URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

УДК *615.21/.26*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОМБИНАЦИИ НА ОСНОВЕ L-КАРНИТИНА В ПЛАВАТЕЛЬНОМ ТЕСТЕ С НАГРУЗКОЙ И БИОХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ КРОВИ



Тагангылыджова Махри[1],



Касымов Аброр Шакирович[2]
[1] Ассистент кафедры Фармакологии и клинической фармации,Ташкентский фармацевтический институт, Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: mehri2112@inbox.ru ORCID ID: 0009-0003-9144-1820
[2] К.м.н., доцент кафедры Фармакологии и клинической фармации, Ташкентский фармацевтический институт, Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: mehri2112@inbox.ru ORCID ID: 0009-0004-1999-361X

Аннотация. Изучено влияние комбинации L-карнитина, тиотриазолина и янтарной кислоты на физическую выносливость и биохимические показатели крови крыс в динамике 21-суточного введения. Беспородные крысы-самцы ежедневно получали внутрижелудочно дистиллированную воду, комбинацию (200 мг/кг), янтарную кислоту (500 мг/кг), L-карнитин (500 мг/кг) или тиотриазолин (100 мг/кг). На 7-е, 14-е и 21-е сутки определяли время плавания с грузом 10 % массы тела до отказа, а после нагрузки — активность АЛТ, АСТ, ЛДГ, КФК, содержание холестерина, общего белка, кортизола и тестостерона в сыворотке крови. Комбинация увеличивала время плавания на 90, 156 и 227 % по сравнению с контролем и на всех сроках превосходила каждый компонент, к 21-м суткам — на 35–40 %. На 7-е и 14-е сутки во всех опытных группах после нагрузки преходяще повышались АСТ, ЛДГ, АЛТ и кортизол, причём у комбинации эти сдвиги были наименее выражены. К 21-м суткам комбинация снижала активность ЛДГ на 69 %, АСТ на 41 % и КФК на 23 %, повышала содержание общего белка на 14,6 % и тестостерона на 6,7 % без изменения кортизола и АЛТ. Полученные данные свидетельствуют о выраженном актопротекторном действии комбинации, сопровождающемся экономизацией обменных процессов при нагрузке.

Ключевые слова: L-карнитин, тиотриазолин, янтарная кислота, актопротектор, плавательный тест, выносливость, креатинфосфокиназа, лактатдегидрогеназа, тестостерон.

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Annotatsiya. L-karnitin, tiotriazolin va qahrabo kislotasi kombinatsiyasining 21 kunlik yuborish davomida kalamushlarning jismoniy chidamliligi va qonning biokimyoviy ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganildi. Zotsiz erkak kalamushlar har kuni oshqozon ichiga distillangan suv, kombinatsiya (200 mg/kg), qahrabo kislotasi (500 mg/kg), L-karnitin (500 mg/kg) yoki tiotriazolin (100 mg/kg) qabul qildi. 7-, 14- va 21-kunlarda tana vaznining 10 % i miqdoridagi yuk bilan holdan toyguncha suzish vaqti, yuklamadan keyin esa qon zardobida ALT, AST, LDG, KFK faolligi, xolesterin, umumiy oqsil, kortizol va testosteron miqdori aniqlandi. Kombinatsiya suzish vaqtini nazoratga nisbatan 90, 156 va 227 % ga oshirdi va barcha muddatlarda har bir komponentdan ustun keldi, 21-kunga kelib — 35–40 % ga. 7- va 14-kunlarda barcha tajriba guruhlarida yuklamadan keyin AST, LDG, ALT va kortizol vaqtincha oshdi, kombinatsiyada esa bu siljishlar eng kam ifodalangan edi. 21-kunga kelib kombinatsiya LDG faolligini 69 %, AST ni 41 % va KFK ni 23 % ga kamaytirdi, umumiy oqsil miqdorini 14,6 % va testosteronni 6,7 % ga oshirdi, kortizol va ALT o‘zgarmadi. Olingan natijalar kombinatsiyaning yuklama vaqtida modda almashinuvini tejamkorlashtirish bilan kechadigan yaqqol aktoprotektor ta’siridan dalolat beradi.

Kalit so‘zlar: L-karnitin, tiotriazolin, qahrabo kislotasi, aktoprotektor, suzish testi, chidamlilik, kreatinfosfokinaza, laktatdegidrogenaza, testosteron.

Abstract. The effect of a combination of L-carnitine, thiotriazoline and succinic acid on physical endurance and blood biochemistry in rats was studied over 21 days of administration. Outbred male rats received distilled water, the combination (200 mg/kg), succinic acid (500 mg/kg), L-carnitine (500 mg/kg) or thiotriazoline (100 mg/kg) intragastrically once daily. On days 7, 14 and 21, swimming time to exhaustion with a load of 10 % of body weight was recorded, and after exercise serum ALT, AST, LDH and CK activities and cholesterol, total protein, cortisol and testosterone were measured. The combination increased swimming time by 90, 156 and 227 % versus control and exceeded each component at all time points, by 35–40 % on day 21. On days 7 and 14 all treated groups showed a transient post-exercise rise in AST, LDH, ALT and cortisol, which was least pronounced with the combination. By day 21 the combination reduced LDH activity by 69 %, AST by 41 % and CK by 23 % and increased total protein by 14.6 % and testosterone by 6.7 % without changing cortisol or ALT. The data indicate a pronounced actoprotective effect of the combination accompanied by a more economical metabolic response to exercise.

