

ДИАГНОСТИКА СИНДРОМА ОТСТАВЛЕННОЙ МЫШЕЧНОЙ БОЛЕЗНЕННОСТИ

К.П. Зимова¹, bogemi21@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2447-2841>
Д.С. Медведев^{1,2}, 79110982285@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7401-258X>
А.Е. Чиков¹, chikov.alexandr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0860-9171>
А.Д. Киселев¹, artem.kiselev.1988@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9759-1924>
М.В. Крылова¹, margaritochka-88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2961-807X>

¹Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия,

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Цель исследования: оценить диагностические возможности комплекса клинико-лабораторных и функциональных показателей при синдроме отставленной мышечной болезненности (ОМБ) у лиц, занимающихся физической культурой и спортом. **Материалы и методы.** Исследование выполнено с участием 25 человек в возрасте от 21 до 41 года (13 женщин и 12 мужчин), средний возраст $32 \pm 2,5$ года, регулярно занимающихся физической культурой. Участники исследования выполняли ОМБ-индуцирующую физическую нагрузку с акцентом на эксцентрическую фазу движения и с максимальной амплитудой. Целевой мышечной группой была четырехглавая мышца бедра. За сутки до ОМБ-индуцирующей нагрузки и сутки после оценивались показатели клинического и биохимического анализа крови, стабиллометрии, вариабельности ритма сердца в покое и при нагрузке, биоимпедансного анализа состава тела, пупиллометрии, эргоспирометрии при физической нагрузке, миографии, становой динамометрии и результаты опросника, основанного на визуально-аналоговой шкале боли. **Результаты.** В ответ на ОМБ-индуцирующую нагрузку были выявлены: 1) болевые ощущения в целевой мышечной группе, 2) снижение показателей общего анализа крови (красного и белого ростков крови), 3) повышение уровня КФК, 4) снижение скорости сужения зрачка в ответ на световой раздражитель, 5) тенденция к росту электромиографической активности, 6) изменение величины смещения центра тяжести во фронтальной и сагиттальной плоскостях. **Заключение.** О развитии синдрома отставленной мышечной болезненности, который в данном исследовании верифицировался по достоверному росту ассоциированной с нагрузкой мышечной болезненности, могут свидетельствовать следующие диагностические признаки: высокий уровень КФК, замедление расширения и сужения зрачка в ответ на световой раздражитель, утомление постуральных мышц. Диагностика ОМБ может быть включена в мероприятия медико-биологического обеспечения спортсменов с целью предупреждения снижения спортивной работоспособности.

Ключевые слова: синдром отставленной мышечной болезненности, диагностика, клинико-лабораторные показатели, функциональные показатели, эксцентрическая физическая нагрузка, спорт

Для цитирования: Диагностика синдрома отставленной мышечной болезненности / К.П. Зимова, Д.С. Медведев, А.Е. Чиков и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 4. С. 59–67. DOI: 10.14529/hsm220407

DIAGNOSTICS OF DELAYED ONSET MUSCLE SORENESS

K.P. Zimova¹, bogemi21@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2447-2841>
D.S. Medvedev^{1,2}, 79110982285@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7401-258X>
A.E. Chikov¹, chikov.alexandr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0860-9171>
A.D. Kiselev¹, artem.kiselev.1988@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9759-1924>
M.V. Krylova¹, margaritochka-88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2961-807X>

