

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИИ МАТОЧНОГО МОЛОЧКА И ЭКЗОГЕННОГО УБИХИНОНА-10 НА БИОМАРКЕРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА И ПОВРЕЖДЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО УПРАЖНЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

В.В. Селезнёв, vseleznev92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2862-4192>
А.Н. Овчинников, alexander_ovchinnikov91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7527-3503>
Е.В. Крылова, alena.krylova.nn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1341-1709>
С.В. Копылова, gorelaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5527-9075>
А.В. Дерюгина, derugina69@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Цель: проанализировать влияние композиции маточного молочка и экзогенного убихинона-10 на биомаркеры окислительного стресса и повреждения мышечной ткани при выполнении высокоинтенсивного интервального упражнения в подготовительном периоде. **Материалы и методы.** В исследовании было задействовано 16 высококвалифицированных пловцов в возрасте 16 ± 1 год. Уровень достигнутой работоспособности определялся на 1-е и 11-е сутки исследования, испытуемые преодолевали дистанцию 50 метров основным способом плавания 4 раза с интервалом отдыха 45 с между отрезками. В течение исследования пловцы из группы А ежедневно принимали плацебо (мёд), группы Б – препарат (маточное молочко пчёл (ММ) и убихинон-10 (Q-10), суспендированные в мёде). Содержание диеновых (ДК) и триеновых конъюгатов (ТК), оснований Шиффа (ОШ), активность креатинкиназы (КК) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в плазме крови измеряли стандартными биохимическими методами. **Результаты.** Показано, что пловцы группы Б на 11-е сутки статистически значимо улучшили результат контрольного тестирования на 5,6 % по сравнению с испытуемыми из группы А. При этом уровень ДК, ТК, ОШ в крови спортсменов, принимавших в течение исследования композицию ММ+Q-10, статистически значимо снизился после физической нагрузки на 10; 12,5; 24,8 % соответственно по отношению к 1-м суткам и на 15,6; 24,3; 27,9 % по сравнению с группой плацебо. Внутри группы Б в результате приема композиции ММ+Q-10 активность КК и ЛДГ в крови после физической нагрузки статистически значимо уменьшилась на 33,4 и 40,9 % соответственно, а по сравнению с группой А – на 31,2 и 49,1 %. **Заключение.** Введение в рацион спортсмена композиции ММ + Q-10 во время подготовительного периода способно предотвращать негативные изменения в метаболизме скелетных мышц, вызываемые окислительным стрессом, повышая при этом функциональные возможности, а именно результативность выполнения упражнений максимальной мощности.

Ключевые слова: маточное молочко, убихинон-10, перекисное окисление липидов, креатинкиназа, лактатдегидрогеназа, физическая нагрузка максимальной мощности, плавание

Для цитирования: Влияние композиции маточного молочка и экзогенного убихинона-10 на биомаркеры окислительного стресса и повреждения мышечной ткани при выполнении высокоинтенсивного интервального упражнения в подготовительном периоде / В.В. Селезнёв, А.Н. Овчинников, Е.В. Крылова и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 4. С. 7–16. DOI: 10.14529/hsm220401

EFFECT OF ROYAL JELLY AND EXOGENOUS UBIQUINONE-10 ON OXIDATIVE STRESS AND MUSCLE TISSUE DAMAGE DURING HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN THE PREPARATORY PERIOD

V.V. Seleznev, vseleznev92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2862-4192>

A.N. Ovchinnikov, alexander_ovchinnikov91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7527-3503>

E.V. Krylova, alena.krylova.nn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1341-1709>

S.V. Kopylova, gorelaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5527-9075>

A.V. Deryugina, derugina69@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to identify the effect of royal jelly and exogenous ubiquinone-10 on biomarkers of oxidative stress and muscle tissue damage during high-intensity interval training in the preparatory period. **Materials and methods.** The study involved 16 skilled swimmers aged 16 ± 1 years. Their performance was evaluated on Days 1 and 11 of the study by the results of 4×50 m swimming test (main swimming style, 45-s rest between sets). Swimmers in Group A received placebo (honey) daily, swimmers in Group B received a combination of royal jelly (RJ) and exogenous ubiquinone-10 (Q-10) suspended in honey. Plasma diene and trienoic conjugates, Schiff base complexes, creatine kinase and lactate dehydrogenase activity were measured by means of the biochemical test. **Results.** On Day 11, there was a significant improvement in test values by 5.6% in group B compared with group A. A significant decrease of diene and trienoic conjugates and Schiff base complexes was recorded in athletes of the RJ + Q-10 group compared with Day 1 (10%, 12.5%, 24.8%, respectively) and the placebo group (15.6%, 24.3%, 27.9%). In group B, intragroup values of creatine kinase and lactate dehydrogenase activity decreased by 33.4% and 40.9%, respectively, while their intergroup values decreased by 31.2% and 49.1%, respectively. **Conclusion.** The use of RJ + Q-10 during the preparatory period prevents negative changes in skeletal muscle metabolism produced by oxidative stress and increases functional capabilities, namely the performance of maximal exercise.

