

Dmitriev A, Gunina L. Syndromes of exercise-induced muscle damage and delayed onset muscle soreness in elite sport: role in the development of fatigue and prevention. *Science in Olympic Sport*. 2020; 1:57-71. DOI:10.32652/olympic2020.1_5

Дмитриев А, Гунина Л. Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности в спорте высших достижений: роль в развитии утомления и профилактики. *Наука в олимпийском спорте*. 2020; 1:57-71. DOI:10.32652/olympic2020.1_5

Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности в спорте высших достижений: роль в развитии утомления и профилактики

Александр Дмитриев¹, Лариса Гунина²

¹Ассоциация парентерального и энтерального питания, Клиника Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Учебно-научный олимпийский институт Национального университета физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

Syndromes of exercise-induced muscle damage and delayed onset muscle soreness in elite sport: role in the development of fatigue and prevention

Aleksandr Dmitriev, Larisa Gunina

ABSTRACT. *Objective.* Based on the analysis of scientific literature, to form up-to-date concepts of exercise-induced muscle damage (EIMD) and delayed onset muscle soreness (DOMS) as factors for the development of fatigue and work capacity decrease in athletes, as well as opportunities for their prevention and correction.

Methods. Analysis and generalization of scientific and methodological literature and abstract databases on the subject under study.

Results. Different aspects of the mechanisms of EIMD and DOMS syndromes formation have been summarized. It has been postulated that they may represent one of the main causes of skeletal muscle fatigue. It has been suggested that in this situation, lactate accumulation is only the trigger mechanism for further changes in homeostasis, and not their upstream cause, which leads to inflammation, swelling, and pain. Taking into account the detailed analysis of the literature data and the provisions of the IOC-2018 Consensus on the use of dietary supplements by elite athletes, the classes of nutritiological means formed by the authors are described, which should reasonably be used for the prevention and correction of these syndromes.

Conclusion. It should be considered that the process of post-load skeletal muscle remodeling (and, accordingly, the development of motor capacities) in the training process dynamics proceeds adequately if homeostatic rearrangements do not exceed the individual adaptation capacities of the athlete's body. Therefore, the programs for prevention and correction of exercise-induced muscle damage and delayed onset muscle soreness underlying skeletal muscle fatigue should be strictly individualized based on ongoing laboratory monitoring of EIMD and DOMS markers.

Keywords: elite sport, exercise-induced muscle damage, delayed onset muscle soreness syndrome, fatigue, work capacity, prevention, EIMD, DOMS.

Синдроми мікропошкодження м'язів і відстроченої м'язової хворобливості у спорті вищих досягнень: роль у розвитку стомлення і профілактика

Олександр Дмитрієв, Лариса Гуніна

АНОТАЦІЯ. *Мета.* На основі аналізу даних наукової літератури сформувати сучасні уявлення стосовно синдромів мікропошкодження м'язів (EIMD) і відстроченого м'язового болю (DOMS) як факторів виникнення стомлення та зниження працездатності у спортсменів, а також можливості їх профілактики та корекції.

Методи. Аналіз і узагальнення даних науково-методичної літератури та реферативних баз даних з досліджуваного питання.

Результати. Узагальнено різні сторони механізмів формування синдромів EIMD та DOMS і постульовано, що саме вони можуть бути однією з основних причин розвитку стомлення скелетної мускулатури. Висловлено припущення, що в цій ситуації накопичення лактату є тільки пусковим механізмом подальших змін гомеостазу, а не власне їх першопричиною, що призводить до запалення, набряку та больового синдрому. З урахуванням детального аналізу даних літератури та положень Консенсусу МОК-2018 про застосування харчових добавок елітними спортсменами описані сформовані авторами класи нутриціологічних засобів, які обґрунтовано повинні бути використані для профілактики і корекції згаданих синдромів.

Висновок. Слід вважати, що процес постнавантажувального ремоделювання скелетної мускулатури (і, відповідно, розвитку рухових якостей) у динаміці тренувального процесу адекватно протікає в тому випадку, якщо гомеостатичні перебудови не виходять за рамки індивідуальних адаптаційних можливостей організму спортсмена. І тому програми профілактики та корекції мікропошкодження м'язів та відстроченої м'язової хворобливості, що лежать в основі стомлення скелетної мускулатури, повинні бути строго індивідуалізовані на основі постійного лабораторного моніторингу маркерів EIMD і DOMS.

Ключові слова: спорт вищих досягнень, мікропошкодження м'язів, синдром відстроченого м'язового болю, стомлення, працездатність, профілактика, EIMD, DOMS.

Постановка проблемы. Микроповреждения мышечных волокон (EIMD – от *англ.* Exercise-Induced Muscle Damage) и отсроченная болезненность скелетных мышц (DOMS – от *англ.* Delayed Onset of Muscle Soreness) – это два хорошо известных в спорте синдрома, способных, независимо от вида спорта и индивидуальных особенностей атлета, ускорять наступление утомления и соответствующее снижение физической работоспособности. За последние годы интерес к изучению этих симптомов, частоты их развития и механизмов формирования, а также к нутритивно-метаболической коррекции проявлений EIMD и DOMS (профилактике и лечению) существенно вырос, что хорошо видно по количеству опубликованных обзорных публикаций за период 2012–2019 гг. [8–10, 20, 25, 31, 36, 40, 48, 52, 55, 61].

EIMD и DOMS давно уже не рассматриваются только в качестве адаптивной реакции на физические нагрузки, а также в качестве неизбежного элемента интенсивных нагрузок в ходе профессиональной и любительской подготовки. Наоборот, появление указанных синдромов, как свидетельствуют данные систематического обзора литературы, во многих ситуациях замедляет восстановление после тренировок, снижает эффективность нутритивно-метаболической поддержки и последующий рост физической подготовленности [53], о чем впервые было упомянуто еще четверть века назад [1]. Эти обстоятельства особенно важны при интенсификации тренировочных нагрузок, даже при условии своевременности, в динамике годового макроцикла и многолетнего совершенствования в современном спорте в целом и в процессе подготовки каждого отдельно взятого квалифицированного спортсмена.

В связи с этим в составе комплексной нутритивно-метаболической поддержки процесса спортивной подготовки обязательным элементом общей стратегии должно стать применение не только особых пищевых режимов и функциональной пищи, но и пищевых добавок, действие которых направлено, в том числе, на профилактику развития и снижение выраженности проявлений болезненных симптомов EIMD и DOMS.

Цель исследования – сформировать современные представления о механизмах развития, роли синдромов микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности, а также о методах их профилактики и коррекции в спорте высших достижений.

Методы исследования: анализ и синтетическое обобщение научно-методической литературы, а также данных сети Internet, по изучаемому вопросу.

Терминология и патофизиологические механизмы формирования синдромов EIMD и DOMS. В настоящее время не подвергается сомнению, что силовые или длительные физические нагрузки, особенно с элементами эксцентрических движений, при несоответствии уровня нагрузки и степени адаптированности мышц, сопровождаются различной степенью микроповреждений миофибрилл и отсроченной болезнен-

ностью скелетной мускулатуры. Синдром отсроченной мышечной болезненности, или DOMS, также известный как «мышечная лихорадка», проявляется болезненными ноющими ощущениями в мышцах, особенно после ранее не выполняемых и/или непривычных упражнений высокой интенсивности [42].

Результаты исследований последнего времени подтверждают, что в спорте высших достижений ультраструктурные мышечные травмы, в том числе, в качестве проявлений DOMS, являются причиной снижения сократительной способности скелетной мускулатуры, а, следовательно, и работоспособности спортсменов [15, 19, 21]. Более того, достаточно значима также роль DOMS в возникновении травм: уменьшение диапазона движения, обусловленное наличием боли, характерной для DOMS может привести к неспособности эффективно воспринимать воздействия, которые влияют на двигательную активность, и к травмированию спортсмена. Изменения в механическом движении могут увеличить нагрузку на структуры мягких тканей, а снижение исходного уровня силы может сигнализировать о компенсаторном нерегламентированном увеличении диаметра мышечных волокон, выходящем за пределы рабочей гипертрофии мышц, что приводит к непривычной нагрузке на мышцу с ее последующей травматизацией [64].

Профилактика и лечение этих синдромов микроповреждения миофибрилл на сегодня становятся ключом к восстановлению мышечной производительности и гарантируют стимуляцию работоспособности и экономизацию работы скелетной мускулатуры не только при плавании, езде на велосипеде и беге, т.е. при нагрузках циклического характера [49], но и при нагрузках нециклического характера [2, 7, 21]. Наиболее часто DOMS развивается после окончания действия физической нагрузки, а его пик наблюдается между 24-я и 48-ю часами после тренировочного занятия или соревновательного дня. Этиология DOMS до конца не выяснена, но общими триггерными (пусковыми) механизмами данного процесса являются биохимические внутриклеточные изменения и воспаление вследствие формирования EIMD. Проявление синдромов и микроповреждений мышечных волокон, а также отсроченной мышечной болезненности обычно связаны с группой мышечных волокон четырехглавой мышцы бедра, но также могут затрагивать группы сужений подколенных сухожилий и трицепсов [12].