¹Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russia

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

Abstract. Aim. The paper investigates the diagnostic capabilities of a complex of clinical, laboratory, and functional parameters for delayed onset muscle soreness (DOMS) in people involved in physical education and sports. **Materials and methods.** The study included 25 people aged 21 to 41 years (13 women and 12 men), mean age 32±2.5 years, who engaged in regular physical activity. The study participants performed DOMS-inducing physical activity with an emphasis on the eccentric phase of movement and with maximum amplitude. The target muscle group was the quadriceps femoris. Data from clinical and biochemical blood analysis, force platform measurements, heart rate variability at rest and during exercise, bioimpedance analysis of body composition, pupillometry, exercise ergospirometry, myography, back dynamometry, and the results of a questionnaire based on a visual analogue scale of pain were obtained the day before and the day after the DOMS-inducing exercise. **Results.** In response to the DOMS-inducing physical exercise, the following observations were made: 1) pain in the target muscle group, 2) decreased blood count values (red and white cells), 3) increased levels of CK, 4) reduced pupillary constriction speed in response to light stimuli, 5) upward trend in electromyographic activity, 6) changes in the displacement of the center of pressure in the frontal and sagittal planes. **Conclusion.** The following diagnostic signs can indicate the development of delayed onset muscle soreness, which was verified by a significant increase in exercise-associated muscle soreness: increased levels of CK, reduced pupillary constriction speed in response to light stimuli, fatigue of the postural muscles. A DOMS diagnosis can be included in the measures of medical and biological support of athletes to prevent a decrease in sports performance.

Keywords: delayed onset muscle soreness, diagnostics, clinical and laboratory parameters, functional indicators, eccentric physical activity, sport

For citation: Zimova K.P., Medvedev D.S., Chikov A.E., Kiselev A.D., Krylova M.V. Diagnostics of delayed onset muscle soreness. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(4):59–67. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220407

Введение. Одной из причин переутомления и, как следствие, ухудшения спортивных результатов является синдром отставленной мышечной болезненности (ОМБ) – ультраструктурное повреждение мышц, в англоязычной литературе обозначается термином *delayed onset muscle soreness* (DOMS) [6–8, 12–14, 16, 18, 19, 21]. Данный синдром относится к травмам легкой степени, однако любое мышечное повреждение может привести к временному ограничению возможности полноценного занятия спортом [10]. За последние несколько десятилетий было предложено значительное количество гипотез, объясняющих механизм развития синдрома ОМБ [1, 2, 4, 17, 19, 22]. В связи с тем, что патофизиологиче-

ские механизмы синдрома остаются до конца неизученными, основным диагностическим критерием продолжает оставаться субъективный признак – мышечная болезненность, ассоциированная с физической нагрузкой. В целом ряде исследований предпринимались попытки выявления диагностически значимых клинико-лабораторных и функциональных показателей [5, 7, 9, 11, 15, 20, 24]. При этом информативные и доступные в спортивной практике методики с рассчитанными нормативами оценочных показателей отсутствуют.

Цель исследования: оценка диагностических возможностей комплекса клинико-лабораторных и функциональных показателей при синдроме отставленной мышечной болез-

ненности у лиц, занимающихся физической культурой и спортом.

Материалы и методы. Работа проводилась с 17 августа по 04 сентября 2020 г. на базе поликлинического отделения ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России. В исследовании приняли участие 25 здоровых человек (13 женщин и 12 мужчин) в возрасте от 21 до 41 года, средний возраст $32 \pm 2,5$ года, занимающихся регулярно фитнесом. Для индуцирования ОМБ в области четырехглавой мышцы бедра спортсмены выполняли жим платформы лёжа и разгибание голени сидя в блочном тренажере с акцентом на эксцентрическую фазу движения в 3 секунды и концентрическую – в 1 секунду. Амплитуда движения максимальная, в пределах индивидуальной гибкости и мобильности суставов испытуемого, в индивидуально удобном для себя темпе и весом, равным 12 повторным максимумам (ПМ). Упражнения выполняли в виде серии из 6 подходов по 12 повторений, отдых между сериями – до 3 минут.