Keywords: royal jelly, ubiquinone-10, lipid peroxidation, creatine kinase, lactate dehydrogenase, maximal exercise, swimming

For citation: Seleznev V.V., Ovchinnikov A.N., Krylova E.V., Kopylova S.V., Deryugina A.V. Effect of royal jelly and exogenous ubiquinone-10 on oxidative stress and muscle tissue damage during high-intensity interval training in the preparatory period. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(4):7–16. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220401

Введение. В плавании подготовительный период этапа спортивного совершенствования характеризуется 10–12 тренировками в бассейне, а также 3–6 занятиями общей физической подготовкой в неделю. При этом общая преодолеваемая спортсменами дистанция может достигать 80–110 км в неделю. Объем физической нагрузки при плавании в анаэробном режиме может достигать 30–35 %. В результате функциональные резервы организма могут истощаться, что потенциально может приводить к развитию преморбидных и патологических состояний. В вышеуказанный период спортсмен демонстрирует более низкий по сравнению с предсоревновательным периодом уровень физической работоспособности, что, как правило, выражается более низкой скоростью преодоления дистанций. В подго-

товительном периоде перед спортсменом стоит задача предупреждения срыва адаптационных процессов, индуцированных интенсивными физическими нагрузками. Окислительный стресс, возникающий при выполнении упражнений в зоне максимальной мощности, способствует интенсивному образованию реакционно-активных форм кислорода в задействованных мышцах с последующим накоплением токсичных продуктов липопероксидации в крови. Между тем антиоксидантная система не способна поддерживать окислительно-восстановительный гомеостаз в границах физиологической нормы, что провоцирует патологические последствия для метаболического фона [5]. Изменение прооксидантно-антиоксидантного баланса в направлении чрезмерного образования токсичных продуктов

окислительной модификации макромолекул сопровождается нарушением мембранных структур – от проницаемости и барьерной функции до апоптоза клетки. Более того, избыточное содержание мышечных ферментов, таких как КК и ЛДГ, во внеклеточной среде является одним из маркеров повреждения мышечной ткани.

В связи с этим использование биологически активных веществ широкого спектра физиологического действия, в том числе способных предупреждать развитие системного окислительного стресса, приобретает особую актуальность в подготовительный период. К соединениям, потенциально обладающим аддитивными антиоксидантными свойствами, можно отнести пчелиное маточное молочко (ММ), являющееся адаптогеном природного происхождения, и экзогенный убихинон-10 (Q-10) – жирорастворимый кофермент, синтезируемый в организме и выполняющий множество различных функций, связанных с его окислительно-восстановительным статусом [11]. Известно, что участие убихинона в метаболических процессах при мышечной работе в зоне субмаксимальной мощности возрастает [18]. Следовательно, прием данного вещества, предшествующий физической нагрузке, способен оказывать предупреждающее влияние на процессы липопероксидации во время и после выполнения высокоинтенсивных упражнений путем встраивания экзогенного соединения в клеточную мембрану, а также активации биосинтеза эндогенного убихинона [10, 13]. Безусловно, Q-10 играет важную роль в усилении неэнзимного компонента предупреждения оксидативного стресса [15]. В свою очередь предполагается, что ММ способно стимулировать ферментативное звено антиоксидантной системы за счет увеличения экспрессии и активности супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ) [1, 7, 17]. Более того, указанный выше взаимопотенцирующий эффект может напрямую быть связан с поддержанием физической работоспособности при нагрузках высокой интенсивности, что имеет большое значение в практике спортивной подготовки.

Ранее было показано, что пловцы, принимавшие в предсоревновательном периоде в течение 14 суток композицию ММ + Q-10 в дозе 400 и 60 мг/сут соответственно, улучшили показатели работоспособности, которые определялись контрольным тестированием.

Количество набранных очков по унифицированной системе, разработанной Международной федерацией плавания (FINA), в группе спортсменов, принимавших ММ + Q-10, увеличилось на 12,41 % по сравнению с группой плацебо [3]. Кроме того, в аналогичный период подготовки также была доказана целесообразность приема указанной выше комбинации веществ высококвалифицированными легкоатлетами в течение 10 дней, что выражалось меньшим временем, затраченным на выполнение контрольного теста [2].