Долгие годы DOMS ошибочно рассматривался только как результат накопления лактата в мышечной ткани (то, что спортсменами называлось «крепатура») в процессе интенсивной работы. Современные же представления о природе DOMS существенно отличаются от начальных. Боль, ограничение подвижности, затруднение проведения повторных циклов упражнений вследствие DOMS, с одной стороны, и накопление лактата, с другой, как выяснилось, совершенно не связаны [11]. Концентрация лактата в крови и мышцах после интенсивных

концентрических анаэробных и, особенно, эксцентрических нагрузок, действительно, повышается, но достаточно быстро – в течение 1–1,5 ч – приходит в норму, т.е. к исходным, до нагрузки, значениям у конкретного спортсмена. Выраженность проявлений DOMS при этом растет в первые 24 ч, достигает пика между 24-я и 48-ю часами, когда показатели содержания лактата сыворотки крови уже находятся в пределах нормы для спортсменов [41]. С нашей точки зрения, можно предположить, что накопление лактата в сыворотке крови со снижением pH среды, т.е. плазмы и интерстициальной жидкости, лишь запускает целый каскад разных биохимических реакций, которые затем и формируют симптомокомплекс, характерный для DOMS. При этом, мы полагаем, что в связи с высокоиндивидуальной программой формирования адаптированности к нагрузкам у квалифицированных спортсменов могут включаться различные триггерные механизмы, провоцирующие последующее воспаление и формирование данного синдрома. Такой постулат в определенной степени может объяснить, почему DOMS встречается не у всех спортсменов после одинаковой по направленности и интенсивности нагрузки. В частности, большее значение могут иметь колебания активности антиоксидантной системы в ферментативном (глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза, супероксиддисмутаза) и неферментативном (восстановленный глутатион) звеньях и чрезмерное (индивидуально! – прим. авт.) повышение уровня кортизола, а также недостаточное потребление протеинов, углеводов, жиров, витаминов, минералов, т.е. основных макро- и микронутриентов, которые в целом важны для стимуляции работоспособности [18].

Одно из широко используемых определений DOMS, сформулированное как «следствие механического и метаболического стресса, вызванное физическими нагрузками» [30], практически ничего не дает для понимания сути данного физиологического (или патофизиологического? – прим. авт.) процесса. Более того, до сих пор нет единого мнения относительно связи микроповреждений мышц и DOMS, и имеются аргументы как «*pro*», так и «*contra*»¹. Симптомы DOMS включают снижение мышечной силы, усиление боли, мышечную слабость, уменьшение подвижности и отечность в болезненной области, а также формирование биохимического ответа в виде увеличения концентрации в сыворотке крови, в первую очередь, активности специфических мышечных ферментов креатинфосфокиназы и лактатдегидрогеназы, а также аспартат- и аланин-аминотрансферазы [21]. Устранение этих явлений, в зависимости от характера, интенсивности и длительности предшествующей нагрузки, может потребовать от 3–4 до 7 дней. Тем не менее в большинстве работ DOMS продолжают рассматривать как результат прямого или опосредованного действия EIMD.

Первое упоминание о задержке развития проявлений болевого синдрома в мышцах (DOMS) было сделано американским врачом Теодором Хафом (*Theodore Hough*) в 1902 г. Он отметил, что когда «нетренированные скелетные мышцы выполняют упражнения, это часто приводит к дискомфорту, который не проявляется до 8–10 ч после тренировки» [цит. по 8], и пришел к выводу, что это не может быть связано только с усталостью. Со времени первоначального наблюдения Т. Хафа констатировалось увеличение количества исследований DOMS, и, несмотря на это, точная его этиология остается неясной. Первые взвешенные суждения относительно механизмов развития DOMS были предложены еще в 1984 г. и заключались в следующем: 1) интенсивные мышечные нагрузки (особенно связанные с эксцентрическими упражнениями) в сократительной/эластической системе мышц приводят к структурным повреждениям; 2) повреждение клеточной мембраны миоцитов сопровождается нарушением гомеостаза ионов кальция (Ca^{2+}) в поврежденных мышечных волокнах, что приводит к некрозу, выраженность которого достигает пика примерно через 2 дня после тренировки; 3) продукты активности макрофагов и внутриклеточного содержимого вследствие повышения проницаемости клеточной мембраны накапливаются в интерстиции, что, в свою очередь, стимулирует свободные нервные окончания сенсорных нейронов группы IV в мышцах, что и приводит к ощущению боли при DOMS [1], что впоследствии оказалось совсем недалеко от истины.

В настоящее время одна из наиболее популярных схем патофизиологических механизмов развития DOMS при эксцентрическом типе мышечного сокращения приведена в одной из последних по этой проблеме работе руководителя Департамента физической культуры и спортивной науки из Университета Мохатге Ардебиле (Иран) профессора А. Meamarbashi [40]. Микроповреждения скелетных мышц, т.е. развившийся синдром EIMD, запускают в клетках каскад биохимических реакций, в которых важную роль играют повышение проницаемости сосудов (выделение брадикинина), активация ферментов циклооксигеназы-2 (COX-2) и липоксигеназы с образованием тромбоксанов, простагландинов и лейкотриенов (триггеры боли), что и приводит, собственно, к развитию болевого синдрома, а также сенсibilизация нервных волокон III и IV типов с повышением чувствительности к химическим и механическим стимулам [41, 46]. Вследствие выхода жидкости из просвета сосудов в ткани и накопления иммунных клеток развивается отек, который также вносит свой вклад в формирование болевых ощущений (рис. 1).

Отмечаются нарушения структуры внутриклеточных образований (саркоплазматического ретикулюма, саркомеров, миофибрилл и др.). Первичные механические разрушения формируют картину вторичного воспалительного ответа, в которой брадикинин и факторы роста нервов играют ключевую роль. С клинической

¹Здесь и далее «*pro*» и «*contra*» – лат. «за» и «против» – прим. авторов.



РИСУНОК 1 – Общие патобиохимические и патофизиологические механизмы развития DOMS (цит. по: [40])

точки зрения этот процесс – классическое асептическое воспаление в результате действия физических (прежде всего механических) факторов. С биохимической точки зрения накопление нейтрофилов и макрофагов в местах повреждения мышечных волокон и повышение их активности увеличивает уровни медиаторов воспаления (брадикинины, простагландины и лейкотриены). В частности, брадикинин активирует фосфолипазу A_2 , увеличивается концентрация ионов Ca^{2+} в клеточной мембране за счет открытия ионных каналов, что приводит к секреции субстанции P [43]. В свою очередь, субстанция P, которая является одним из наиболее известных пептидов и выполняет ряд функций, включая перцепцию боли, стимулирует продукцию арахидоновой кислоты. Это приводит к увеличению концентраций простагландинов и лейкотриенов (провоспалительное действие арахидоновой кислоты). Последние (непосредственно повышают чувствительность афферентных нервных волокон III (мышечные сенсоры глубокого давления по классификации Ллойда-Ханта) и IV (тонкие немиелинизированные болевые волокна) типов. Кроме того, лейкотриены увеличивают проницаемость сосудистой стенки, что сопровождается адгезией нейтрофилов к клеткам эндотелия в местах повреждения. Это усиливает повреждения клеточных мембран, увеличивает внутриклеточное давление и отек с последующей вторичной активацией волокон III и IV типов, что опосредует усиление выраженности болевого синдрома [40].

Логичные, на первый взгляд, предположения некоторых авторов, что важную роль в патогенезе DOMS играет возникновение окислительного стресса, не подтвердились окончательно результатами последних исследований. Так, еще в 2002 г. [34] была высказана гипотеза о том, что редукция физических параметров, связанных с DOMS, может быть уменьшена посредством модуляции воспалительного ответа. Потому, по мнению авторов работы [34], природные антиоксиданты на основе рыбного жира, уменьшающие воспалительный ответ через модификацию эйкозаноидного пути, и изофлавоны (ISO), по-видимому, уменьшающие воспаление благодаря своей роли ингибитора тирозинкиназы, должны нивелировать выраженность проявлений синдрома DOMS. Однако при изучении доста-

точно широкого спектра биохимических и гормональных (кортизол, тестостерон, креатинкиназа, интерлейкин IL-6, фактор некроза опухолей TNF- α , малоновый диальдегид и сывороточное железо), а также и физических (параметры силы, боли, окружности руки и расслабленного угла руки – RANG) показателей в трех рандомизированных группах испытуемых, авторы показали, что через 48 и 168 ч после тренировки с включением 50 максимальных изокинетических эксцентрических сокращений локтя, во всех группах было отмечено снижение значения RANG и силы с одновременным значительным усилением боли и увеличением окружности бицепса. При этом в группах спортсменов после курсового применения рыбного жира и изофлавонов не было отмечено никаких существенных изменений биохимических и физических параметров по сравнению с их уровнем в группе без использования нутрициологических средств в динамике тренировок [3, 4].

Результаты данного исследования в последнее время были фактически подтверждены сотрудниками научной группы под руководством профессора Университета Лондона (Бразилия) R. Deminice, известного своими исследованиями в области свободнорадикального окисления при физических нагрузках, в РДСПКИ с курсовым применением природных антиоксидантов – витаминов С и Е [16]. Авторы сделали вывод, что антиоксидантные пищевые добавки не снижают содержание маркеров мышечного повреждения или болезненности мышц, вызванных даже разовыми, непривычными для организма упражнениями, и не оказывают в данном случае какого-либо эргогенного влияния на спортивные результаты спортсменов. Однако нельзя отрицать, что в этом случае антиоксиданты уменьшают выраженность проявлений окислительного стресса и опосредованных им нарушений гомеостаза, которые затем приводят к ухудшению процессов энергообразования, изменению проницаемости клеточных мембран, снижению скорости нервного импульса и, следовательно, замедлению межмышечного и нервно-мышечного взаимодействия, и др. Все это ухудшает физиологические механизмы формирования эргогенных свойств организма спортсмена, и потому, с нашей точки зрения, применение антиоксидантных пищевых добавок для улучшения сократительной способности скелетной мускулатуры и формирования физи-

ческих качеств, необходимых для достижения высокого соревновательного результата, в спорте высших достижений себя полностью оправдывает.