Исследование проводилось в 4 этапа: 1-й этап – фоновое обследование за 1 день перед нагрузкой; 2-й этап – выполнение ОМБ-индуцирующей физической нагрузки; 3-й этап – обследование в 1-й первый день после перенесенной физической нагрузки; 4-й этап – обследование на 2-й день после физической нагрузки. В ходе обследования были проведены следующие клинико-лабораторные и функциональные исследования: клинический анализ крови на гематологическом анализаторе Nihon Kohden Mек 7222 (Япония); биохимический анализ крови на биохимическом анализаторе Fuguno SA-400 (Япония); биоимпедансный анализ тела на портативном биоимпедансном анализаторе «ABC-01 МЕДАСС» (Россия); эргоспирометрия на газоанализаторе MetaMax (Германия) и миография на ПАК «Биокинект», модель «Траст-М» Биомеханика (Россия) проводились в пробе с физической нагрузкой – ступенчатое нагрузочное тестирование на гребном тренажере Concept 2 (США); анализ variability ритма сердца в покое проводился на АПК «Омега-Спорт» (Россия), а во время нагрузки – с использованием Bodyguard 2 системы Firstbeat (Финляндия); пупиллометрическое обследование с применением автоматизированной математической обработки пупиллограммы на комплексе скрининговой регистрации «КСРЗРц-01»; стабиллометрическое исследование регуляции

вертикальной позы человека при помощи стабиллоплатформы ST-150 (Россия); станковая динамометрия выполнялась прибором «Динамометр станковый ДС-500»; заполнялся опросник «Визуально-аналоговая шкала боли».

Результаты исследования обрабатывались с использованием пакетов прикладных компьютерных программ Microsoft Excel 2010, Statistica 13.3. Достоверность различий между разными этапами исследования определялась по критерию Вилкоксона. Различия считались достоверными на уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты. В ответ на ОМБ-индуцирующую физическую нагрузку выявлено статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение болевых ощущений целевой группы мышц. На следующий день после нагрузки выявлено увеличение болезненности четырехглавой мышцы бедра во время разминки на 65,0 % с $1,96 \pm 0,51$ балла до $3,24 \pm 0,49$ балла ($p = 0,016$), в начале движения на 42,0 % с $2,76 \pm 0,52$ балла в день нагрузки до $3,92 \pm 0,42$ балла ($p = 0,032$). Максимальная мышечная болезненность была зафиксирована через 24 часа после нагрузки, что соответствует литературным данным [3, 23]. Субъективные симптомы проявления синдрома уменьшились на 2-й день после нагрузки на 32 % по показателю болезненности четырехглавой мышцы бедра во время разминки с $3,24 \pm 0,49$ до $2,2 \pm 0,48$ балла, в начале движения на 21 % с $3,92 \pm 0,42$ до $3,08 \pm 0,46$ балла ($p > 0,05$).

В клиническом анализе крови после нагрузки отмечалась железодефицитная «спортивная анемия», проявляющаяся в виде статистически значимого снижения уровня эритроцитов с $5,02 \pm 0,1 \cdot 10^{12}/л$ до $4,85 \pm 0,1 \cdot 10^{12}/л$ ($p = 0,005$), гемоглобина с $154,75 \pm 3,11$ г/л до $147,5 \pm 2,87$ г/л ($p = 0,001$), гематокрита с $47,8 \pm 0,82$ % до $46,09 \pm 0,85$ % ($p = 0,005$), показателя среднего объема эритроцита с $30,85 \pm 0,3$ пг до $30,47 \pm 0,25$ пг ($p = 0,042$) и средней концентрации гемоглобина в эритроците с $323,55 \pm 1,69$ г/л до $319,85 \pm 1,02$ г/л ($p = 0,017$). Кроме снижения перечисленных выше показателей, что является нормой у здоровых людей после высокоинтенсивных нагрузок [2, 19], не было выявлено никаких больше изменений, указывающих на проявление синдрома ОМБ.