Поскольку эффективность приема композиции ММ + Q-10 спортсменами была показана во время компенсации в предсоревновательном периоде, то в данной работе цель состояла в изучении влияния данной комбинации веществ на биомаркеры окислительного стресса и повреждения мышечной ткани при выполнении высокоинтенсивного интервального упражнения в подготовительном периоде.

Материалы и методы исследования. Было задействовано 16 высококвалифицированных пловцов мужского пола в возрасте 16 ± 1 год. Все участники были предварительно проинформированы о цели и методике проведения исследования и дали добровольное согласие на участие в нем в соответствии с Хельсинкской декларацией [19].

Уровень работоспособности определялся на 1-е и 11-е сутки исследования, испытуемые проплывали 50 м основным способом плавания 4 раза с интервалом отдыха 45 с между отрезками. По результатам первого тестирования были сформированы 2 группы со сходными морфофункциональными показателями.

В течение 10 суток испытуемые принимали вещества сублингвально. Группа А – плацебо (мёд) в дозе 10 г/сут. Группа Б – препарат (маточное молочко пчёл и убихинон-10, суспендированные в мёде) в дозе 10 г/сут, включая 400 мг/сут ММ и 60 мг/сут Q-10. Мёд и ММ были предоставлены ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства». Q-10 получен методом микробиологического синтеза на ОАО «Кстовский ОПЗ БВК».

Забор крови производился из локтевой вены за одни сутки до употребления и на десятые сутки приёма веществ до и после выполнения контрольного упражнения. Содержание диеновых ДК и ТК, ОШ в плазме крови измеряли на спектрофотометре «СФ-2000» («ОКБ СПЕКТР», Россия) по методу И.А. Вол-

чегорского [6]. Активность КК и ЛДГ в плазме крови оценивали энзиматическим кинетическим методом в диапазоне 1–1100 ед./л и 5–1200 ед./л соответственно на биохимическом анализаторе Clima MC-15 (RAL, Испания) с использованием набора реагентов СК-NAC DiaS (Германия).

Физическую подготовленность пловцов определяли по сумме времени преодоления четырех отрезков и дальнейшему переводу результата в систему очков FINA.

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием программного приложения RStudio. Полученные результаты представлены в виде среднего арифметического \pm стандартная ошибка среднего ($M \pm m$) или медианы \pm интерквартильное расстояние ($Me \pm 25$ -й процентиль). Анализ на предмет определения статистически значимых различий проводили с применением критерия Манна – Уитни и критерия Вилкоксона.

Результаты. В ходе исследования было показано, что показатели пловцов группы Б в части выполнения контрольного тестирования на 11-е сутки исследования были статистически значимо выше на 5,6 % по сравнению с группой А (табл. 1).

Повышение результативности выполнения упражнения может быть сопряжено с изменениями метаболизма, связанными с ингибированием процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) с соответствующим предупреждением повреждения сарколеммы и других клеточных структур мышечного волокна [4]. Так, на 11-е сутки исследования у спортсменов, принимавших ММ + Q-10, уровень ДК, ТК и ОШ в крови статистически

значимо снизился после физической нагрузки на 10; 12,5; 24,8 % соответственно по отношению к 1-м суткам (рис. 1).

Вместе с тем по сравнению с группой плацебо концентрация ТК и ОШ в крови после контрольного тестирования, проведенного на 11-е сутки исследования, также была статистически значимо меньше на 24,3 и 27,9 %. Чрезмерное образование ОШ, являющихся токсичными конечными продуктами ПОЛ, предполагает, что активность ферментативных белков уменьшается, функции структурных и сократительных белков мышечного волокна подавляются. При этом наблюдается деформация каналообразующих белков мембраны, в результате чего ее проницаемость возрастает, что в дальнейшем ведет к необратимым изменениям в клетке и, как следствие, ее гибели. После выполнения контрольного тестирования показатель ОШ/(ДК+ТК), характеризующий направленность цепных реакций свободнорадикального окисления липидов, статистически значимо увеличился на 18,3 % в сторону преобладания ОШ в крови у спортсменов группы А на 11-е сутки по сравнению с 1-ми сутками (табл. 2).