Keywords: L-carnitine, thiotriazoline, succinic acid, actoprotector, swimming test, endurance, creatine kinase, lactate dehydrogenase, testosterone.

ВВЕДЕНИЕ

Высокая физическая работоспособность и быстрое восстановление после нагрузок необходимы не только спортсменам, но и представителям многих профессий — военнослужащим, спасателям, работникам тяжёлого физического труда. Утомление при интенсивной работе развивается вследствие нескольких взаимосвязанных процессов: истощения энергетических запасов мышцы, накопления метаболитов, окислительного повреждения клеточных мембран и сдвигов гормонального баланса [1, 2, 3, 4]. Поэтому для оценки средств, повышающих работоспособность, важно учитывать не только продолжительность работы, но и её метаболическую «цену», то есть степень напряжения обменных процессов, которой эта работа достигается.

Средства, повышающие работоспособность за счёт более экономного использования энергетических ресурсов, а не их мобилизации, принято называть актопротекторами [5, 6]. После того как метаболические модуляторы мельдоний и триметазидин были включены Всемирным антидопинговым агентством в Запрещённый список [7, 8, 9], возрос интерес к разрешённым веществам метаболического действия. Однако при раздельном применении их

эффект, как правило, умеренный [10], что объясняется многокомпонентностью механизмов утомления [11].

Перспективным подходом представляется сочетание веществ с разными точками приложения. L-карнитин обеспечивает перенос длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии и связывает избыток ацетил-КоА, поддерживая активность пируватдегидрогеназы и уменьшая образование лактата [12, 13]. Янтарная кислота окисляется сукцинатдегидрогеназой (комплекс II дыхательной цепи) и поддерживает синтез АТФ в условиях недостатка кислорода [14]; при длительном введении сукцинат способствует перестройке мышечных волокон в сторону окислительного типа [15]. Тиотриазолин активирует собственные антиоксидантные ферменты клетки, стабилизирует мембраны и обладает гепатопротекторным действием [16, 17].

Плавательные нагрузки с отягощением широко применяются для оценки выносливости грызунов, поскольку моделируют интенсивную работу в условиях относительной гипоксии [18, 19]. Для отдельных компонентов изучаемой комбинации показано увеличение времени плавания животных до отказа [20, 21, 22, 23], однако совместное действие L-карнитина, тиотриазолина и янтарной кислоты на выносливость и биохимический профиль крови при повторных нагрузках ранее не изучалось.

Цель исследования — оценить влияние комбинации L-карнитина, тиотриазолина и янтарной кислоты на выносливость крыс в плавательном тесте с нагрузкой и на биохимические показатели крови после нагрузки в сравнении с каждым из компонентов в динамике 21-суточного введения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на беспородных крысах-самцах массой 200 ± 20 г, прошедших 14-суточный карантин. Животных содержали в стандартных условиях вивария на общем рационе со свободным доступом к воде и корму [24]. Работа выполнена в соответствии с принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных [25].

Крыс случайным образом распределили на 5 групп по 6 животных: 1-я — контроль (дистиллированная вода); 2-я — комбинация L-карнитина, тиотриазолина и янтарной кислоты в дозе 200 мг/кг; 3-я — янтарная кислота, 500 мг/кг; 4-я — L-карнитин, 500 мг/кг; 5-я — тиотриазолин, 100 мг/кг. Вещества растворяли в дистиллированной воде и вводили внутрижелудочно с помощью металлического зонда один раз в сутки в течение 21 дня. Таким образом, суммарная доза комбинации была в 2,5 раза меньше доз L-карнитина и янтарной кислоты в монотерапии. Исходный уровень выносливости определяли накануне начала введения, контрольные тестирования и взятие крови проводили на 7-е, 14-е и 21-е сутки.

Плавательный тест с нагрузкой. Выносливость оценивали по времени плавания с грузом до отказа [26, 18], что является модификацией плавательной методики Порсолта [27]. Использовали ёмкость из органического стекла размером 40 × 40 × 80 см, наполненную водой так, чтобы расстояние от поверхности воды до края ёмкости составляло не менее 20 см. К хвосту крысы прикрепляли груз массой 10 % от массы тела, помещали животное в воду и регистрировали время плавания до отказа.

Биохимические исследования. Сразу после появления признаков утомления у животных брали кровь. В сыворотке определяли активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и креатинфосфокиназы (КФК), содержание общего холестерина и общего белка на биохимическом анализаторе Humalyzer Primus (Human GmbH, Германия). Содержание кортизола и тестостерона определяли иммуноферментным методом на анализаторе Mindray MR-96A (Китай).