Анализ средних значений показателей биохимии крови испытуемых выявил, что на первые сутки после нагрузки наблюдается значительное увеличение уровня КФК в крови с $143,11 \pm 16,01$ Е/л до $326,18 \pm 55,36$ Е/л

($p = 0,001$), прирост составил 128 %. В 1-й день после нагрузки выявлено статистически значимое увеличение ЛДГ с $462,15 \pm 15,04$ Е/л до $480,25 \pm 13,45$ Е/л ($p = 0,003$), что составило 3,9 % и миоглобина на 21,3 % – с $81,9 \pm 1,87$ мкг/л до $99,35 \pm 5,83$ мкг/л ($p = 0,001$); достоверное снижение СРБ на 47,6 % – с $3,13 \pm 1,11$ мг/л до $1,64 \pm 0,39$ мг/л ($p = 0,005$). На 2-й день после нагрузки статистически значимо уменьшился уровень креатинина на 3,9 % – с $97,18 \pm 4,3$ ммоль/л до $93,39 \pm 4,02$ ммоль/л ($p = 0,048$).

При биоимпедансном исследовании было обнаружено статистически значимое снижение жировой массы тела с $18,3 \pm 1,35$ кг до $17,75 \pm 1,33$ кг ($p = 0,026$), а также статистически значимое увеличение показателя активной клеточной массы с $34,49 \pm 1,86$ кг до $35,19 \pm 1,93$ кг ($p = 0,026$), основного обмена с 1705 ± 59 ккал/сут до 1728 ± 61 ккал/сут ($p = 0,019$). Данные изменения обусловлены выполнением испытуемыми физической нагрузки силовой направленности.

В результате нагрузочного тестирования на гребном тренажере Concept 2 были выявлены статистически значимые изменения показателей газоанализа (табл. 1), характеризующие адаптационные процессы к нагрузке. Можно предположить, что данные изменения связаны с эффектом срочной адаптации и положительным тренировочным эффектом. Возможно, это также связано со снижением показателей клинического анализа крови, так, в ответ на снижение гемоглобина и эритроцитов наблюдается компенсаторное увеличение частоты дыхания.

При оценке реакции вегетативной нервной системы на ОМБ-индуцирующую физическую нагрузку было выявлено статистически значимое снижение вклада парасимпатической с $1842,91 \pm 626,8$ мс² до $1183,87 \pm 355,33$ мс² ($p = 0,015$) и симпатической нервной системы с $31,28 \pm 7,33$ мс² до $16,05 \pm 4,2$ мс² ($p = 0,023$) в регуляцию сердечного ритма, достоверно снизился показатель общей мощности спектра с $47,68 \pm 11,75$ мс² до $25,56 \pm 6,01$ мс² ($p = 0,036$) во время выполнения нагрузки. Данные изменения свидетельствуют о росте напряжения регуляторных систем организма, а также о признаках утомления после ОМБ-индуцирующей нагрузки.

При анализе показателей пупиллометрии до и после физической нагрузки в целом по всей выборке отмечаются особенности изменения показателей. Достоверно увеличилось время сужения (Тс) на 6,7 % с $0,45 \pm 0,02$ с до $0,48 \pm 0,02$ с ($p = 0,0398$) и снизилась скорость сужения зрачков (Vc) на 6,6 % с $3,31 \pm 0,11$ мм/с до $3,09 \pm 0,12$ мм/с ($p = 0,015$). При анализе восстановления диаметра зрачков учитывались показатели пупиллометрии лиц, у которых имело место «невосстановление» зрачка на 0,45 мм и более. После физической нагрузки, вызывающей ОМБ, количество лиц с «невосстановлением» достоверно увеличилось с 23,5 до 64,7 %.

В ходе проведения пробы Ромберга с открытыми и закрытыми глазами был выявлен целый ряд достоверно значимых изменений стабилметрических показателей, полученных в первый день после выполнения физической нагрузки относительно фонового исследова-

Таблица 1
Table 1

Изменение количественных значений показателей газоанализа
Change in quantitative values of gas analysis data