Интенсификация свободнорадикальных процессов в направлении образования конечных продуктов ПОЛ может свидетельствовать о снижении активности антиоксидантной системы и лимитировать физическую работоспособность. В свою очередь, мы предполагаем, что аддитивное действие ММ и Q-10 заключается в стимулировании двух взаимосвязанных звеньев антиоксидантной системы защиты. Так, деценовые кислоты ММ, являющиеся уникальным компонентом его состава, способны через активацию АМФ-активируемой

Таблица 1
Table 1

Результативность выполнения высокоинтенсивного интервального упражнения пловцами до и после приема веществ ($M \pm m$) ($n = 16$)
Performance of high-intensity interval exercise before and after treatment ($M \pm m$) ($n = 16$)

Показатель, ед. измерения Parameter, units of measurement	Группа А / Group A, n = 8		Группа Б / Group B, n = 8	
	до приема плацебо before placebo	после приема плацебо after placebo	до приема препарата (ММ + Q-10) before treatment (RJ + Q-10)	после приема препарата (ММ + Q-10) after treatment (RJ + Q-10)
Количество очков FINA, усл. ед. FINA points, c. u.	597,01 \pm 12,03	582,17 \pm 18,16	602,51 \pm 11,84	614,83 \pm 7,03*

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с группой А после приема плацебо.

Note. * – $p < 0.05$ compared with Group A after placebo.

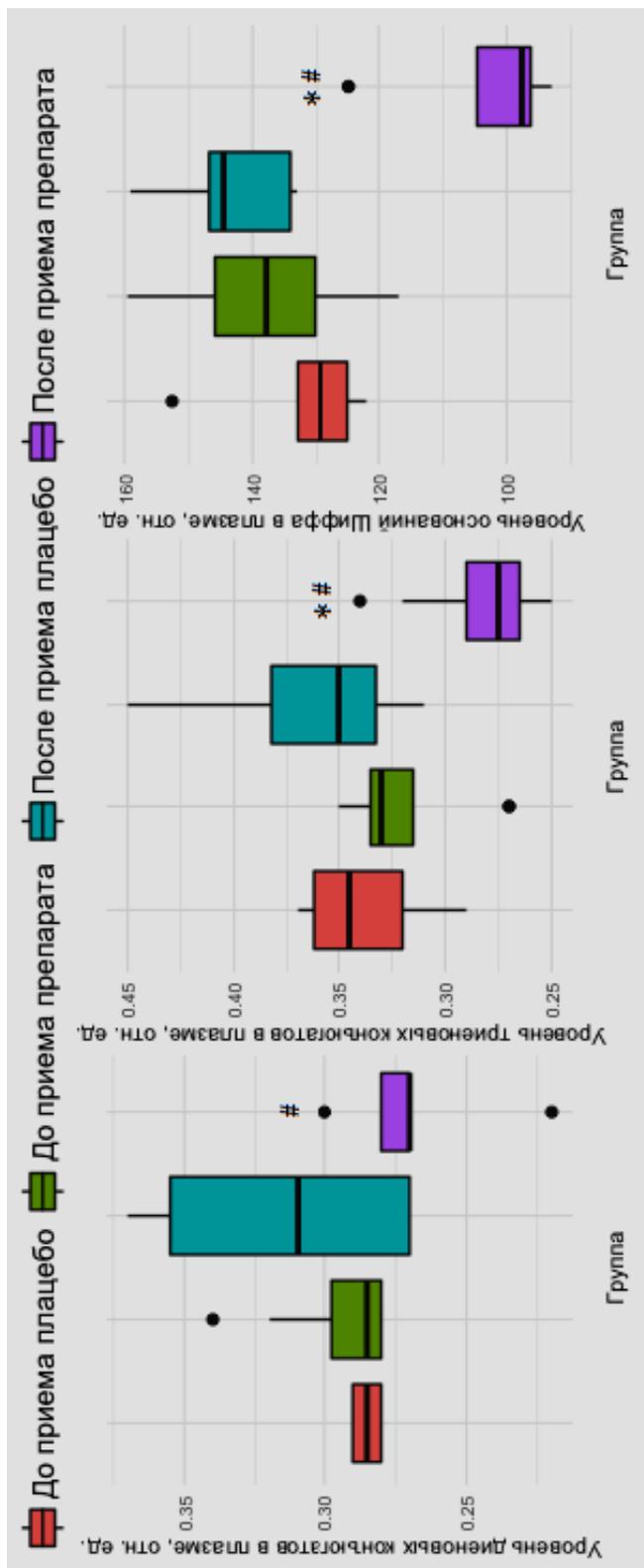


Рис. 1. Содержание продуктов ПОЛ в плазме крови пловцов до и после приема веществ (Me ± 25-й процентиль) (n = 16): * – p < 0,05 по сравнению с группой после приема плацебо; # – p < 0,05 по сравнению с группой до приема препарата (MM + Q-10)
Fig. 1. Plasma lipid peroxidation products in swimmers before and after treatment (Me ± 25 percentile) (n = 16): * – p < 0.05 compared with the placebo group; # – p < 0.05 compared with the data obtained before treatment (MM + Q-10)

протеинкиназы увеличивать экспрессию антиоксидантных ферментов [1, 7–9], в то время как Q-10 может повышать активность СОД и КАТ, а также благодаря присутствию донорно-акцепторных свойств обладает высокой реакционной способностью восстанавливать липидные радикалы, передавая им свои электроны [12, 15]. Кроме того, в восстановленной форме убихинон может непосредственно регенерировать антиоксидантную активность

аскорбата и α -токоферола, участвующих в дезактивации свободных радикалов [15, 16].