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Статистическая обработка. Результаты представлены в виде M ± m. Данные обрабатывали в программе STATISTICA; различия считали достоверными при $p < 0,05$. Изменения показателей выражали в процентах относительно контроля, а преимущество комбинации над компонентом — в процентах относительно соответствующей группы монотерапии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выносливость в плавательном тесте с нагрузкой. Исходное время плавания с грузом в группах не различалось (табл. 1). Уже через 7 суток введения комбинация достоверно повышала выносливость крыс: время плавания увеличилось на 90 % по сравнению с контролем. Компоненты в монотерапии также удлиняли время плавания, однако в меньшей степени: в группе комбинации оно было больше, чем в группах янтарной кислоты, L-карнитина и тиотриазолина, на 17,4; 26,8 и 20,0 % соответственно.

Таблица 1.

Время плавания крыс с грузом до отказа, мин (M ± m, n = 5)

Группа	**7-е сутки**	**14-е сутки**	**21-е сутки**
Контроль	20,0±1,9	19,0±1,6	17,6±1,7
Комбинация, 200 мг/кг	38,0±1,6*	48,8±3,2*	57,6±2,6*
Янтарная кислота, 500 мг/кг	31,4±1,2*	38,8±2,8*	37,4±3,3*
L-карнитин, 500 мг/кг	27,8±1,7*	37,4±2,8*	34,4±2,7*
Тиотриазолин, 100 мг/кг	30,4±0,9*	38,0±2,0*	34,4±2,7*

Примечание: * — $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

При продолжении введения эффект комбинации нарастал. На 14-е сутки время плавания превышало контроль на 156 %, а показатели групп монотерапии — на 20,5–23,4 %. Максимальный результат был получен на 21-е сутки: время плавания превышало контроль на 227 %, то есть более чем в три раза. Разница с компонентами к этому сроку также стала наибольшей — 35,0 % по сравнению с янтарной кислотой, 40,2 % — с L-карнитином и 36,8 % — с тиотриазолином (рис. 1, 2).

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

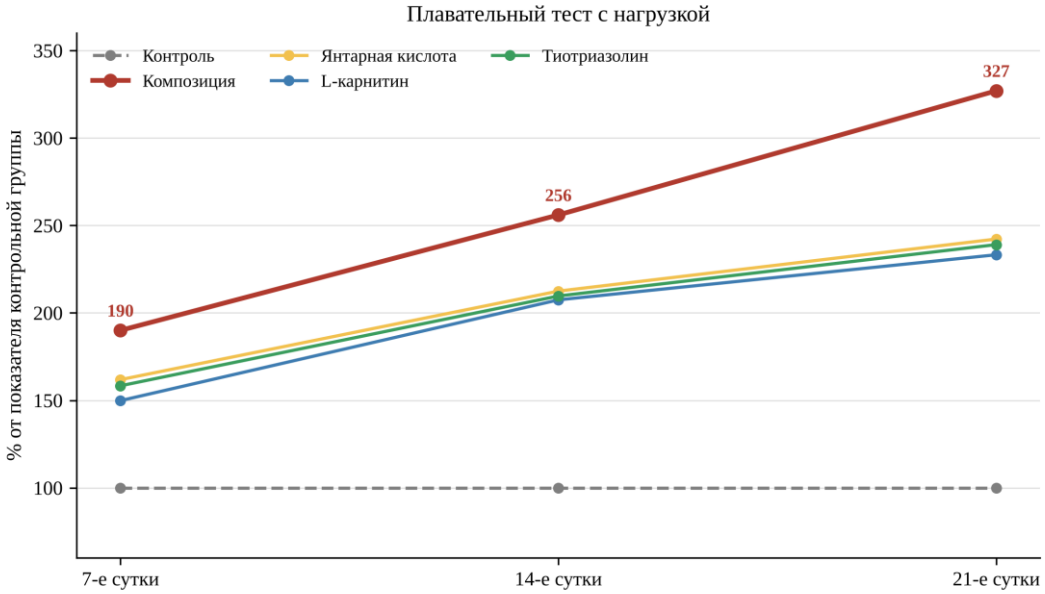

Рис. 1. Динамика времени плавания крыс с грузом в группах комбинации и её компонентов, % от контроля