Возможно, точку над «и» на сегодня в этом вопросе поставили результаты систематического обзора данных литературы, выполненного на основе анализа 50 исследований, в которые вошли 1089 участников (961 мужчин и 128 женщин) в возрасте от 16 до 55 лет, и опубликованного в июле 2019 г. в авторитетном издании «British Journal of Sport Medicine» [53]. Во всех проанализированных авторами систематического обзора исследования использовались дозировки антиоксидантов, превышающие рекомендуемую суточную дозу. Авторы обзора сделали вывод, что величины эффекта, предполагающие меньшую болезненность мышц при добавлении антиоксидантов, вряд ли будут приравниваться к значимым или важным различиям на практике. Таким образом, имеются данные со значением доказательности от среднего до низкого уровня, что высокие дозы антиоксидантов не приводят к клинически значимому снижению проявлений мышечной болезненности в период до 6 ч после упражнений или через 24, 48, 72 и 96 ч после нагрузки.

Упомянутая выше исследовательская группа из Великобритании [52] провела поиск опубликованных работ за период до 2017 г. по теме «Оценка преимуществ и недостатков приема пищевых добавок антиоксидантов и функциональной пищи, обогащенной антиоксидантами, в плане предотвращения и снижения выраженности и продолжительности болезненности скелетных мышц как результата физических нагрузок». Поиск проведен в самых авторитетных базах данных, включая «Cochrane Bone», «Cochrane Central Register of Controlled Trials», «MEDLINE», «Embase», «SPORTDiscus» и др., а также регистры клинических исследований, перечни ссылок на статьи и материалы проведенных конференций за изучаемый период времени. Отобраны рандомизированные и квази-рандомизированные контролируемые работы, посвященные всем формам пищевых добавок антиоксидантов (порошки, таблетки, концентраты) и функциональной пище с антиоксидантами, и направленные на изучение влияния этих продуктов на DOMS. Из исследования были исключены работы, где антиоксиданты комбинировались с другими пищевыми добавками. Точками анализа был DOMS и изменения его выраженности через 6, 24, 48, 72 и 96 ч после тренировочного занятия, а также субъективные показатели восстановления и побочные эффекты антиоксидантов в эти же временные промежутки. В результате для анализа было отобрано 50 рандомизированных плацебо-контролируемых исследований (РПКИ), 12 из которых использовали перекрестный дизайн исследования (РПКПИ). Параметры исследования отличались высокой гетерогенностью по времени (до или после тренировки), частоте приема и дозе антиоксидантов, продолжительности приема и классу пищевых добавок, типу предшествующих тренировок. Во всех работах использовались дозы

антиоксидантов выше рекомендованных суточных количеств. Критерий оценки доказательности был только один – пищевая добавка против плацебо, и в результате авторы пришли к заключению, что даже высокие дозы антиоксидантов имеют слабую (или среднюю) доказательную базу в клиническом плане относительно способности снижать DOMS во всем временном интервале ее развития (слабая клиническая эффективность). Не получено также доказательств улучшения субъективных ощущений восстановления после тренировок. Авторы считают, что необходимы дальнейшие, более детальные и структурированные исследования, включая те, что входят в наиболее авторитетную базу данных Cochrane.

Тем не менее, на наш взгляд, с учетом негативного влияния окислительного стресса на проницаемость клеточных и субклеточных мембран, что способствует выходу лизосомальных ферментов в экстрацеллюлярный матрикс при физических нагрузках [24]. Это показано и на другой модели [46] с последующим развитием отека как одного из факторов развития микроповреждений миофибрилл, что нельзя исключать из анализа. Этот фактор в имеющихся в современных базах данных анализу пока не подвергался.

Значение EIMD в формировании мышечной гипертрофии при физических нагрузках. В современных работах отмечается, что EIMD и DOMS возникают в результате выполнения непривычных или неадекватно интенсивных в данный момент времени (не соответствующих существующим адаптационным возможностям организма спортсмена) физических нагрузок, а их выраженность модулируется типом, интенсивностью и продолжительностью упражнений [55, 56]. Многие спортсмены и тренеры, к сожалению, продолжают считать DOMS хорошим индикатором эффективности тренировок и показателем будущего позитивного ремоделирования скелетной мускулатуры. Нужно отметить, что EIMD и DOMS тесно связаны как причина и следствие. Свой вклад в развитие EIMD вносят изометрические и концентрические упражнения, однако наибольшее значение в развитии мышечных повреждений имеют эксцентрические нагрузки.

Существует точка зрения, что такие нарушения структуры и функции мышечных клеток, связанные с воспалением и усилением метаболизма протеинов и носящие кратковременный характер (дни), могут способствовать адаптации мышц и их гипертрофии [14]. Ряд специалистов считает такую реакцию защитной, т.е. предохраняющей мышечные ткани от дальнейших повреждений. Другая точка зрения основывается на возможностях формирования гипертрофии мышц и без развития EIMD за счет использования протоколов тренировок с постепенным нарастанием интенсивности и длительности нагрузок [61], а EIMD и DOMS только препятствуют нормальному процессу развития мышц; однако, автором отмечается, что никакие плюсы развития EIMD не перевешивают его минусы. С практической

точки зрения важен факт отсутствия корреляционной зависимости между выраженностью EIMD и величиной гипертрофии мышечных волокон как при аэробных, так и анаэробных нагрузках различной интенсивности и продолжительности. Более того, высокий уровень EIMD, что совершенно очевидно, тормозит интенсификацию тренировочного процесса, замедляет восстановление и мешает дальнейшему росту физической и функциональной подготовленности. Поэтому существующие в настоящее время научные данные, по мнению одного из ведущих экспертов Международного общества спортивного питания (ISSN) B.J. Schoenfeld [55], показывают, что наиболее адекватными (т.е. «золотой серединой») будут такие протоколы физических нагрузок, которые вызывают умеренные микроповреждения мышц, что позволяет спортсменам восстанавливаться в более короткие сроки, поддерживать повышенный уровень синтеза мышечных протеинов и адаптироваться к нагрузкам. В то же время нельзя утверждать, что EIMD любой величины непосредственно способствует гипертрофии мышц (тому нет достаточных прямых доказательств). Точно так же доминирует скептическое отношение к DOMS как к предиктору роста мышечной массы, силы и мощности мышц. Для формирования более взвешенного и обоснованного суждения требуются дальнейшие исследования, в том числе, в группах нетренированных лиц, спортсменов-любителей и профессионалов [28].

Исходя из этого, в настоящее время направленность нутритивно-метаболической поддержки должна фокусироваться на предупреждении и снижении выраженности EIMD при одновременном анаболическом влиянии на синтез белка и ускорении восстановления.

В аналитическом обзоре R.J. Engels [20] проведен детальный анализ связи DOMS с особенностями биомеханики движений тренирующихся лиц, который может помочь в обосновании мероприятий по предупреждению и лечению EIMD и DOMS. Приведенные в работе данные отражают результаты исследований по данной проблеме за период с 1982 по 2015 г., на основании чего автор делает следующие выводы:

- даже самые сбалансированные и индивидуально адаптированные тренировочные программы не избавляют спортсменов от развития EIMD и DOMS, а только минимизируют их проявления. Особенно это касается начала подготовительного периода (втягивающий, втягивающе-развивающий, реже – базовый мезоциклы) и периода максимальных тренировочных нагрузок (этап непосредственной подготовки к соревнованиям, соревновательный период);

- DOMS может провоцировать снижение мышечной массы, точности движений, ограничивать диапазон подвижности суставов и субъективные ощущения, необходимые для контроля работы мышц и суставов; увеличивается риск неадекватности мышечных усилий, которые необходимы для достижения результата; формируются условия для возникновения травм;

- для предупреждения и минимизации проявлений DOMS, его отрицательного влияния на процесс подготовки и физическую форму атлетов, необходимо сочетание адекватных тренировочных программ, физических и нутритивных методов, специальных методов восстановления, взаимодействие тренеров, спортсменов и спортивных врачей.