Также после выполнения тестирования на 11-е сутки исследования у пловцов группы Б активность КК и ЛДГ в плазме крови была статистически значимо меньше на 31,2 и 49,1 % соответственно по сравнению с группой А (рис. 2).

При этом установлено, что внутри группы Б в результате приема композиции ММ + Q-10

Таблица 2
Table 2

Отношение содержания конечных продуктов ПОЛ к первичным в крови у пловцов до и после приема веществ (M ± m) (n = 16)
The ratio of final to primary blood lipid peroxidation products in swimmers before and after treatment (M ± m) (n = 16)

Показатель, ед. измерения Parameter, units of measurement	Группа А / Group A, n = 8		Группа Б / Group B, n = 8	
	до приема плацебо before placebo	после приема плацебо after placebo	до приема препарата (ММ + Q-10) before treatment (RJ + Q-10)	после приема препарата (ММ + Q-10) after treatment (RJ + Q-10)
ОШ/(ДК+ТК), усл. ед. Schiff base complexes / (diene + trienoic conjugates), c. u.	187,03 ± 6,51	221,29 ± 16,81 [^]	193,45 ± 5,68	140,53 ± 11,98* [#]

Примечание. [^] – p < 0,05 по сравнению с группой А до приема плацебо; * – p < 0,05 по сравнению с группой А после приема плацебо; [#] – p < 0,05 по сравнению с группой Б до приема препарата (ММ + Q10).

Note. [^] – p < 0.05 compared with group A before placebo; * – p < 0,05 compared with group A after placebo; [#] – p < 0,05 compared with group B before treatment (ММ + Q10).

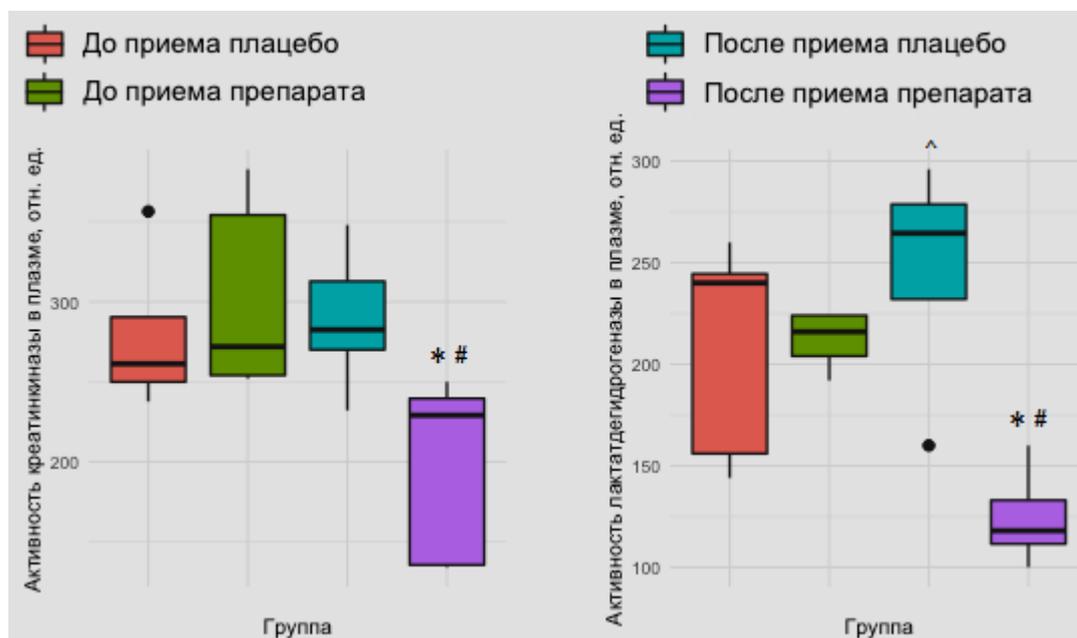


Рис. 2. Активность КК и ЛДГ в плазме крови пловцов до и после приема веществ (Me ± 25-й процентиль) (n = 16): [^] – p < 0,05 по сравнению с группой до приема плацебо; * – p < 0,05 по сравнению с группой после приема плацебо; [#] – p < 0,05 по сравнению с группой до приема препарата (ММ + Q10)