Переменная / Variable	Этап исследования / Research phase	
	1-й этап / Stage 1	3-й этап / Stage 3
Потребление O ₂ на кг веса, мл/мин/кг O ₂ consumption per kg of body weight, ml/min/kg	$11,56 \pm 0,76$	$13,36 \pm 0,83^{\blacktriangle}$
Кислородный пульс, у. е. Oxygen pulse, c. u.	$8,69 \pm 0,8$	$9,92 \pm 0,86^{\blacktriangle}$
Вентиляционный эквивалент по кислороду, у. е. Ventilatory oxygen equivalent, c. u.	$33,35 \pm 8,78$	$23,52 \pm 0,75^{\blacktriangle}$
Дыхательный коэффициент, 1 мин теста, у. е. Respiratory coefficient, 1 min test, c. u.	$0,87 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,01^{\blacktriangle}$
Дыхательный коэффициент, ПАНО, у. е. Respiratory coefficient, AT, c. u.	$1,09 \pm 0,03$	$1,05 \pm 0,02^{\blacktriangle}$

▲ – $p < 0,05$ изменения достоверны относительно фона.

▲ – $p < 0.05$ changes are significant for students under normal conditions.

Таблица 2
Table 2Динамика показателей стабилотрии при выполнении пробы Ромберга
Dynamics of force platform measurements during the Romberg test

Переменная / Variable	Этап исследования / Research phase	
	1-й этап / Stage 1	3-й этап / Stage 3
X (открытые глаза), мм / X (open eyes), mm	-0,9 ± 1,44	5,49 ± 1,52 [▲]
X (закрытые глаза), мм / X (closed eyes), mm	-1,26 ± 1,56	6,13 ± 1,43 [▲]
Y (открытые глаза), мм / Y (open eyes), mm	67,24 ± 6,12	57,9 ± 7,98 [▲]
Y (закрытые глаза), мм / Y (closed eyes), mm	68,75 ± 6,32	60,17 ± 7,74 [▲]
L (открытые глаза), мм / L (open eyes), mm	152,11 ± 9,07	179,82 ± 17,07 [▲]
S (закрытые глаза), мм ² / S (closed eyes), mm ²	82,37 ± 15,91	120,56 ± 25,1 [▲]
V (открытые глаза), мм/с / V (open eyes), mm/s	5,07 ± 0,3	5,99 ± 0,57 [▲]
Ax (открытые глаза), Дж / Ax (open eyes), J	0,28 ± 0,04	0,46 ± 0,11 [▲]
MaxX (открытые глаза), мм / MaxX (open eyes), mm	4,46 ± 0,48	5,9 ± 0,5 [▲]
MaxX (закрытые глаза), мм / MaxX (closed eyes), mm	5,04 ± 0,61	7,38 ± 1,03 [▲]

▲ – $p < 0,05$ изменения достоверны относительно фона.

▲ – $p < 0.05$ changes are significant for students under normal conditions.

ния (табл. 2). Отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение величины смещения и максимальной амплитуды колебаний центра давления по фронтальной плоскости как с открытыми глазами, так и закрытыми на следующий день после ОМБ-индуцирующей физической нагрузки. Смещение центра давления по сагиттальной плоскости статистически снижается. Уменьшение величины смещения центра тяжести в сагиттальной плоскости обусловлено проявлением синдрома ОМБ в четырехглавой мышце бедра. Можно предположить, что ОМБ этих мышц вынуждала добровольцев непроизвольно отклоняться назад, поэтому средние значения достоверно уменьшились. На 3-м этапе по результатам пробы Ромберга достоверно увеличились средние значения длины, площади статокинезиограммы, средней скорости перемещения центра давления и величины энергозатрат во фронтальной плоскости. Рост количественных значений свидетельствует об ухудшении функции равновесия в поддержании вертикальной позы. У испытуемых проявились симптомы утомления мышц постуральной системы, что в свою очередь повлияло на снижение опорной функции и функции равновесия.

Синдром ОМБ не оказывал существенного влияния на показатели миографии и становой динамометрии – не было выявлено статистически достоверных изменений усредненных по группе показателей данных исследований после выполнения физической нагрузки.