Зато очень важными, с нашей точки зрения, в аспекте влияния на физические характеристики спортсменов оказались данные относительно позитивного воздействия креатина на окислительный стресс и маркеры воспаления после тяжелых упражнений, полученные в рандомизированном двойном-слепом плацебо-контролируемом исследовании, проведенном у 25 представителей игровых видов спорта в возрасте 20 лет [17]. Креатин применяли в таблетированном виде в суточной дозе $0,3 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ в течение 7 дней, как и плацебо. До и после 7 дней приема добавок атлеты выполнили два последовательных теста на анаэробный спринт (RAST), который состоял из шести 35-метровых спринтерских забегов на максимальной скорости с перерывом в 10 с между ними. Образцы крови отбирали непосредственно перед началом теста, сразу после и через 1 ч после завершения беговой спринтерской нагрузки. Авторы проанализировали средние, максимальные и минимальные значения мощности работы, которые были выше в группе с добавлением креатина по сравнению с плацебо ($p < 0,05$). Наблюдалось также значительное достоверное, по сравнению с данными в группе плацебо-контроля ($p < 0,05$), увеличение содержания в сыворотке крови показателей активности воспалительного процесса – фактора некроза опухоли (TNF- α) и С-реактивного протеина – в течение 1 ч после разовой спринтерской тренировки. Факторы как прооксидантного звена (содержание малонового диальдегида), так и антиоксидантной защиты (активность ферментов каталазы и супероксиддисмутазы), а также фермента, отображающего активность процессов энергообеспечения (лактатдегидрогеназы – ЛДГ), одновременно возрастали после физической нагрузки в обеих группах. Неферментативный антиоксидантный фактор – восстановленный глутатион в мембранах эритроцитов – был ниже после тренировочного занятия в обеих группах, что отображает формирование окислительного стресса вследствие интенсивных нагрузок и не корректируется креатином. Добавки креатина нивелировали увеличение содержания TNF- α и С-реактивного протеина, а также активности лактатдегидрогеназы, вызванные острой физической нагрузкой, но при этом авторы считают доказательным, что креатиновые пищевые добавки не ингибируют рост окислительных маркеров стресса. Кроме того, активность антиоксидантных ферментов не отличалась между группами, получавшими плацебо и креатин. На этом основании исследователи сделали заключение, что креатин при курсовом применении ингибировал увеличение содержания маркеров воспаления TNF- α и С-реактивного протеина, но не маркеров окислительного стресса, возникшего на фоне острых физических нагрузок [17].

С нашей точки зрения, несмотря на большую выборку работ и применение современных методов обработки данных, Кохрановский анализ, в частности, аналитической работы [53], имеет ряд существенных методологических и идеологических недостатков, ставящих под сомнение выводы и заключение.

1. Отсутствие дифференцированной оценки эффектов отдельно взятых антиоксидантов. Под термином «антиоксиданты» понимались любые пищевые добавки или функциональная пища, содержащие такие разные по клинико-фармакологическому спектру субстанции, как витамины С, Е, их комбинации; соки и экстракты различных ягод, зеленого чая; природные антиоксиданты растительного происхождения – куркумин, кверцетин, ресвератрол, астаксантин; N-ацетилцистеин и др. Каждый из этих продуктов имеет свой индивидуальный спектр клинико-фармакологического действия, условия применения, дозы и схемы назначения. Их объединение в общий анализ создает смешанную картину, не отражающую направленность и выраженность влияния на проявления DOMS. Ситуацию не улучшает и проведенный субгрупповой анализ, поскольку он свелся к противопоставлению пищевых добавок и функциональной пищи, а также типов тренировки – DOMS при обычной спортивной активности против тренировок в лабораторных условиях, тренировок с высокой интенсивностью и соответствующим $\dot{V}O_{2max}$ – против низкоинтенсивных тренировок.

2. Отсутствие привязки времени проведения исследований ко времени проведения тренировок (до, после или оба варианта), приема пищи, что некорректно с точки зрения теории и практики спортивной медицины.

3. Гетерогенность исследуемой группы лиц по возрасту (16–55 лет) и большие различия в выборке по полу (88,2 % мужчин и только 11,8 % женщин) требует в процессе анализа определенной дифференцировки, поскольку данные факторы имеют огромное значение для проявления эффектов любых пищевых добавок в спортивной и клинической медицине. Это многократно доказано в клинических исследованиях лекарственных препаратов и средств нутритивно-метаболической поддержки при различных заболеваниях и патологических состояниях. Возрастной фактор нутритивно-метаболической поддержки может определять не только количественные, но и качественные различия в эффектах лекарственных препаратов и пищевых добавок.

4. Положительной стороной анализа является включение такого фактора, как «предвзятость» («конфликт интересов»), связанного со многими обстоятельствами (связь с фирмами-производителями добавок, потенциальная заинтересованность в положительных результатах отдельных исследователей и др.). В то же время отсутствует такой важный фактор для оценки пищи и пищевых добавок, как дието-контролируемость исследований (например, приоритет работ с контролем изокалорийности, изонитрогенности регулярной диеты в

группах сравнения). Это отличает доказательные исследования в нутрициологии от аналогичных работ при изучении эффективности лекарственных препаратов. Качественный и количественный состав регулярной диеты оказывает существенное влияние на действие пищевых добавок.

И, наконец, в 2019 г. появилось несколько системных работ относительно профилактики и коррекции синдромов EIMD и DOMS, возникающих после нагрузок у спортсменов. Мы хотели бы остановить внимание читателей на исследовании профессора лаборатории и спортивного питания Школы медицинских наук Университета Линденвуд (Миссури, США) Patrick S. Harty и соавт., в котором на основании анализа данных литературы постулируется, что нутрициологические стратегии в этой ситуации были организованы в следующие разделы, основанные на источнике питательных веществ: фрукты и пищевые добавки; овощи и растительные добавки; травы и травяные добавки; аминокислоты и белковые добавки; витаминные добавки и другие добавки, включая и креатин [25].

В настоящее время не существует единой классификации средств нутритивно-метаболической поддержки тренировочного и соревновательного процессов спортсменов в плане предупреждения и снижения EIMD и DOMS. Основываясь на имеющемся большом массиве данных [8–10, 20, 25, 31, 36, 40, 48, 52, 55, 61], мы сформировали свой вариант классификации, базирующейся на максимально широком охвате реально применяемых групп веществ и их комбинаций, хотя и имеющих с позиций клинической медицины весьма разный уровень доказательности (от категории «А» до «В–С» и даже ниже). Перечень средств нутритивно-метаболического обеспечения для профилактики и коррекции синдромов микроповреждения мышц, с нашей точки зрения, должен выглядеть следующим образом:

- протеины (whey-протеины и их модификации, протеины яйца, рыбы, мяса, сои, гороха и риса);
- пептиды (L-аланил-L-глутамин);
- аминокислоты и их комбинации (с разветвленной цепью – ВСАА, глутамин, таурин);
- нутраболики (креатин, β -метокси- β -метилбутират – HMB);
- витамин D₃ и его комбинации.
- омега-3-полиненасыщенные жирные кислоты (эйкозапентаеновая+докозагексаеновая, или EPA+DHA);
- растительные пищевые добавки с противовоспалительной активностью;
- нестероидные противовоспалительные препараты – НПВП (по медицинским показаниям с целью снижения выраженных проявлений воспалительного процесса).

С нашей точки зрения, наиболее интересной и доказательной является уже цитированная выше обзорная работа известных спортивных нутрициологов из США [25], опубликованная в январе 2019 г. в журнале «Sport Medicine Open». Результаты исследования влияния пи-

щевых добавок на предупреждение и снижение EIMD в результате тренировок сведены ими в ряд таблиц, соответственно источникам получения этих пищевых до-

бавок. В нашей работе мы объединили приведенные таблицы и модифицировали их в одну (табл. 1) для удобства использования в практической работе.

ТАБЛИЦА 1 – Обзор влияния различных пищевых добавок на маркеры EIMD при физических нагрузках (по: [25]; в модификации авторов)

Нутриент	Механизм действия	Потенциальные преимущества	Рекомендуемые дозы и схемы
Фрукты и пищевые добавки из фруктов			
Ананас (бромелаин)	Противовоспалительный	↓DOMS, ↓INF, ↑MF	4,2 г бромелаина в день – 4 дня за 30 мин до тренировки или 5,8 г в день – 24 дня
Арбуз (цитруллин)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	Сок 500 мл (1,2–6 г цитруллина) – за 1 ч до тренировки
Вишня (антоцианины)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF, ↑MF	Концентрат 60 мл в день – 10 дней; сок 700 мл в день – 8 дней
Гранат (эллагитаннины)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	Сок 500–800 мл в день – 9–15 дней; концентрат 30 мл – 3 дня. За 1 ч до тренировки
Черная смородина (антоцианины)	Антиоксидантный	↓DMG	Сок, экстракт за 2 ч до и после тренировки – 4–8 дней по 400 мл (по 24 г экстракта)
Овощи и растения			
Свекла (беталаины)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	Концентрат 100 мг в день – 7 дней
Экстракт зеленых водорослей (астаксантин)	Антиоксидантный	↓DMG	Астаксантин 4 мг в день 25–90 дней
Травы и пищевые добавки из трав			
Анатабин	Противовоспалительный	NA	–
Женьшень (гинсенозиды)	Противовоспалительный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF, ↑MF	1,6 г в день – 4 недели; 4 г в день – за 1 ч до и после тренировки
Зеленый чай (полифенолы)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS	200 мл в день – 7 дней; экстракт 640 мг в день – 4 недели; полифенолы 1800–2000 мг в день – 2–13 недель
Имбирь (гингеролы, шогаолы)	Противовоспалительный	↓DOMS, ↑MF	2–4 г в день – 5–11 дней до и после тренировки
Куркумин (диферулоилметан)	Противовоспалительный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF, ↑MF	200–400 мг в день – 4–6 дней до и после тренировки
Родиола розовая (розавин и др.)	Антиоксидантный	↓DMG, ↓INF	Экстракт 60–600 мг в день – 36 дней
Филлантус горький (полифенолы)	Антиоксидантный	↓DOMS	200 мг до и 400 мг после тренировки
Белковые и аминокислотные добавки			
BCAA (лейцин, изолейцин, валин)	Усиление синтеза белка	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	200 мг·кг ⁻¹ в день – 10 дней
HMB	Усиление синтеза белка и интегративной функции клеточных мембран	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	3 г в день – 11–14 дней за 30 мин до и после тренировки
L-глутамин	Противовоспалительный	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	0,3–0,5 г · кг ⁻¹ в день – 3–7 дней
Креатин	Противовоспалительный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF, ↑MF	20 г в день – 5–7 дней; 6 г в день – 23 дня
Протеин	Усиление синтеза белка	↓DOMS, ↑MF	Соответственно режиму питания 4 раза в день 1,2–1,6 г · кг ⁻¹ в день
Таурин	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↑MF	0,1 г · кг ⁻¹ в день 3 дня; 6 г в день + 9,6 г в день BCAA – 17 дней
Добавки витаминов			
Витамины С и Е	Антиоксидантный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF, ↑MF	Противоречивые данные
Витамин D ₃	Антиоксидантный	↑MF	4000 МЕ в день – 30–35 дней
Полиненасыщенные жирные кислоты			
Омега-3 ПНЖК (EPA и DHA)	Антиоксидантный Противовоспалительный	↓DMG, ↓DOMS, ↓INF	0,54–3 г в день – 7–60 дней