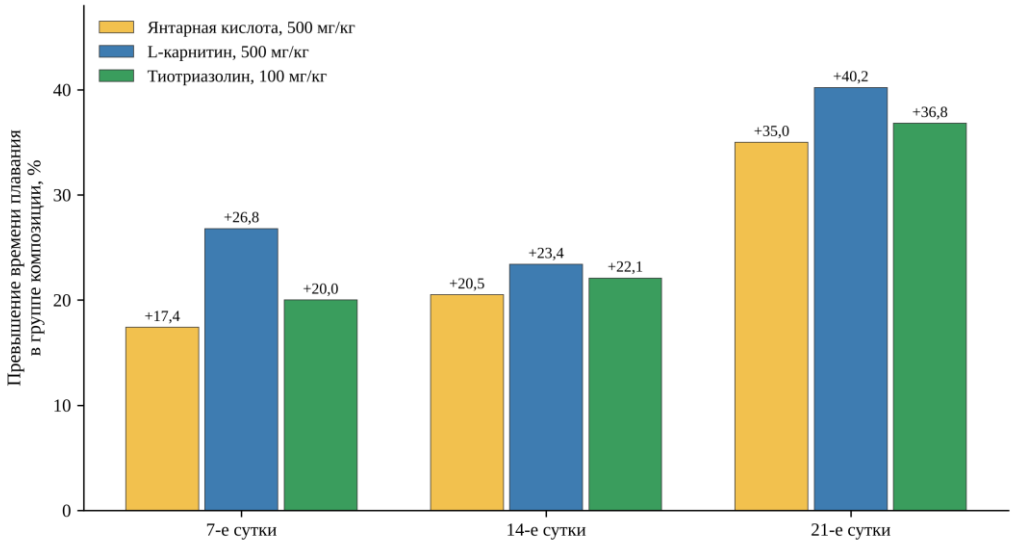

Рис. 2. Превышение времени плавания в группе комбинации над группами отдельных компонентов, %

В отличие от некоторых сукцинатсодержащих препаратов, для которых описан выход эффекта на плато к третьей неделе введения [22], время плавания в группе комбинации росло непрерывно и достигло максимума к концу эксперимента. Наибольшее преимущество комбинации именно в плавательном тесте, по-видимому, связано с характером нагрузки: плавание с отягощением протекает в условиях относительной гипоксии [18], при которой компоненты комбинации дополняют друг друга. Сукцинат поддерживает перенос электронов через комплекс II, когда окисление НАД-зависимых субстратов ограничено [14]; L-карнитин уменьшает образование лактата, облегчая окисление пирувата [13, 28]; тиотриазолин ограничивает окислительное повреждение мембран, которое особенно выражено при гипоксии и последующей реоксигенации [3, 16, 29]. Важно, что такое преимущество

достигалось при суммарной дозе комбинации, в 2,5 раза меньшей доз L-карнитина и янтарной кислоты в монотерапии.

Биохимические показатели на 7-е сутки. У крыс, получавших комбинацию, после нагрузки активность АСТ была выше контроля в 3,6 раза, ЛДГ — на 43,6 %, тогда как активность КФК была ниже на 16,6 %, а содержание холестерина — на 36,7 % (табл. 2). Активность АЛТ, содержание общего белка, кортизола и тестостерона не отличались от контроля. Сходные изменения АСТ, ЛДГ и холестерина наблюдались во всех опытных группах; при введении янтарной кислоты дополнительно повышалась активность АЛТ (на 29 %).

Таблица 2.

Биохимические показатели крови крыс после нагрузки на 7-е сутки введения (M ± m, n = 5)

Показатель	**Контрольная**	**Комбинация**	**Янтарная кислота**	**L-карнитин**	**Тиотриазолин**
АЛТ	70,3 ± 0,8	70,2 ± 0,8	90,7 ± 5,8*	69,0 ± 4,7	68,4 ± 3,5
АСТ	60,4 ± 22,7	216,2 ± 22,7*	250,1 ± 7,4*	206,7 ± 4,4*	229,9 ± 4,9*
КФК	320,0 ± 14,8	266,9 ± 5,7*	287,1 ± 4,3	269,8 ± 3,1*	271,8 ± 4,2*
ЛДГ	442,5 ± 2,3	635,6 ± 5,0*	625,8 ± 4,7*	584,2 ± 23,5*	622,5 ± 5,6*
Холестерин	1,80 ± 0,03	1,14 ± 0,05*	0,75 ± 0,01*	0,94 ± 0,05*	0,92 ± 0,04*
Общий белок	72,3 ± 1,5	68,6 ± 1,6	67,2 ± 1,9	74,9 ± 2,0	73,6 ± 2,0
Кортизол	59,8 ± 0,3	59,6 ± 0,3	60,1 ± 1,0	59,7 ± 0,4	59,8 ± 0,9
Тестостерон	0,736 ± 0,011	0,734 ± 0,008	0,750 ± 0,009	0,742 ± 0,011	0,766 ± 0,020

Примечание: * — $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

Повышение АСТ и ЛДГ при одновременном снижении КФК требует пояснения. КФК содержится преимущественно в скелетных мышцах и является наиболее специфичным маркером их повреждения, тогда как ЛДГ и АСТ присутствуют во многих тканях [30, 31]. Кроме того, животные опытных групп плавали почти вдвое дольше контрольных и, следовательно, выполняли значительно больший объём работы. Поэтому изменения на 7-е сутки скорее отражают усиление обмена веществ при большей нагрузке, чем повреждение мышечной ткани. Снижение холестерина во всех опытных группах согласуется с усиленным использованием липидов как энергетического субстрата [12].

Биохимические показатели на 14-е сутки. Во всех опытных группах после нагрузки повышались активность АЛТ и АСТ и содержание кортизола (табл. 3). У комбинации эти сдвиги были наименьшими: АЛТ превышала контроль на 85 % (у компонентов — на 104–138 %), АСТ — на 41 % (у компонентов — на 64–129 %), кортизол — на 8 % (у компонентов — на 12,5–13,5 %). Активность КФК во всех опытных группах оставалась ниже контроля (у комбинации — на 14,9 %), ЛДГ снижалась примерно на четверть, а холестерин достоверно снижался только в группе комбинации (на 32,9 %).