Fig. 2. Plasma creatine kinase and lactate dehydrogenase activity in swimmers before and after treatment (Me ± 25 percentile) (n = 16): [^] – p < 0.05 compared with the placebo group; * – p < 0.05 compared with the data obtained before treatment (ММ + Q-10)

активность КК и ЛДГ в крови после физической нагрузки статистически значимо уменьшилась на 33,4 и 40,9 %, соответственно. Как известно, одними из маркеров повреждения клеток мышечной ткани является повышение активности КК и ЛДГ во внеклеточной среде организма. Снижение активности данных ферментов в крови после приема ММ + Q-10 свидетельствовало об ингибировании процессов, связанных с нарушением структуры и функции клеток мышечной ткани. Подтверждением последнему служит торможение реакций липопероксидации, что можно увидеть по меньшему аккумулярованию токсичных конечных продуктов окислительной модификации липидов в крови после приема комбинации ММ + Q-10. Как известно, КК, локализуясь в клетке, катализирует реакцию, обеспечивающую энергией мышечные сокращения за счет образования креатинфосфата, который расходуется в том числе в процессе выполнения упражнений субмаксимальной мощности. В свою очередь ЛДГ также продолжает вы-

полнять основную функцию, а именно – катализировать процесс обратного превращения молочной кислоты в пировиноградную [14]. Так, более низкий уровень лактата в крови спортсменов после интенсивных физических нагрузок был отмечен ранее в исследованиях влияния ММ + Q-10 [2, 3].

Заключение. Следовательно, введение в рацион спортсмена композиции ММ + Q-10 во время подготовительного периода способно предотвращать негативные изменения в метаболизме скелетных мышц, вызываемые окислительным стрессом, повышая при этом функциональные возможности, а именно результативность выполнения упражнений субмаксимальной мощности. Более того, мы можем предполагать, что использование данной композиции во время соревнований по плаванию может быть актуальным в связи с тем, что высококвалифицированные спортсмены участвуют в предварительных, полуфинальных и финальных заплывах на основных дистанциях.

Список литературы

1. АМРК: структура, функции и участие в патологических процессах / Д.С. Новикова, А.В. Гарабаджиу, Д. Мелино и др. // Биохимия. – 2015. – Т. 80, № 2. – С. 163–183.
2. Влияние пчелиного маточного молочка и убихинона-10 на содержание гемоглобина и лактата в крови высококвалифицированных легкоатлетов / В.В. Селезнёв, В.Г. Кузьмин, Е.В. Крылова и др. // Культура физическая и здоровье. – 2019. – № 4 (72). – С. 155–158.
3. Влияние пчелиного маточного молочка и убихинона-10 на содержание гемоглобина и лактата в крови высококвалифицированных пловцов в предсоревновательном периоде / А.Н. Овчинников, В.В. Селезнёв, Е.В. Крылова, В.Н. Крылов // Теория и практика физ. культуры. – 2016. – № 11. – С. 29–31.
4. Гунина, Л. Синдром перенапряжения у спортсменов: миокардильные биохимические маркеры / Л. Гунина, В. Безуглая, Е. Носач // Наука в олимпийском спорте. – 2017. – № 1. – С. 27–35.
5. Использование показателей свободнорадикального окисления в ротовой жидкости в качестве маркеров функционального состояния спортсменов / К.Н. Конторщикова, Ю.Р. Тихомирова, А.Н. Овчинников и др. // Современные технологии в медицине. – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 82–86.
6. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови / И.А. Волчегорский, А.Г. Налимов, Б.Г. Яровинский, Р.И. Лифшиц // Вопросы мед. химии. – 1989. – Т. 35, № 1. – С. 127–131.
7. 10-Hydroxy-2-decenoic acid, a unique medium-chain fatty acid, activates 5'-AMP-activated protein kinase in L6 myotubes and mice / M. Takikawa, A. Kumagai, H. Hirata et al. // Molecular nutrition & food research. – 2013. – Vol. 57, № 10. – P. 1794–1802.
8. Alvarez-Suarez, J.M. Bee Products – Chemical and Biological Properties / J.M. Alvarez-Suarez. – Springer International Publishing AG, 2017. – P. 181–187.
9. Antioxidant Activity of Royal Jelly Hydrolysates Obtained by Enzymatic Treatment / H. Gu, I. Song, H. Han, et al. // Korean Journal for Food Science of Animal Resources. – 2018. – Vol. 38, No. 1. – P. 135–142.
10. Coenzyme Q and the regulation of intracellular steady-state levels of superoxide in HL-60 cells / D. Gonzalez-Aragon, M.I. Buron, G. Lopez-Lluch et al. // Biofactors. – 2005. – Vol. 25, No. 1–4. – P. 31–41.