Примечания: ↓DMG – нутриент снижает непрямые маркеры EIMD по сравнению с плацебо; ↓DOMS – нутриент снижает проявления DOMS по сравнению с плацебо; ↓INF – нутриент снижает маркеры воспаления по сравнению с плацебо; ↑MF – нутриент улучшает мышечные функции по сравнению с плацебо; NA – нет эффекта; HMB – β-гидрокси-β-метилбутират.

Ключевыми выводами работы P. S. Harty и соавт. [25] являются следующие:

1) EIMD, как правило, снижает физическую подготовленность, вызывает боль и болезненность мышц, снижает качество тренировочных занятий;

2) многочисленные метаболические факторы замедляют восстановление между отдельными тренировочными занятиями и требуют хорошо продуманной стратегии питания, применения функциональной пищи и пищевых добавок для ускорения восстановления;

3) за прошедшие годы апробирован целый ряд стратегий (нутритивно-метаболическая поддержка) с очень разными результатами;

4) имеются начальные доказательства положительного влияния долгосрочного применения пищи, обогащенной антиоксидантами (гранатового, свекольного, арбузного и вишневого соков), на EIMD;

5) снижение EIMD может быть достигнуто при длительном приеме ряда пищевых добавок: креатина, омега-3 ПНЖК и витамина D₃, причем в разных возрастных группах тренирующихся;

6) перспективными представляются дальнейшие исследования таких природных источников пищевых добавок, как протеолитические ферменты (протеазы) бромелаин и папаин, имбирь, женьшень, куркума (куркумин и его производные), таурин, НМВ (β -гидрокси- β -метилбутират) и кофеин.

Результаты исследования отдельных средств нутритивно-метаболической поддержки процесса подготовки спортсменов в аспекте профилактики и снижения выраженности EIMD и DOMS.

Фармаконутриенты и полифенолы. В обзоре J. Kim и соавт. [31] приведена таблица по результатам ряда исследований влияния кофеина, омега-3 ПНЖК, таурина и полифенолов на DOMS у активно тренирующихся лиц (табл. 2).

Защитное действие *кофеина* в отношении DOMS связывают с блокадой рецепторов аденозина и снижением влияния ЦНС. Курсовой прием кофеина в дозе 5 мг \cdot кг⁻¹ за 1 ч до и через 24 ч после нагрузки в течение четырех дней ослабляет проявления DOMS на 2-е и 3-и сутки после нагрузки как у мужчин, так и у женщин-спортсменок.

Омега-3 ПНЖК рыбного жира (EPA+DHA), как видно из данных таблицы 2, обладают отчетливым противовоспалительным действием, и в клинических исследованиях снижают частоту развития и проявления EIMD и DOMS в ответ на физические нагрузки. При курсовом назначении омега-3 ПНЖК в диапазоне доз 1,8–3 г в день в течение 7–30 дней снижаются концентрации таких провоспалительных факторов, как интерлейкин IL-6, простагландин E₂, фактор некроза опухоли- α и С-реактивный белок после эксцентрических упражнений, что приводит к уменьшению частоты развития и снижению выраженности проявлений EIMD и DOMS.

Полифенолы, которым присуще антиоксидантное и противовоспалительное действие за счет антоцианинов

и флавоноидов, стабилизируют клеточные мембраны, снижают интенсивность перекисного окисления липидов и повышают устойчивость клеток скелетных мышц к повреждающим воздействиям различной модальности, включая эксцентрические физические нагрузки. На сегодняшний день одним из перспективных направлений профилактики и/или снижения выраженности DOMS считается использование гранатового сока и экстракта, например, 250 мл гранатового сока 2 раза в день в течение 15 дней, или вишневого сока 355 мл 2 раза в день в течение 8 дней.

Куркумин и куркуминоиды. Ряд исследователей считают куркумин веществом, сходным по механизму действия с нестероидными противовоспалительными средствами (НПВС, NSAIDs – от англ. *nonsteroid anti-inflammatory drugs*). Противовоспалительные свойства куркумина связаны со снижением активности циклооксигеназы и уровней свободных радикалов [40]. Данные клинических исследований влияния куркумина на DOMS противоречивы – имеются аргументы как «*pro*» [45, 58], так и «*contra*» [19, 57], хотя в пилотном исследовании F. Drobnic и соавт. [19] также отмечена тенденция к снижению клинико-биохимических проявлений отсроченной мышечной болезненности на фоне применения куркумина: меньший уровень маркеров воспаления и выраженность DOMS. Экспериментальные и клинические исследования подтверждают способность куркумина снижать уровень маркеров мышечных повреждений и другие биохимические показатели воспаления [44]. Авторы сделали заключение о клинической способности куркумина оказывать антиоксидантное, противовоспалительное и анальгетическое действие в отношении EIMD и DOMS.

Биологические активные вещества и пищевые добавки на основе вишневого сока. Согласно данным литературы, дозировка вишневого сока для ускорения восстановления спортсменов составляет 250–350 мл (или 30 мл концентрата) 2 раза в день в течение 4–5 дней до и 2–3 дня после нагрузки [15]. Направленность изменений воспалительного ответа и болезненности мышц примерно такая же, что и при применении куркумина. Активными веществами ягод вишни являются мелатонин, каротиноиды и флавоноиды, включая антоцианины, а также флавонол кверцетин. После приема внутрь максимальная концентрация активных веществ в плазме крови (например, антоцианинов и фенолов) наблюдается через 1–2 ч. Эффективность вишневого сока (30 мл концентрата, растворенного в 100 мл воды при приеме два раза в день утром и вечером, 4 дня до и 3 дня после нагрузки) в спортивной нутрициологии в течение 2013–2016 гг. системно исследовалась в лаборатории P. G. Bell и соавт. [2–6]. Результаты серии исследований с высоким уровнем доказательности «А» (РДСПКИ) показали снижение содержания в крови воспалительных интерлейкинов С-реактивного белка под влиянием пищевых добавок на основе сока вишни, по сравнению с

ТАБЛИЦА 2 – Влияние некоторых фармаконутриентов и полифенолов на развитие DOMS у активно тренирующихся лиц (по: [31]; в модификации авторов)