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Таблица 3.

Биохимические показатели крови крыс после нагрузки на 14-е сутки введения (M ± m, n = 5)

Показатель	Контрольная	Комбинация	Янтарная кислота	L-карнитин	Тиотриазолин
АЛТ	84,4 ± 9,1	156,2 ± 5,2*	200,8 ± 6,9*	175,6 ± 3,2*	172,5 ± 4,3*
АСТ	62,6 ± 2,7	88,2 ± 6,3*	143,4 ± 5,8*	102,7 ± 6,9*	104,0 ± 5,9*
КФК	308,6 ± 2,3	262,7 ± 7,9*	258,5 ± 5,9*	249,2 ± 5,1*	252,0 ± 3,5*
ЛДГ	373,9 ± 23,5	277,1 ± 2,9	285,1 ± 34,6	292,7 ± 4,8*	286,8 ± 5,3*
Холестерин	1,52 ± 0,17	1,02 ± 0,02*	1,55 ± 0,03	1,70 ± 0,04	1,41 ± 0,13
Общий белок	69,4 ± 0,6	69,8 ± 1,3	69,2 ± 1,2	70,6 ± 0,3	70,8 ± 0,7
Кортизол	59,1 ± 0,3	63,9 ± 0,8*	67,1 ± 0,5*	66,6 ± 0,5*	66,5 ± 0,7*
Тестостерон	0,726 ± 0,004	0,754 ± 0,007*	0,782 ± 0,005*	0,736 ± 0,013	0,788 ± 0,010*

Примечание: * — p < 0,05 по сравнению с контролем.

Период 14-х суток, по-видимому, соответствует фазе наибольшего напряжения адаптационных систем, когда организм, выполняющий всё больший объём работы, отвечает активацией как катаболических, так и анаболических механизмов. Одновременный рост кортизола и тестостерона характерен для такого периода интенсивной адаптации к нагрузкам [32, 4]. То, что у комбинации все эти сдвиги были наименее выражены, указывает на меньшее напряжение обменных процессов при наибольшей выносливости.

Биохимические показатели на 21-е сутки. К концу курса биохимический профиль животных, получавших комбинацию, изменился принципиально (табл. 4, рис. 3). Активность АСТ после нагрузки была ниже контроля на 41 %, КФК — на 23 %, ЛДГ — на 69 %, содержание холестерина — на 6,6 %. Содержание общего белка повышалось на 14,6 %, тестостерона — на 6,7 %, а активность АЛТ и уровень кортизола не отличались от контроля.

Таблица 4.

Биохимические показатели крови крыс после нагрузки на 21-е сутки введения (M ± m, n = 5)

Показатель	Контрольная	Комбинация	Янтарная кислота	L-карнитин	Тиотриазолин
АЛТ	71,2 ± 0,9	94,4 ± 11,7	135,2 ± 22,5*	91,1 ± 1,8*	91,4 ± 1,9*
АСТ	210,9 ± 24,6	124,4 ± 6,6*	232,5 ± 2,3	201,7 ± 3,9	200,9 ± 4,2
КФК	300,1 ± 3,2	231,5 ± 2,5*	258,2 ± 6,1*	244,3 ± 1,5*	244,3 ± 1,8*
ЛДГ	531,4 ± 47,9	165,6 ± 2,4*	229,4 ± 9,7*	201,7 ± 4,0*	216,8 ± 3,0*
Холестерин	1,06 ± 0,08	0,99 ± 0,03*	1,14 ± 0,04	1,11 ± 0,03	1,10 ± 0,02
Общий белок	71,1 ± 3,7	81,5 ± 1,0*	76,3 ± 1,3	85,2 ± 1,5*	85,5 ± 1,0*
Кортизол	65,8 ± 0,1	64,9 ± 0,4	66,5 ± 0,5	69,9 ± 3,5	70,3 ± 3,3
Тестостерон	0,742 ± 0,013	0,792 ± 0,003*	0,818 ± 0,012*	0,812 ± 0,007*	0,824 ± 0,011*

Примечание: * — p < 0,05 по сравнению с контролем. Дозы: комбинация 200 мг/кг, янтарная кислота и L-карнитин по 500 мг/кг, тиотриазолин 100 мг/кг.