11. Effects of 10-day royal jelly and coenzyme Q10 supplementation on functional condition in highly qualified athletes / A. Ovchinnikov, A. Deryugina, C. Kontorschikova, I. Okrut // *Clinica Chimica Acta*. – 2019. – Vol. 493, No. S1. – P. 494.
12. Effect of coenzyme Q10 supplementation on antioxidant enzymes activity and oxidative stress of seminal plasma: a double-blind randomised clinical trial / A. Nadjarzadeh, F. Shidfar, N. Amirjannati et al. // *Andrologia*. – 2014. – Vol. 46, No. 2. – P. 177–183.
13. Littarru, G.P. Clinical aspects of coenzyme Q10: an update / G.P. Littarru, L. Tiano // *Nutrition*. – 2010. – Vol. 26, No. 3. – P. 250–254.
14. Meshcheryakova, O.V. Mitochondrial lactate oxidation: mechanism and importance at the temperature adaptation / O.V. Meshcheryakova, M.V. Churova, N.N. Nemova // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology*. – 2012. – T. 163, No. S. – P. 5–6.
15. Navas, P. The importance of plasma membrane coenzyme Q in aging and stress responses / P. Navas, J.M. Villalba, R. de Cabo // *Mitochondrion*. – 2007 – Vol. 7. – P. 34–40.
16. Rodríguez-Bies, E. Age-Dependent Effect of Every-Other-Day Feeding and Aerobic Exercise in Ubiquinone Levels and Related Antioxidant Activities in Mice Muscle / E. Rodríguez-Bies, P. Navas, G. López-Lluch // *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*. – 2015. – Vol. 70, No. 1. – P. 33–43.
17. Royal jelly constituents increase the expression of extracellular superoxide dismutase through histone acetylation in monocytic THP-1 cells / J. Makino, R. Ogasawara, T. Kamiya et al. // *Journal of natural products*. – 2016. – Vol. 79, No. 4. – P. 1137–1143.
18. Systematic review of effect of coenzyme Q10 in physical exercise, hypertension and heart failure / F. Rosenfeldt, D. Hilton, S. Pepe, H. Krum // *Biofactors*. – 2003. – Vol. 18, No. 1-4. – P. 91–100.
19. World Medical Association Declaration of Helsinki. Recommendation guiding physicians in biomedical research involving human subjects // *Journal of the American Medical Association*. – 1997. – Vol. 277, No. 11. – P. 925–926.

References

1. Novikova D.S., Garabadzhiu A.V., Melino D. et al. [AMPK. Structure, Functions and Participation in Pathological Processes]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 2015, vol. 80, no. 2, pp. 163–183. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0006297915020017
2. Seleznev V.V., Kuz'min V.G., Krylova E.V. et al. [Influence of Royal Jelly and Ubiquinone-10 on the Content of Hemoglobin and Lactate in the Blood of Highly Qualified Athletes]. *Kul'tura fizicheskaya i zdorov'ye* [Physical Culture and Health], 2019, no. 4 (72), pp. 155–158. (in Russ.)
3. Ovchinnikov A.N., Seleznev V.V., Krylova E.V., Krylov V.N. [Influence of Royal Jelly and Ubiquinone-10 on the Content of Hemoglobin and Lactate in the Blood of Highly Qualified Swimmers in the Pre-Competitive Period]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2016, no. 11, pp. 29–31. (in Russ.)
4. Gunina L., Bezuglaya V., Nosach E. [Overstrain Syndrome in Athletes. Myocardial Biochemical Markers]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in Olympic Sports], 2017, no. 1, pp. 27–35. (in Russ.) DOI: 10.15823/sm.2017.4
5. Kontorshchikova K.N., Tikhomirova Yu.R., Ovchinnikov A.N. et al. [Use of Indicators of Free Radical Oxidation in the Oral Fluid as Markers of the Functional State of Athletes]. *Sovremennyye tekhnologii v meditsine* [Modern Technologies in Medicine], 2017, vol. 9, no. 3, pp. 82–86. (in Russ.) DOI: 10.17691/stm2017.9.3.11
6. Volchegorskii I.A., Nalimov A.G., Yarovinskiĭ B.G., Lifshits R.I. [Comparison of Different Approaches to the Determination of Lipid Peroxidation Products in Heptane-Isopropanol Blood Extracts]. *Voprosy meditsinskoĭ khimii* [Questions of Medical Chemistry], 1989, vol. 35, no. 1, pp. 127–131. (in Russ.)
7. Takikawa M., Kumagai A., Hirata H. et al. 10-Hydroxy-2-Decenoic Acid, a Unique Medium-Chain Fatty Acid, Activates 5'-AMP-Activated Protein Kinase in L6 Myotubes and Mice. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2013, vol. 57, no. 10, pp. 1794–1802. DOI: 10.1002/mnfr.201300041
8. Alvarez-Suarez J.M. *Bee Products – Chemical and Biological Properties*. Springer International Publishing AG, 2017, pp. 181–187. DOI: 10.1007/978-3-319-59689-1