Пищевая добавка	Автор	Контингент	Тренировка	Дозы пищевых добавок и время	Основные результаты
Фармаконутриенты					
Кофеин	Maridakis et al., 2007	Девушки-студентки (n = 9)	Эксцентрические упражнения (квадрицепсы) × 64	5 мг · кг ⁻¹ в день – 24 и 48 ч после нагрузки	↓DOMS = MVC
	Hurley et al., 2013	Тренированные мужчины (n = 9)	Эксцентрические упражнения (бицепсы) 4 × 10	5 мг · кг ⁻¹ в день, за 1 ч до и 4 дня после нагрузки	↓DOMS = CK ↑ число повторов
Омега-3 ПНЖК	Lenn et al., 2002	Здоровые мужчины (n = 13) и женщины (n = 9)	Эксцентрические упражнения (бицепсы) × 50	1,8 г · кг ⁻¹ в день – 30 дней до нагрузки	= DOMS = сила = RANG = окружность = CK = Cortisol = MDA = IL-6 = TNF-α = Iron
	Tartibian et al., 2009	Здоровые мужчины (n = 27)	40-минутный «bench stepping»	1,8 г · кг ⁻¹ в день, 30 дней до нагрузки и в течение 48 ч после	↓DOMS ↑ROM ↓толщина окружности
	Tartibian et al., 2011	Нетренированные мужчины (n = 45)	40-минутный «bench stepping»	1,8 г · кг ⁻¹ в день, 30 дней до нагрузки и в течение 48 ч после	↓CK↓Mb↓LDH ↓PGE2↓IL-6 ↓TNF-α
	Jouris et al., 2011	Здоровые мужчины (n = 3) и женщины (n = 8)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) до усталости × 2	3 г в день 7 дней перед нагрузкой	↓DOMS↓окружности руки Нет изменений температуры кожи
	Lembke et al., 2014	Здоровые мужчины и женщины (n = 69)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) 2 × 30	2,7 г в день 30 дней перед нагрузкой	↓DOMS = CK ↓CRP↓Lactate ↑QOL↑POMS
	Gray et al., 2014	Здоровые мужчины (n = 20)	Эксцентрические сгибания–разгибания в коленном суставе × 200	3 г в день 6 недель перед нагрузкой	= DOMS = MVC= CK = Протеинкарбонил = повреждения ДНК ↓T-bars
Таурин	Ra et al., 2013	Нетренированные мужчины (n = 36)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) 6 × 5	2 г таурина +3,2 г BCAA 3 раза в день – 2 нед. до и 4 дня после нагрузки	↓DOMS ↓окружность руки = CK ↓LDH↓альдолаза↓ 8-OHdG
	da Silva et al., 2014	Здоровые мужчины (n = 21)	Эксцентрические сгибания–разгибания до усталости (бицепсы) × 3	50 мг · кг ⁻¹ в день, 14 дней до и 7 дней после нагрузки	↓DOMS↑MVC ↓LDH↓CK ↓Протеин карб. = SOD = каталаза = GPx = IL-1β = IL-10 = TNF-α
Полифенолы					
Вишневый сок	Connolly et al., 2006	Мужчины-студенты (n = 14)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) 2 × 20	355 мл 2 раза в день 4 дня до и 4 дня после нагрузки	↓DOMS↑MVC = болезненность мышц = RANG
Гранатовый сок	Trombold et al., 2011	Физически активные мужчины (n = 17)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) 3 × 20 Эксцентрические сгибания–разгибания в коленном суставе 6 × 10	250 мл 2 раза в день 7 дней до и 8 дней после нагрузки	↓DOMS (руки) = DOMS (ноги) ↑MVC (руки) = MVC (ноги)
Черника	McLeay et al., 2012	Здоровые женщины (n = 10)	Эксцентрические сгибания–разгибания в коленном суставе 3 × 100	200 г в день за 5 и 10 ч до, затем через 12 и 36 ч после нагрузки	= DOMS ↑Пик изометрического напряжения = ROS-генерирующий потенциал = Протеин карбонил ↑Антиоксидантная способность = IL-6 = CK
Эллаги-таннины	Trombold et al., 2010	Физически активные мужчины (n = 16)	Эксцентрические сгибания–разгибания (бицепсы) 2 × 20	500 мл 2 р в день 4 дня до и 5 дней после нагрузки	↓DOMS (только 2 ч после нагрузки) ↑MVC = CK = Mb = IL-6 = CRP

Примечания: знак равенства (=) обозначает отсутствие достоверных изменений; ↓ – достоверное снижение ответа на нагрузку; ↑ – достоверное увеличение ответа; TNF-β – фактор некроза опухоли-альфа; PGE2 – простагландин E2; CRP – С-реактивный белок; GPx – глутатион пероксидаза; 8-OHdG – 8-гидрокси-деокси-гуанозин; T-bars – реактивные субстанции тиобарбитуровой кислоты; DOMS – отсроченная болезненность скелетных мышц; SOD – супероксиддисмутаза; MDA – малоновый диальдегид; QOL – качество жизни; POMS – профиль самочувствия по данным анкетирования; MVC – максимальное изометрическое произвольное сокращение; CK – креатин-киназа; LDH – лактатдегидрогеназа; Mb – миоглобин; ROM – диапазон активного движения; RANG – угол расслабленной конечности; «bench stepping» – упражнение подъема на скамейку и обратно.

плацебо, что совпадает с данными других исследователей [32, 35]. Также отмечается снижение выраженности DOMS, повышение числа максимальных произвольных мышечных сокращений и их экономичности у хорошо тренированных представителей циклических и игровых видов спорта в ответ на длительную нагрузку.

В целом влияние эффективности вишневого сока на поддержание энергетического баланса клеток, а также профилактики развития EIMD и DOMS можно сформулировать следующим образом:

1) необходимость превентивного и сопровождающего приема (несколько дней до и после нагрузки);

2) курсовое применение может способствовать накоплению активных веществ в организме и приводить к кумуляции физиологического и фармакологического действия;

3) в целом использование куркумина и добавок вишневого сока представляется целесообразным в условиях коротких промежутков времени между соревнованиями, когда процесс восстановления более важен, чем адаптивная реакция мышц;

4) в основе профилактического действия вишневого сока лежит торможение второго этапа EIMD – воспалительной реакции, что сопровождается снижением болезненности мышц и улучшением биохимизма процессов восстановления [9].

Whey-протеины и BCAA. EIMD ассоциируется с разрушением белков поврежденных нагрузкой мышечных тканей (катаболизм). Для быстрого восстановления необходимо, чтобы синтез мышечных белков (muscle protein synthesis) превышал по скорости их распад (muscle protein breakdown). Сделать это можно только за счет экзогенного поступления протеинов, пептидов и аминокислот пищи для смещения баланса в сторону активизации синтетических процессов. Отмечено, что наиболее эффективным средством восстановления после интенсивных нагрузочных повреждающих тренировок (вызывающих EIMD) являются гидролизаты whey-протеинов за счет образования в процессе производства пептидов с разной длиной цепи и аминокислот [8]. Показана способность whey-протеинов улучшать биохимические и функциональные параметры восстановления после повреждающих нагрузок. Автор этого исследования М. А. Brown делает очень важный с практической точки зрения вывод, что, кроме обеспечения доступным источником аминокислот, необходимо сопровождать данный процесс достаточным количеством энергии для последующего синтеза эндогенного белка.

В целом стратегия нутритивно-метаболической поддержки при EIMD и DOMS, основанная на приеме аминокислот с разветвленной цепью (BCAA), может быть относительно эффективной при следующих условиях: доза BCAA не менее 200 мг · кг⁻¹ в день; продолжительность приема более 10 дней; начало приема – не менее чем за 7 дней до физической повреждающей нагрузки. Эта схема может помочь предотвращению снижения мышеч-

ной силы не менее чем на 15 %. Насколько реалистична на практике такая схема, и имеет ли она преимущества перед другими средствами нутритивно-метаболической поддержки при EIMD и DOMS, покажут дальнейшие исследования, однако, с точки зрения авторов, имеет смысл изучение комбинации BCAA с другими пищевыми добавками этой группы, например, с таурином и другими аминокислотами, способными потенцировать эффект BCAA [22]. Кроме того, более эффективен курсовый прием BCAA перед тренировочными занятиями длительностью не менее 7–10 дней, что оказывает более благоприятное действие на ослабление выраженности проявлений DOMS и EIMD, вызванных эксцентрическими упражнениями, чем схема приема BCAA после тренировочных нагрузок [50, 51].

Консенсус МОК-2018 (IOC Consensus-2018) по пищевым добавкам, способствующим профилактике и лечению EIMD и DOMS. Эта группа пищевых добавок включена в Консенсус МОК под общим названием «Пищевые добавки, помогающие повышению физической работоспособности, восстановлению, снижению болезненности и травматизации мышц» [38]. Среди них выделяется фармаконутриент креатин (в виде креатинмоногидрата), который повышает адаптивный ответ на физические нагрузки за счет фактора роста/экспрессии генов и содержания внутриклеточной воды. Креатинмоногидрат редуцирует симптомы мышечных повреждений, в частности DOMS, ускоряет восстановление и рекомендуется для приема по стандартной схеме: 20 г в день в течение 5 дней с последующим приемом 5 г в день курсами длительностью 20–30 дней вместе с потреблением протеинов.

Омега-3 ПНЖК рыбного жира за счет своего противовоспалительного действия могут снижать выраженность EIMD и DOMS и ускорять восстановление, но этот предварительный вывод, с точки зрения МОК, требует дальнейших исследований. Рекомендуемая доза – до 2 г (EPA+DHA суммарно) в день – у высококвалифицированных спортсменов может быть увеличена, но при этом следует учитывать возможность развития побочных эффектов, поэтому программу нутритивно-метаболической поддержки стоит апробировать задолго до главных стартов сезона.

Прием куркумина в дозе 5 г в день или его современных форм с повышенной биодоступностью, а также различных вариантов вишневого сока (Tart cherries – *Prunus cerasus* L.) в дозе 250–350 мл (30 мл концентрата) 2 раза в день в течение 4–5 дней перед началом этапов тренировочного процесса или соревнованием и 2–3 дней после них, снижают симптомы EIMD / DOMS и ускоряют процесс восстановления. Патологический механизм действия этих пищевых добавок заключается в снижении уровней провоспалительных цитокинов (интерлейкина IL-6 и IL-10, TNF-α, простагландин F, лейкотриены, циклоксигеназа-2) и/или опосредованном влиянии на процесс воспаления.

Пищевые добавки витамина D₃ показаны при наличии недостаточности или дефицита в организме, и это снижает выраженность EIMD и DOMS. Рекомендуемая спортсменам доза в этих случаях составляет 800 МЕ витамина D₃ в день в сочетании с 2 г кальция (Ca²⁺) в виде пищевых добавок. Эффективность β-гидрокси-β-метилбутирата (HMB) в плане регуляции EIMD и DOMS оценивается экспертами МОК скептически, поскольку не имеет клинических доказательств.

В русле данного Консенсуса МОК-2018 сформированы «Методические рекомендации по предупреждению и снижению выраженности DOMS и ускорения восстановления после нагрузок» в ряде стран-участниц выработки Консенсуса. Так, в опубликованной в США работе «Пищевые добавки для улучшения здоровья, адаптации и восстановления у атлетов», также отмечаются как эффективные такие пищевые добавки, как креатин, омега-3 ПНЖК рыбного жира, витамин D₃ при условии его недостаточности или дефицита, куркумин, вишневым сок и его экстракт [54].