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

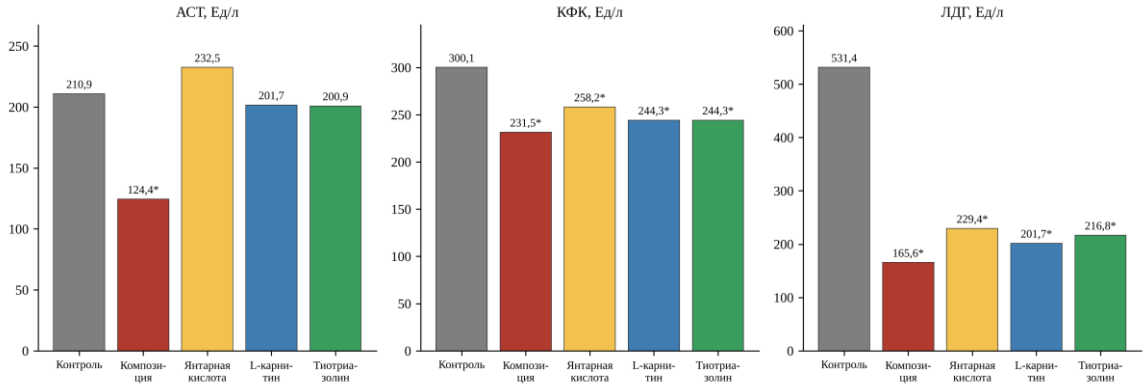

Рис. 3. Активность АСТ, КФК и ЛДГ в крови крыс после нагрузки на 21-е сутки введения, Ед/л (* — $p < 0,05$ по сравнению с контролем)

По влиянию на маркеры повреждения мышц комбинация превосходила все компоненты: активность АСТ в её группе была ниже, чем в группах монотерапии, на 38–47 %, ЛДГ — на 18–28 %, КФК — на 5–10 %. В группах компонентов активность АСТ достоверно не отличалась от контроля, а АЛТ оставалась повышенной, особенно при введении янтарной кислоты (на 90 %). Вместе с тем общий белок и тестостерон сильнее повышались при монотерапии: общий белок — на 19,8 и 20,3 % у L-карнитина и тиотриазолина, тестостерон — на 9,4–11,1 % во всех группах компонентов. Наиболее вероятное объяснение — более высокие дозы компонентов в монотерапии.

Общая картина изменений всех показателей во всех группах на трёх сроках представлена на рисунке 4. Хорошо видна смена знака изменений в группе комбинации: повышение АСТ и ЛДГ на 7-е сутки сменяется их выраженным снижением на 21-е сутки, тогда как в группах монотерапии этот переход выражен слабее, а повышение АЛТ сохраняется до конца эксперимента.

URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI
JANUBIY OROLBO‘YI TIBBIYOT JURNALI
2 - TOM, 6 - SON. 2026
14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

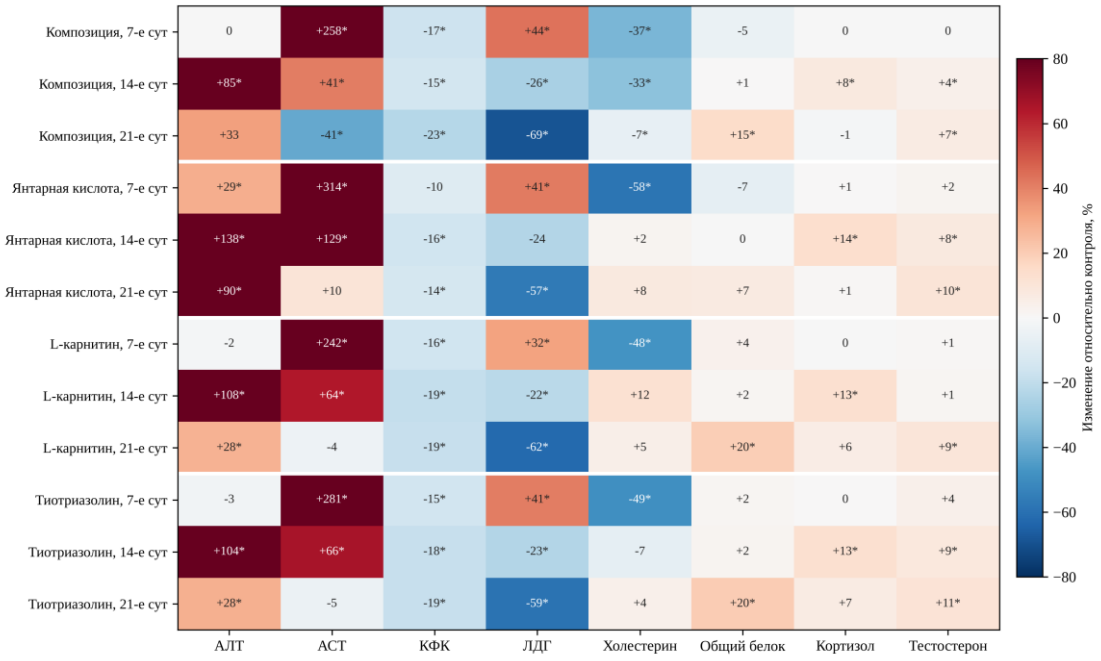

Рис. 4. Изменение биохимических показателей крови относительно контроля в группах комбинации и её компонентов на 7-е, 14-е и 21-е сутки, % (* — $p < 0,05$)

Таким образом, в группе комбинации к 21-м суткам наступала экономизация обменных процессов: при наибольшей выносливости выход ферментов из мышечной ткани был наименьшим, а гормональный баланс смещался в сторону анаболических процессов. Такая перестройка — более высокая работоспособность при меньшей метаболической «цене» нагрузки — характерна для адаптации к физическим нагрузкам [33]. Снижение ЛДГ и АСТ в большей степени, чем при введении любого компонента, указывает на лучшую сохранность мембран мышечных клеток; мембранопротекторное действие описано как для L-карнитина [34, 35], так и для тиотриазолина [16]. При этом важно, что умеренный выход ферментов на ранних сроках не противоречит благоприятному действию комбинации: небольшое повреждение мышечных волокон служит сигналом для их последующего восстановления и укрепления [36].