Заключение. В ходе исследования у обследуемых спортсменов была вызвана отставленная мышечная болезненность и верифицирована по субъективным ощущениям мышечной боли, появившимся на следующий день после выполнения ОМБ-индуцирующей нагрузки. На фоне ОМБ у спортсменов выявлены существенное повышение уровня КФК до 326 Е/л, замедление расширения и сужения зрачка до 3 мм/с в ответ на световой раздражитель, утомление постуральных мышц по динамике показателей смещения центра давления по фронтальной и сагиттальной плоскостях до 6 мм и до 58 мм соответственно, длины и площади статокинезиограммы до 180 мм и 120 мм² соответственно. Динамику данных показателей можно использовать для оценки проявлений синдрома ОМБ, а наблюдаемые изменения следует учитывать при планировании и коррекции тренировочной нагрузки в микро- и мезоциклах.

Список литературы

1. Дмитриев, А. Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности в спорте высших достижений: роль в развитии утомления и профилактика / А. Дмитриев, Л. Гунина // Наука в олимпийском спорте. – 2020. – № 1. – С. 57–71. DOI: 10.32652/olympic2020.1_5
2. Йегер, Й.М. Мышцы в спорте. Анатомия. Физиология. Тренировка. Реабилитация / Й.М. Йегер, К. Крюгер; пер. на рус. яз. Д.Г. Калашникова и др. – М.: Практич. медицина, 2016. – 428 с.

3. *Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics* / T. Hotfiel, J. Freiwald, M. Hoppe et al. // *Sportverletz Sportschaden*. – 2018. – Vol. 32. – P. 243–250. DOI: 10.1055/a-0753-1884
4. *Armstrong, R.B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review* / R.B. Armstrong // *Med Sci Sports Exerc*. – 1984 – Vol. 16. – P. 529–538.
5. *Changes in urinary titin N-terminal fragments as a biomarker of exercise-induced muscle damage in the repeated bout effect* / S. Yamaguchia, K. Suzukib, K. Kandad et al. // *Journal of Science and Medicine in Sport*. – 2020. – Vol. 23, iss. 6. – P. 536–540. DOI: 10.1016/j.jsams.2019.12.023
6. *Cheung, K. Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors* / K. Cheung, P. Hume, L. Maxwell // *J Sports Med*. – 2003. – Vol. 33, no. 2. – P. 145–164. DOI: 10.2165/00007256-200333020-00005
7. *Comparison among three different intensities of eccentric contractions of the elbow flexors resulting in the same strength loss at one day post exercise for changes in indirect muscle damage markers* / T.C. Chen, G.L. Huang, C.C. Hsieh et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2020. – Vol. 120. – P. 267–279. DOI: 10.1007/s00421-019-04272-w
8. *Comparison between high- and low-intensity eccentric cycling of equal mechanical work for muscle damage and the repeated bout effect* / G. Mavropalias, T. Koeda, O. Barley et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2020. – Vol. 120. – P. 1015–1025. DOI: 10.1007/s00421-020-04341-5
9. *Delayed-Onset Muscle Soreness: Temporal Assessment With Quantitative MRI and Shear-Wave Ultrasound Elastography* / C.A. Agten, F.M. Buck, L. Dyer et al. // *American Journal of Roentgenology*. – 2017. – Vol. 208, no. 2. – P. 402–412. DOI: 10.2214/AJR.16.16617
10. *Does delayed onset muscle soreness affect the biomechanical variables of the drop vertical jump that have been associated with increased ACL injury risk? A randomised control trial* / M.C. Look, Y. Iyengar, M. Barcellona, A. Shortland // *Human Movement Science*. – 2021. – Vol. 76. – P. 102772. DOI: 10.1016/j.humov.2021.102772
11. *Exercise induced muscle damage and recovery assessed by means of linear and non-linear sEMG analysis and ultrasonography* / P. Sbriccoli, F. Felici, A. Rosponi et al. // *J Electromyogr Kinesiol*. – 2001. – Vol. 11, iss. 2. – P. 73–83. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00042-0
12. *Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures* / G.E. Pearcey, D.J. Bradbury-Squires, J.E. Kawamoto et al // *Journal of athletic training*. – 2015. – Vol. 50, no. 1. – P. 5–13. DOI: 10.4085/1062-6050-50.1.01
13. *Hedayatpour, N. The effect of eccentric exercise and delayed onset muscle soreness on the homologous muscle of the contralateral limb* / N. Hedayatpour, Z. Izanloo, D. Falla // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. – 2018. – Vol. 41. – P. 154–159. DOI: 10.1016/j.jelekin.2018.06.003
14. *Improving characterization and diagnosis quality of myofascial pain syndrome: a systematic review of the clinical and biomarker overlap with delayed onset muscle soreness* / B. Vadasz, J. Gohari, D.W. West et al. // *Eur J Phys Rehabil Med*. – 2020. – Vol. 56, no. 4. – P. 469–478. DOI: 10.23736/S1973-9087.20.05820-7
15. *Involvement of Neutrophil Dynamics and Function in Exercise-Induced Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness: Effect of Hydrogen Bath* // T. Kawamura, K. Suzuki, M. Takahashi et al. // *Antioxidants (Basel)*. – 2018 – Vol. 7, no. 10. – P. 127. DOI: 10.3390/antiox7100127
16. *Meamarbashi, A. Herbs and natural supplements in the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness* / A. Meamarbashi // *Avicenna J Phytomed*. – 2017. – Vol. 7, no. 1. – P. 16–26.
17. *Mizumura, K. Delayed onset muscle soreness: Involvement of neurotrophic factors* / K. Mizumura, T. Taguchi // *J Physiol Sci*. – 2016. – Vol. 66, no. 1. – P. 43–52. DOI: 10.1007/s12576-015-0397-0
18. *Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise* / J.M. Saxton, P.M. Clarkson, R. James et al. // *Med Sci Sports Exerc*. – 1995. – Vol. 27, no. 8. – P. 1185–1193.
19. *Nosaka, K. Muscle Soreness and Damage and the Repeated-Bout Effect* / K. Nosaka // P.M. Tiidus (Ed.) *Skeletal Muscle Damage and Repair*. – Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 2008. – P. 59–76.
20. *Relationship between Skin Temperature, Electrical Manifestations of Muscle Fatigue, and Exercise-Induced Delayed Onset Muscle Soreness for Dynamic Contractions: A Preliminary Study* /