Таким образом, на сегодня сформирован вполне доказательный перечень нутрициологических средств, рекомендованных для применения с целью профилактики и коррекции проявлений синдромов микроповреждений мышц – EIMD и DOMS, что может стать залогом улучшения параметров физической подготовленности спортсменов с последующим улучшением результатов тренировочной и соревновательной деятельности, прежде всего, в спорте высших достижений.

Заключение. К сожалению, на постсоветском пространстве не только работ, посвященных изучению синдромов EIMD и DOMS было крайне мало, но и само упоминание данных синдромов до последнего времени вызывало недоумение, что и не позволяло отечественным специалистам всесторонне обоснованно формировать программу нутритивно-метаболической поддержки ускорения восстановления и стимуляции работоспособности с учетом влияния микроповреждений мышц и отсроченной мышечной болезненности. Расхожее мнение о «крепатуре» как показателе «хорошей» предшествующей тренировки, к счастью, все же, хотя и медленно, сменялось пониманием того, что в организме спортсмена происходят какие-либо негативные перестройки, требующие, в свою очередь, как уточнения плана тренировочных занятий и оптимизации насыщения спортсмена необходимыми ему макро- и микронутриентами, так и включения внутрициологических средств ускорения восстановительных процессов (вибрационные платформы, пульсирующее электростатическое поле и др.).

В зарубежных источниках литературы и базах данных все больше появляется публикаций, охватывающих разные стороны механизма формирования синдромов EIMD и DOMS, однако, пока к единому суждению иссле-

дователи не пришли, и идет процесс накопления данных. Однако точно установлено, что собственно накопление лактата после нагрузок, особенно эксцентрического характера, не является первопричиной развития мышечного утомления. С нашей точки зрения, лактат скорее выступает триггерным (пусковым) механизмом дальнейших последовательных гомеостатических перестроек, приводящих к немедленным микроповреждениям скелетных мышц и воспалению, а затем и формированию синдрома отсроченной мышечной болезненности, являющегося одним из важных факторов утомления спортсменов. Следует думать, что процесс постнагрузочного ремоделирования скелетной мускулатуры (и, соответственно, развития двигательных качеств) в динамике тренировочного процесса адекватно протекает в том случае, если гомеостатические перестройки не выходят за рамки индивидуальных адаптационных возможностей организма спортсмена.

С учетом накопленных на сегодня знаний о механизмах развития синдромов микроповреждения миофибрилл и позиции МОК (Консенсус МОК-2018 по применению пищевых добавок элитными спортсменами), средствами профилактики и коррекции проявлений DOMS могут выступать полноценное индивидуализированное питание спортсмена; достаточное количество в рационе и виде пищевых добавок микронутриентов – витаминов, особенно витамина D₃ в сочетании с ионами кальция; полиненасыщенные омега-3-жирные кислоты, растительные антиоксиданты – полифенолы куркумы, вишневого сока и др.), а также весь комплекс воздействий (включая фармакологические и психологические), направленных на снижение выраженности постнагрузочного стресса. Углубленный и динамичный лабораторный мониторинг должен играть в этом процессе первостепенную роль, поскольку в данном случае показатели сыворотки крови (содержание кортизола и тестостерона; маркеров воспаления – фактор некроза опухоли α, С-реактивный белок; активность и содержание антиоксидантов ферментативного и неферментативного характера; уровень провоспалительных интерлейкинов, брадикинина и простагландина F₂; активность маркерных ферментов – аспартат- и аланинаминотрансферазы, гамма-глутамилтранспептидаза, лактатдегидрогеназа, креатинфосфокиназа; и др.) хорошо коррелируют с выраженностью клинических проявлений микроповреждения миофибрилл. Понимая, как именно конкретный спортсмен отвечает на те или иные виды нагрузки, а также на ее объем и интенсивность, тренер может осознанно управлять тренировочным процессом, а спортивный нутрициолог – выстраивать индивидуализированную программу профилактики и коррекции утомления, что станет залогом дальнейшего роста общей и специальной работоспособности и, соответственно, соревновательного результата.

Литература

- Armstrong RB. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16(6):529-38.
- Bell PG, Gaze DC, Davison GW, et al. Montmorency tart cherry (*Prunus cerasus* L.) concentrate lowers uric acid, independent of plasma cyanidin-3-Oglucosiderutinoid. *J Funct Foods.* 2014;11:82-90.
- Bell PG, McHugh MP, Stevenson E, Howatson G. The role of cherries in exercise and health. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2013;24(3):477-90. doi:10.1111/sms.12085.
- Bell PG, Stevenson E, Davison GW, Howatson G. The Effects of Montmorency Tart Cherry Concentrate Supplementation on Recovery Following Prolonged, Intermittent Exercise. *Nutrients.* 2016;8(7):pii:E441. doi:10.3390/nu8070441.
- Bell PG, Walshe IH, Davison GW, et al. Montmorency Cherries Reduce the Oxidative Stress and Inflammatory Responses to Repeated Days High-Intensity Stochastic Cycling. *Nutrients.* 2014;6(2):829-43.
- Bell PG, Walshe IH, Davison GW, et al. Recovery facilitation with Montmorency cherries following high-intensity, metabolically challenging exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(4):414-23. doi:10.1139/apnm-2014-0244.
- Bouzid M. et al. Faster physical performance recovery with cold water immersion is not related to lower muscle damage level in professional soccer players. *J Therm. Biol.* 2018;78:184-191. doi:10.1016/j.jtherbio.2018.10.001.
- Brown MA. Energy balance, exercise-induced muscle damage, and the efficacy of nutritional interventions on recovery in female dancers. *Doctoral thesis*, Northumbria University Newcastle, 2017. Research undertaken in the Department of Sport, Exercise and Rehabilitation.
- Close GL, Ashton T, McArdle A, Maclaren DP. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2005;142(3):257-66. doi:10.1016/j.cbpa.2005.08.005.
- Connolly DAJ, McHugh MP, Padilla-Zakour OI. Efficacy of tart cherry juice blend in preventing the symptoms of muscle damage. *Brit J Sports Med.* 2006;40(8):679-83. doi:10.1136/bjism.2005.025429.
- Contro V, Mancuso EP, Proia P. Delayed onset muscle soreness (DOMS) management: present state of the art. *Trends in Sport Sciences.* 2016;3(23):121-27.
- Coudreuse JM, Dupont P, Nicol C. [Delayed post effort muscle soreness]. *Ann Readapt Med Phys.* 2004;47(6):290-98. [Article in French]. doi:10.1016/j.annrmp.2004.05.012.
- da Silva LA, Tromm CB, Bom KF, et al. Effects of taurine supplementation following eccentric exercise in young adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39:101-4. doi:10.1139/apnm-2012-0229.
- da Silva Vasconcelos E, Salla RF. Resistance exercise, muscle damage and inflammatory response «what doesn't kill you makes you stronger». *MOJ Sports Medicine.* 2018;2(2):65-7.
- De Lima LCR, de Oliveira Assumpção C, Prestes J, Denadai BS. Consumption of cherries as a strategy to attenuate exercise-induced muscle damage and inflammation in humans. *Nutr Hosp.* 2015;32(5):1885-93. doi:10.3305/nh.2015.32.5.9709.
- de Oliveira DCX, Rosa FT, Simões-Ambrósio L et al. Antioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. *Nutrition.* 2019;63-64:29-35. doi:10.1016/j.nut.2019.01.007.
- Deminice R, Rosa FT, Franco GS, et al. Effects of creatine supplementation on oxidative stress and inflammatory markers after repeated-sprint exercise in humans. *Nutrition.* 2013;29(9):1127-132. doi:10.1016/j.nut.2013.03.003.
- Diaz E, Ruiz F, Hoyos I, et al. Cell damage, antioxidant status, and cortisol levels related to nutrition in ski mountaineering during a two-day race. *J Sports Sci Med.* 2010;9(2):338-46. eCollection 2010.
- Drobnic F, Riera J, Appendino G, et al. Reduction of delayed onset muscle soreness by a novel curcumin delivery system (Meriva®): a randomised, placebo-controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2014;11:31. doi:10.1186/1550-2783-11-31.
- Engels RJ. The Effect of Delayed Onset Muscle Soreness on Jumping Mechanics and Performance, 2017. *Theses and Dissertations.* 1717. <http://openprairie.sdstate.edu/etd/1717>.
- Fonseca LB, Brito CJ, Silva RJ, et al. Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes. *J Athl Train.* doi:10.4085/1062-6050-51.9.01.
- Fouré A, Bendahan D. Is Branched-Chain Amino Acids Supplementation an Efficient Nutritional Strategy to Alleviate Skeletal Muscle Damage? A Systematic Review. *Nutrients.* 2017;9:1047. doi:10.3390/nu9101047.
- Gray P, Chappell A, Jenkinson AM, et al. Fish oil supplementation reduces markers of oxidative stress but not muscle soreness after eccentric exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24:206-14. doi:10.1123/ijnsnem.2013-0081.
- Gunina L. Implementation of the ergogenic action of antioxidative agents. *Sporto Mokslas.* 2015;3(81):2-10. doi:10.15823/sm.2015.12.
- Harty PS, Cottet M, Malloy JK, Kerkick CM. Nutritional and Supplementation Strategies to Prevent and Attenuate Exercise-Induced Muscle Damage: a Brief Review. *Sports Med Open.* 2019;5:1. doi.org/10.1186/s40798-018-0176-6.
- Hotfiel T, Mayer I, Huettel M, et al. Accelerating Recovery from Exercise-Induced Muscle Injuries in Triathletes: Considerations for Olympic Distance Races. *Sports (Basel).* 2019;7(6):pii: E143. doi: 10.3390/sports7060143.
- Hurley CF, Hatfield DL, Riebe DA. The effect of caffeine ingestion on delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2013;27(11):3101-3109. doi:10.1519/JSC.0b013e3182a99477.
- Ide BN. Muscle Damage and Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Biochem Pharmacol Open Access.* 2012;1:5. doi:10.4172/2167-0501.1000e124.
- Jouris KB, McDaniel JL, Weiss EP. The Effect of Omega-3 Fatty Acid Supplementation on the Inflammatory Response to eccentric strength exercise. *J Sports Sci Med.* 2011;10(3):432-8. eCollection 2011.
- Kanda K, Sugama K, Hayashida H, et al. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exerc Immunol Rev.* 2013;19:72-85.
- Kim J, Lee J. A review of nutritional intervention on delayed onset muscle soreness. Part I. *J Exerc Rehab.* 2014;10(6):349-56. <http://dx.doi.org/10.12965/jer.140179>.
- Kuehl KS, Perrier ET, Elliot DL, Chesnutt JC. Efficacy of tart cherry juice in reducing muscle pain during running: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;17:17. doi:10.1186/1550-2783-7-17.
- Lembke P, Capodice J, Hebert K, Swenson T. Influence of omega-3 (n3) index on performance and wellbeing in young adults after heavy eccentric exercise. *J Sports Sci Med.* 2014;13(1):51-156. eCollection 2014.
- Lenn J, Uhl T, Mattacola C, et al. The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(10):1605-13. doi:10.1249/01.mss.0000031099.08661.90.
- Levers K, Dalton R, Galvan E, et al. Powdered tart cherry supplementation surrounding a single bout of intense resistance exercise demonstrates potential attenuation of recovery strength decrement with no definitive oxidative or inflammatory effect. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12(Suppl.1): 25-P25.
- Malaguti M, Angeloni C, Hrelia S. Polyphenols in Exercise Performance and Prevention of Exercise-Induced Muscle Damage. *Oxid Med Cell Longev.* 2013;2013:825928. doi:10.1155/2013/825928.
- Maridakis V, O'Connor PJ, Dudley GA, McCully KK. Caffeine attenuates delayed-onset muscle pain and force loss following eccentric exercise. *J Pain.* 2007;8:237-43. doi:10.1016/j.jpain.2006.08.006.
- Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, et al. (total 25 authors). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018;52(7):439-55. doi:10.1136/bjsports-2018-099027.
- McLeay Y, Barnes MJ, Mundel T, et al. Effect of New Zealand blueberry consumption on recovery from eccentric exercise-induced muscle damage. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):19. doi:10.1186/1550-2783-9-19.
- Meamarbashi A. Herbs and natural supplements in the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. *Avicenna J Phytomed.* 2017;7(1):16-26.
- Menzies P, Menzies C, McIntyre L, et al. Blood lactate clearance during active recovery after an intense running bout depends on the intensity of the active recovery. *J Sports Sci.* 2010;28(9):975-82. doi:10.1080/02640414.2010.481721.
- Mizumura K, Taguchi T. Delayed onset muscle soreness: Involvement of neurotrophic factors. *J Physiol Sci.* 2016;66(1):43-52.
- Murase S, Terazawa E, Queme F, et al. Bradykinin and nerve growth factor play pivotal roles in muscular mechanical hyperalgesia after exercise (delayed-onset muscle