Отсутствие повышения АЛТ к 21-м суткам в группе комбинации, в отличие от монотерапии янтарной кислотой, может быть связано с сочетанием в её составе янтарной кислоты в меньшей дозе с тиотриазолином, обладающим гепатопротекторными свойствами [17]. Вместе с тем следует учитывать ограничения работы: группы были небольшими (n = 5), использованы только самцы, а у крыс основным глюкокортикоидом является кортикостерон, хотя при стрессе концентрации кортизола и кортикостерона изменяются параллельно [37]. Дозы компонентов в монотерапии не совпадали с их содержанием в комбинации, поэтому характер взаимодействия компонентов требует дальнейшего изучения [38].

ВЫВОДЫ

Комбинация L-карнитина, тиотриазолина и янтарной кислоты в дозе 200 мг/кг при 21-суточном внутрижелудочном введении увеличивает время плавания крыс с грузом на 90, 156 и 227 % по сравнению с контролем на 7-е, 14-е и 21-е сутки и на всех сроках превосходит каждый из компонентов, вводимых в монотерапии в больших дозах (к 21-м суткам — на 35,0–40,2 %).

На 7-е и 14-е сутки во всех опытных группах после нагрузки преходяще повышаются активность АСТ, ЛДГ, АЛТ и содержание кортизола, что связано с бóльшим объёмом выполненной работы; у комбинации эти сдвиги наименее выражены, а активность КФК остаётся ниже контроля.

На 21-е сутки комбинация снижает активность ЛДГ на 69 %, АСТ на 41 % и КФК на 23 %, превосходя по этим показателям каждый из компонентов, повышает содержание общего белка на 14,6 % и тестостерона на 6,7 % и не изменяет уровень кортизола и активность АЛТ, что свидетельствует об экономизации обменных процессов и мембранопротекторном действии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fitts R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue // Physiol. Rev. — 1994. — Vol. 74, № 1. — P. 49–94.
2. Allen D.G., Lamb G.D., Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms // Physiol. Rev. — 2008. — Vol. 88, № 1. — P. 287–332.
3. Powers S.K., Jackson M.J. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production // Physiol. Rev. — 2008. — Vol. 88, № 4. — P. 1243–1276.
4. Hackney A.C. Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress // Expert Rev. Endocrinol. Metab. — 2006. — Vol. 1, № 6. — P. 783–792.
5. Oliynyk S., Oh S. The pharmacology of actoprotectors: practical application for improvement of mental and physical performance // Biomol. Ther. (Seoul). — 2012. — Vol. 20, № 5. — P. 446–456.
6. Студенцов Е.П., Рамш С.М., Казурова Н.Г. и др. Адаптогены и родственные группы лекарственных препаратов — 50 лет поисков // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. — 2013. — Т. 11, № 4. — С. 3–43.
7. World Anti-Doping Agency. The 2026 Prohibited List: International Standard. — Montreal: WADA, 2025. — URL: https://www.wada-ama.org (дата обращения: 20.10.2026).
8. Dambrova M., Makrecka-Kuka M., Vilskersts R. et al. Pharmacological effects of meldonium: biochemical mechanisms and biomarkers of cardiometabolic activity // Pharmacol. Res. — 2016. — Vol. 113, Pt B. — P. 771–780.
9. Kantor P.F., Lucien A., Kozak R., Lopaschuk G.D. The antianginal drug trimetazidine shifts cardiac energy metabolism from fatty acid oxidation to glucose oxidation by inhibiting mitochondrial long-chain 3-ketoacyl coenzyme A thiolase // Circ. Res. — 2000. — Vol. 86, № 5. — P. 580–588.
10. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J. et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete // Br. J. Sports Med. — 2018. — Vol. 52, № 7. — P. 439–455.
11. Wan J.J., Qin Z., Wang P.Y., Sun Y., Liu X. Muscle fatigue: general understanding and treatment // Exp. Mol. Med. — 2017. — Vol. 49, № 10. — e384.
12. Longo N., Frigeni M., Pasquali M. Carnitine transport and fatty acid oxidation // Biochim. Biophys. Acta. — 2016. — Vol. 1863, № 10. — P. 2422–2435.
13. Stephens F.B., Constantin-Teodosiu D., Greenhaff P.L. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle // J. Physiol. — 2007. — Vol. 581, Pt. 2. — P. 431–444.
14. Tretter L., Patocs A., Chinopoulos C. Succinate, an intermediate in metabolism, signal transduction, ROS, hypoxia, and tumorigenesis // Biochim. Biophys. Acta. — 2016. — Vol. 1857, № 8. — P. 1086–1101.

