of Nutrition and Metabolism. 2019. Vol. 74, no. 4. P. 322–330. <https://doi.org/10.1159/000500071>.
42. Поборский А. Н., Пшенцова И. Л. Функциональное состояние кровообращения и некоторые показатели крови у детей в процессе адаптации к школе в условиях Севера // Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского. 2000. Т. 79, № 4. С. 15.
43. Ariza A. C., Deen P. M. T., Robben H. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions // Frontiers in Endocrinology. 2012. Vol. 3. P. 2227. <https://doi.org/10.3389/fendo.2012.00022>.
44. Гаруст Ю. В. Янтарная кислота и возможности ее применения при хронических дерматозах // Торсуевские чтения: научно-практический журнал по дерматологии, венерологии и косметологии. 2020. № 2. С. 36–39.
45. Liu H., Zhang H., Zhang X. et al. Role of succinic acid in the regulation of sepsis // International Immunopharmacology. 2022. Vol. 110. P. 109–165. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.109065>.
46. Волчегорский И. А., Правдин Е. В., Узлова Т. В. Влияние производных 3-оксиридида и янтарной кислоты на лейкоцитарную инфильтрацию эндометрия и липидную пероксидацию при обострении хронических воспалительных заболеваний матки и придатков // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2013. Т. 76, № 3. С. 13–18.
47. Alghannam A. F., Ghaith M. M., Alhussain M. H. Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18, no. 9. P. 4963. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094963>.
48. Воронина Т. А., Иванова Е. А. Комбинированное применение мексидола с известными лекарственными средствами // Журнал неврологии и психиатрии. 2019. Т. 119, № 4. С. 115–124.
49. Оковитый С. В., Радько С. В., Шустов Е. Б. Сукцинатные рецепторы (SUCNR1) как перспективная мишень фармакотерапии // Химико-фармацевтический журнал. 2015. Т. 49, № 9. С. 3–7.
- ge caused by various initiating agents. *Fundamental research*. 2011;(5):159–168. (In Russ.).
55. Tambovtseva R. V., Voitenko Yu. L., Laptev A. I. et al. Effect of minimal doses of exogenous ammonium succinate on cardiovascular and respiratory system parameters in the recovery period after aerobic exercise. *Theory and Practice of Physical Education*. 2017;(5):62–64. (In Russ.).
36. Nevzorova V. A., Chertok V. M., Brodskaya T. A. et al. Mitochondrial dysfunction and vascular aging in comorbid pathology. *Pacific Medical Journal*. 2022;(1):10–16. (In Russ.).
37. Karkishchenko N. N., Uyba V. V., Karkishchenko V. N. Ocherki sportivnoy farmakologii. Vektry farmakoprotektsii. Moscow, St. Petersburg: OOO "Aising"; 2014. 448 p. (In Russ.).
38. Sakamoto M., Takeshige K., Yasui H. et al. Cardioprotective effect of succinate against ischemia/reperfusion injury. *Surgery Today*. 1998;28(5):522–528.
39. Statsenko M. E., Turkina S. V., Lempert B. A. et al. Use of metabolic agents in complex therapy of ischemic heart disease. *Attending physician*. 2012;(3):77. (In Russ.).
40. Olesova V. M., Markatyuk O. Yu., Yurova Yu. Yu. et al. Myocardial metabolism and metabolic drugs. *Cardiology*. 2013;53(1):66–71. (In Russ.).
41. Serin Y., Acar Tek N. Effect of circadian rhythm on metabolic processes and the regulation of energy balance. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2019;74(4):322–330. <https://doi.org/10.1159/000500071>.
42. Poborsky A. N., Pshentsova I. L. Functional state of blood circulation and some blood indices in children during adaptation to school in the North. *Pediatrics. G. N. Speransky Journal*. 2000;79(4):15. (In Russ.).
43. Ariza A. C., Deen P. M. T., Robben H. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions. *Frontiers in Endocrinology*. 2012;3:2227. <https://doi.org/10.3389/fendo.2012.00022>.
44. Garust Yu. V. Succinic acid and the possibilities of its use in chronic dermatoses. *Scientific and Practical Journal on Dermatology, Venereology, Cosmetology "Torsuevskie Readings"*. 2020;(2):36–39. (In Russ.).
45. Liu H., Zhang H., Zhang X. et al. Role of succinic acid in the regulation of sepsis. *International Immunopharmacology*. 2022;110:109–165. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.109065>.
46. Volchegorskaya I. A., Pravdin E. V., Uzlova T. V. The effect of 3-oxy-pyridine and succinic acid derivatives on leukocyte infiltration of the endometrium and lipid peroxidation during exacerbation of chronic inflammatory diseases of the uterus and appendages. *Experimental and clinical pharmacology*. 2013;76(3):13–18. (In Russ.).
47. Alghannam A. F., Ghaith M. M., Alhussain M. H. Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(9):4963. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094963>.
48. Voronina T. A., Ivanova E. A. Combined administration of mexidol with known medicines. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2019;119(4):115–124. (In Russ.).
49. Okovity S. V., Radko S. V., Shustov E. B. Succinate receptors (SUCNR1) as a promising target for pharmacotherapy. *Chemical-Pharmaceutical Journal*. 2015;49(9):3–7. (In Russ.).
50. Lennicke C., Cochemé H. M. Redox metabolism: ROS as specific molecular regulators of cell signaling and function. *Molecular Cell*. 2021;81(18):3691–3707. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2021.08.018>.
51. Maggini S., Óvári V., Ferreres Giménez I. et al. Benefits of micronutrient supplementation on nutritional status, energy metabolism, and subjective wellbeing. *Nutrición Hospitalaria*. 2021;38(2):3–8. <https://doi.org/10.20960/nh.03788>.

50. Lennicke C., Cochemé H. M. Redox metabolism: ROS as specific molecular regulators of cell signaling and function // *Molecular Cell*. 2021. Vol. 81, no. 18. P. 3691–3707. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2021.05.014>.
51. Maggini S., Óvári V., Ferreres Giménez I. et al. Benefits of micronutrient supplementation on nutritional status, energy metabolism, and subjective wellbeing // *Nutrición Hospitalaria*. 2021. Vol. 38, no. 2. P. 3–8. <https://doi.org/10.20960/nh.03788>.
52. Chu A. J. Quarter-century explorations of bioactive polyphenols: Diverse health benefits // *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 2022. Vol. 27, no. 4. P. 134. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2704134>.
53. Song J., Li S., Zhang B. et al. Quercetin protects human coronary artery endothelial cells against hypoxia/reoxygenation-induced mitochondrial apoptosis via the Nrf2/HO-1 axis // *Biomedical Research*. 2024. Vol. 45, no. 5. P. 197–207. <https://doi.org/10.2220/biomedres.45.197>.
54. Pyrzynska K. Hesperidin: A review on extraction methods, stability and biological activities // *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 12. P. 2387. <https://doi.org/10.3390/nu14122387>.

Информация об авторе

А. Н. Поборский – доктор медицинских наук, профессор;
<https://orcid.org/0000-0001-7604-3371>,
poborsky@mail.ru

About the author

A. N. Poborsky – Doctor of Sciences (Medicine), Professor;
<https://orcid.org/0000-0001-7604-3371>,
poborsky@mail.ru