- soreness). *J Neurosci.* 2010;30(10):3752–61. doi:10.1523/JNEUROSCI.3803-09.2010.
44. Nakhostin-Roohi B, Moradlou AN, Hamidabad SM, Ghanivand B. The Effect of Curcumin Supplementation on Selected Markers of Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS). *Ann Appl Sport Sci.* 2016;4(2):25–31. doi:10.18869/acadpub.aassjournal.4.2.25.
45. Nicol L, Rowlands D, Fazakerly R, Kellett J. Curcumin supplementation likely attenuates delayed onset muscle soreness (DOMS). *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(8):1769–77. doi:10.1007/s00421-015-3152-6.
46. Oku Y, Murakami K, Irie K, et al. Synthesized A β 42 Caused Intracellular Oxidative Damage, Leading to Cell Death, via Lysosome Rupture. *Cell Struct Funct.* 2017;42(1):71–9. doi:10.1247/csf.17006.
47. Ota H, Katanosaka K, Murase S, Furuyashiki T, Narumiya S, Mizumura K. EP2 receptor plays pivotal roles in generating mechanical hyperalgesia after lengthening contractions. *Scand J Med Sci Sports.* 2018; 28(3): 826–33. doi: 10.1111/sms.12954.
48. Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol.* (1985). 2017;122(3):559–70. doi:10.1152/jappphysiol.00971.2016.
49. Pearcey GE, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto JE, et al. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train.* 2015; 50(1):5–13. doi:10.4085/1062-6050-50.1.01.
50. Ra SG, Miyazaki T, Kojima R, et al. Effect of BCAA supplement timing on exercise-induced muscle soreness and damage: A pilot placebo-controlled double-blind study. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(11):1582–91. doi:10.23736/S0022-4707.17.07638-1.
51. Ra SG, Miyazaki T, Ishikura K, et al. Combined effect of branched-chain amino acids and taurine supplementation on delayed onset muscle soreness and muscle damage in high-intensity eccentric exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10(1):51. doi:10.1186/1550-2783-10-51.
52. Ranchordas MK, Tiller NB, Ramchandani G, et al. Normative data on regional sweat-sodium concentrations of professional male team-sport athletes. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14:40. doi:10.1186/s12970-017-0197-4. eCollection 2017.
53. Ranchordas MK, Rogerson D, Soltani H, Costello JT. Antioxidants for preventing and reducing muscle soreness after exercise: a Cochrane systematic review. *Br J Sports Med.* 2018;Jul 27:pil:bjjsports-2018-099599. doi:10.1136/bjjsports-2018-099599.
54. Rawson ES, Miles MP, Larson-Meyer DE. Dietary Supplements for Health, Adaptation, and Recovery in Athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018;28(2):188–99. doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0340.
55. Schoenfeld B.J. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res.* 2012;26(5):1441–53. doi:10.1519/JSC.0b013e31824f207e.
56. Schoenfeld BJ, Contreras B. Is Postexercise Muscle Soreness a Valid Indicator of Muscular Adaptations? *Strength Cond J.* 2013;35(Iss.5):16–21. doi:10.1519/SSC.0b013e3182a61820.
57. Sciberras JN, Galloway SD, Fenech A, et al. The effect of turmeric (Curcumin) supplementation on cytokine and inflammatory marker responses following 2 hours of endurance cycling. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12(1):5. doi:10.1186/s12970-014-0066-3.
58. Tanabe Y, Maeda S, Akazawa N, et al. Attenuation of indirect markers of eccentric exercise-induced muscle damage by curcumin. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(9):1949–57. doi:10.1007/s00421-015-3170-4.
59. Tartibian B, Maleki BH, Abbasi A. Omega-3 fatty acids supplementation attenuates inflammatory markers after eccentric exercise in untrained men. *Clin J Sport Med.* 2011;21(2):131–7. doi:10.1097/JSM.0b013e31820f8c2f.
60. Tartibian B, Maleki BH, Abbasi A. The effects of ingestion of omega-3 fatty acids on perceived pain and external symptoms of delayed onset muscle soreness in untrained men. *Clin J Sport Med.* 2009;19(2):115–19. doi:10.1097/JSM.0b013e31819b51b3.
61. Thiebaud RS. Exercise-Induced Muscle Damage: Is it detrimental or beneficial? *J Trainology.* 2012;1(2):36–44. https://doi.org/10.17338/trainology.1.2_36.
62. Trombold JR, Reinfeld AS, Casler JR, Coyle EF. The effect of pomegranate juice supplementation on strength and soreness after eccentric exercise. *J Strength Cond Res.* 2011;25(7):1782–88. doi:10.1519/JSC.0b013e318220d992.
63. Trombold JR, Barnes JN, Critchley L, Coyle EF. Ellagitannin consumption improves strength recovery 2–3 d after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(3):493–38. doi:10.1249/MSS.0b013e3181b64edd.
64. Veqar Z, Imtiaz S. Vibration Therapy in Management of Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS). *J Clin Diagn Res.* 2014;8(6):LE01–LE04. doi:10.7860/JCDR/2014/7323.4434.

Автор для корреспонденции:

Гунина Лариса Михайловна — д-р биол. наук, Учебно-научный олимпийский институт Национального университета физического воспитания и спорта Украины; Украина, 03150, Киев, ул. Физкультуры, 1; <http://orcid.org/0000-0003-2107-0983> gunina.sport@gmail.com

Corresponding author:

Gunina Larisa — Dr. Sci. in Biology, Olympic Education and Research Institute National University of Ukraine on Physical Education and Sports; Ukraine, 03150, Kyiv, 1, Fizkultury Str.; <http://orcid.org/0000-0003-2107-0983> gunina.sport@gmail.com

Поступила 28.11.2019