15. Wang T., Xu Y.Q., Yuan Y.X. et al. Succinate induces skeletal muscle fiber remodeling via SUNCR1 signaling pathway // EMBO Rep. — 2019. — Vol. 20, № 9. — e47892.

16. Беленичев И.Ф., Визир В.А., Мамчур В.И., Курята А.В. Место тиотриазолина в галерее современных метаболитотропных лекарственных средств // Запорожский медицинский журнал. — 2019. — Т. 21, № 1. — DOI: 10.14739/2310-1210.2019.1.155856.

17. Тищенко В., Красько М. Использование гепатопротекторных свойств тиотриазолина для восстановления спортсменов после интенсивной нагрузки // Спортивный вестник Приднепровья. — 2025. — № 3. — С. 150–158. — DOI: 10.32540/2071-1476-2025-3-150.

18. Dawson C.A., Horvath S.M. Swimming in small laboratory animals // Med. Sci. Sports. — 1970. — Vol. 2, № 2. — P. 51–78.

19. Huang W.C., Hsu Y.J., Wei L., Chen Y.J., Huang C.C. Association of physical performance and biochemical profile of mice with intrinsic endurance swimming // Int. J. Med. Sci. — 2016. — Vol. 13, № 12. — P. 892–901.

20. Gültük S., Demirkazık A., Erdal S., Demir T. Effect of carnitine on the swimming endurance time in rats // Erciyes Med. J. — 2007. — Vol. 29, № 2. — P. 101–105.

21. Posridee K., Kupittayanant S., Rachnavy P., Oonsivilai A., Oonsivilai R. Role of ginseng and L-carnitine in modulating exercise endurance and oxidative stress in rats // Nutrients. — 2025. — Vol. 17, № 3. — P. 568.

22. Радько С.В., Дулепов А.Д. Влияние сукцинатсодержащих препаратов на физическую работоспособность и восстановление после нагрузки // Фармакокинетика и фармакодинамика. — 2019. — № 1. — С. 3–5.

23. Волчегорский И.А., Мирошниченко И.Ю., Рассохина Л.М., Малкин М.П. Влияние производных 3-оксипиридина и янтарной кислоты на физическую работоспособность мышей и их устойчивость к острой гипоксии различного генеза // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2019. — Т. 105, № 3. — С. 363–374.

24. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под общ. ред. Р.У. Хабриева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина, 2005. — 832 с.

25. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes (ETS No. 123). — Strasbourg: Council of Europe, 1986.

26. Каркищенко В.Н., Берзин И.А., Касинская Н.В., Деньгина С.Е. Оценка физической выносливости мелких лабораторных животных на фоне применения спортивного питания «МиоАктив Форсаж» // Биомедицина. — 2013. — № 4. — С. 66–69.

27. Porsolt R.D., Anton G., Blavet N., Jalfre M. Behavioural despair in rats: a new animal model sensitive to antidepressant treatments // Eur. J. Pharmacol. — 1978. — Vol. 47, № 4. — P. 379–391.

28. Wall B.T., Stephens F.B., Constantin-Teodosiu D. et al. Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans // J. Physiol. — 2011. — Vol. 589, Pt. 4. — P. 963–973.

29. Chouchani E.T., Pell V.R., Gaude E. et al. Ischaemic accumulation of succinate controls reperfusion injury through mitochondrial ROS // Nature. — 2014. — Vol. 515, № 7527. — P. 431–435.

30. Brancaccio P., Lippi G., Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage // Clin. Chem. Lab. Med. — 2010. — Vol. 48, № 6. — P. 757–767.

31. Baird M.F., Graham S.M., Baker J.S., Bickerstaff G.F. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery // J. Nutr. Metab. — 2012. — Vol. 2012. — P. 960363.

32. Urhausen A., Gabriel H., Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining // Sports Med. — 1995. — Vol. 20, № 4. — P. 251–276.

33. Radak Z., Zhao Z., Koltai E., Ohno H., Atalay M. Oxygen consumption and usage during physical exercise: the balance between oxidative stress and ROS-dependent adaptive signaling // Antioxid. Redox Signal. — 2013. — Vol. 18, № 10. — P. 1208–1246.

34. Volek J.S., Kraemer W.J., Rubin M.R. et al. L-Carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress // Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. — 2002. — Vol. 282, № 2. — P. E474–E482.

35. Fielding R., Riede L., Lugo J.P., Bellamine A. L-Carnitine supplementation in recovery after exercise // Nutrients. — 2018. — Vol. 10, № 3. — P. 349.

36. Clarkson P.M., Hubal M.J. Exercise-induced muscle damage in humans // Am. J. Phys. Med. Rehabil. — 2002. — Vol. 81, № 11 (Suppl.). — P. S52–S69.

37. Gong S., Miao Y.L., Jiao G.Z. et al. Dynamics and correlation of serum cortisol and corticosterone under different physiological or stressful conditions in mice // PLoS One. — 2015. — Vol. 10, № 2. — e0117503.

38. Tallarida R.J. Drug synergism: its detection and applications // J. Pharmacol. Exp. Ther. — 2001. — Vol. 298, № 3. — P. 865–872.