9. Gu H., Song I., Han H. et al. Antioxidant Activity of Royal Jelly Hydrolysates Obtained by Enzymatic Treatment. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2018, vol. 38, no. 1, pp. 135–142.
10. Gonzalez-Aragon D., Buron M.I., Lopez-Lluch G. et al. Coenzyme Q and the Regulation of Intracellular Steady-State Levels of Superoxide in HL-60 Cells. *Biofactors*, 2005, vol. 25, no. 1–4, pp. 31–41. DOI: 10.1002/biof.5520250105
11. Ovchinnikov A., Deryugina A., Kontorschikova C., Okrut I. Effects of 10-day Royal Jelly and Coenzyme Q10 Supplementation on Functional Condition in Highly Qualified Athletes. *Clinica Chimica Acta*, 2019, vol. 493, no. S1, 494 p. DOI: 10.1016/j.cca.2019.03.1041
12. Nadjarzadeh A., Shidfar F., Amirjannati N. et al. Effect of Coenzyme Q10 Supplementation on Antioxidant Enzymes Activity and Oxidative Stress of Seminal Plasma: a Double-Blind Randomised Clinical Trial. *Andrologia*, 2014, vol. 46, no. 2, pp. 177–183. DOI: 10.1111/and.12062
13. Littarru G.P., Tiano L. Clinical Aspects of Coenzyme Q10: an Update. *Nutrition*, 2010, vol. 26, no. 3, pp. 250–254. DOI: 10.1016/j.nut.2009.08.008
14. Meshcheryakova O.V., Churova M.V., Nemova N.N. Mitochondrial Lactate Oxidation: Mechanism and Importance at the Temperature Adaptation. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2012, vol. 163, no. S, pp. 5–6. DOI: 10.1016/j.cbpa.2012.05.020
15. Navas P., Villalba J.M., de Cabo R. The Importance of Plasma Membrane Coenzyme Q in Aging and Stress Responses. *Mitochondrion*, 2007, vol. 7, pp. 34–40. DOI: 10.1016/j.mito.2007.02.010
16. Rodríguez-Bies E., Navas P., López-Lluch G. Age-Dependent Effect of Every-Other-Day Feeding and Aerobic Exercise in Ubiquinone Levels and Related Antioxidant Activities in Mice Muscle. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 2015, vol. 70, no. 1, pp. 33–43. DOI: 10.1093/gerona/glu002
17. Makino J., Ogasawara R., Kamiya T. et al. Royal Jelly Constituents Increase the Expression of Extracellular Superoxide Dismutase Through Histone Acetylation in Monocytic THP-1 Cells. *Journal of Natural Products*, 2016, vol. 79, no. 4, pp. 1137–1143. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.6b00037
18. Rosenfeldt F., Hilton D., Pepe S., Krum H. Systematic Review of Effect of Coenzyme Q10 in Physical Exercise, Hypertension and Heart Failure. *Biofactors*, 2003, vol. 18, no. 1–4, pp. 91–100. DOI: 10.1002/biof.5520180211
19. World Medical Association Declaration of Helsinki. Recommendation Guiding Physicians in Biomedical Research Involving Human Subjects. *Journal of the American Medical Association*, 1997, vol. 277, no. 11, pp. 925–926. DOI: 10.1001/jama.277.11.925

Информация об авторах

Селезнёв Владислав Викторович, старший преподаватель кафедры теории и методики спортивной подготовки факультета физической культуры и спорта, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия.

Овчинников Александр Николаевич, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры спортивной медицины и психологии факультета физической культуры и спорта, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия.

Крылова Елена Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия.

Копылова Светлана Вячеславовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия.

Дерюгина Анна Вячеславовна, доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия.

Information about the authors

Vladislav V. Seleznev, Senior Lecturer, Department of Theory and Methods of Sports Training, Faculty of Physical Education and Sport, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Aleksander N. Ovchinnikov, Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of Sports Medicine and Psychology, Faculty of Physical Education and Sport, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Elena V. Krylova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology and Anatomy, Institute of Biology and Biomedicine, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Svetlana V. Kopylova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology and Anatomy, Institute of Biology and Biomedicine, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Anna V. Deryugina, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physiology and Anatomy, Institute of Biology and Biomedicine, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Статья поступила в редакцию 10.09.2022

The article was submitted 10.09.2022