J.I. Priego-Quesada, C. De la Fuente, M.R. Kunzler et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, no. 18. – P. 6817. DOI: 10.3390/ijerph17186817

21. Rowlands, A.V. Effect of stride length manipulation on symptoms of exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect / A.V. Rowlands, R.G. Eston, C. Tilzey // *J Sports Sci*. – 2001. – Vol. 19, no. 5. – P. 333–340. DOI: 10.1080/02640410152006108

22. Sonkodi, B. Have We Looked in the Wrong Direction for More Than 100 Years? Delayed Onset Muscle Soreness Is, in Fact, Neural Microdamage Rather Than Muscle Damage / B. Sonkodi, I. Berkes, E. Koltai // *Antioxidants (Basel)*. – 2020. – Vol. 9, no. 3. – P. 212. DOI: 10.3390/antiox9030212

23. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults / J.T. Costello, P.R. Baker, G.M. Minett et al. // *Cochrane Database Syst Rev*. – 2015. – No. 9. – CD010789. DOI: 10.1002/14651858.CD010789.pub2.

24. Yu, J.Y. Evaluation of muscle damage using ultrasound imaging / J.Y. Yu, J.G. Jeong, B.H. Lee // *J Phys Ther Sci*. – 2015. – Vol. 27. – P. 531–534. DOI: 10.1589/jpts.27.531

References

1. Dmitriyev A., Gunina L. [Syndromes of Muscle Microdamage and Delayed Muscle Soreness in Elite Sports. Role in the Development of Fatigue and Prevention]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in Olympic Sports], 2020, no. 1, pp. 57–71. (in Russ.) DOI: 10.32652/olympic2020.1_5

2. Yyeger Y.M., Kryuger K. *Myshtsy v sporte. Anatomiya. Fiziologiya. Trenirovka. Reabilitatsiya* [Muscles in Sports. Anatomy. Physiology. Workout. Rehabilitation], english translation: D.G. Kalashnikov et al. Moscow, Practical Medicine Publ., 2016. 428 p.

3. Hotfiel T., Freiwald J., Hoppe M. et al. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*, 2018, vol. 32, pp. 243–250. DOI: 10.1055/a-0753-1884

4. Armstrong R.B. Mechanisms of Exercise-Induced Delayed Onset Muscular Soreness: a Brief Review. *Medical Science Sports Exerc.*, 1984, vol. 16, pp. 529–538. DOI: 10.1249/00005768-198412000-00002

5. Yamaguchia S., Suzukib K., Kandad K. et al. Changes in Urinary Titin N-Terminal Fragments as a Biomarker of Exercise-Induced Muscle Damage in the Repeated Bout Effect. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2020, vol. 23, iss. 6, pp. 536–540. DOI: 10.1016/j.jsams.2019.12.023

6. Cheung K., Hume P., Maxwell L. Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors. *Journal Sports Med.*, 2003, vol. 33, no. 2, pp. 145–164. DOI: 10.2165/00007256-200333020-00005

7. Chen T.C., Huang G.L., Hsieh C.C. et al. Comparison Among Three Different Intensities of Eccentric Contractions of the Elbow Flexors Resulting in the Same Strength Loss at One Day Post Exercise for Changes in Indirect Muscle Damage Markers. *European Journal of Applied Physiology*, 2020, vol. 120, pp. 267–279. DOI: 10.1007/s00421-019-04272-w

8. Mavropalias G., Koeda T., Barley O. et al. Comparison Between High- and Low-Intensity Eccentric Cycling of Equal Mechanical Work for Muscle Damage and the Repeated Bout Effect. *European Journal of Applied Physiology*, 2020, vol. 120, pp. 1015–1025. DOI: 10.1007/s00421-020-04341-5

9. Agten C.A., Buck F.M., Dyer L. et al. Delayed-Onset Muscle Soreness: Temporal Assessment With Quantitative MRI and Shear-Wave Ultrasound Elastography. *American Journal of Roentgenology*, 2017, vol. 208, no. 2, pp. 402–412. DOI: 10.2214/AJR.16.16617

10. Look M.C., Iyengar Y., Barcellona M., Shortland A. Does Delayed Onset Muscle Soreness Affect the Biomechanical Variables of the Drop Vertical Jump that have Been Associated with Increased ACL Injury Risk? A Randomised Control Trial. *Human Movement Science*, 2021, vol. 76, 102772. DOI: 10.1016/j.humov.2021.102772

11. Sbriccoli P., Felici F., Rosponi A. et al. Exercise Induced Muscle Damage and Recovery Assessed by Means of Linear and Non-Linear sEMG Analysis and Ultrasonography. *Journal Electromyogr Kinesiology*, 2001, vol. 11, iss. 2, pp. 73–83. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00042-0

12. Pearcey G.E., Bradbury-Squires D.J., Kawamoto J.E. et al. Foam Rolling for Delayed-Onset Muscle Soreness and Recovery of Dynamic Performance Measures. *Journal of Athletic Training*, 2015, vol. 50, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.4085/1062-6050-50.1.01

13. Hedayatpour N., Izanloo Z., Falla D. The Effect of Eccentric Exercise and Delayed Onset Muscle Soreness on the Homologous Muscle of the Contralateral Limb. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2018, vol. 41, pp. 154–159. DOI: 10.1016/j.jelekin.2018.06.003
14. Vadasz B., Gohari J., West D.W. et al. Improving Characterization and Diagnosis Quality of Myofascial Pain Syndrome: a Systematic Review of the Clinical and Biomarker Overlap with Delayed Onset Muscle Soreness. *European Journal Physical Rehabilitation Medicine*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 469–478. DOI: 10.23736/S1973-9087.20.05820-7
15. Kawamura T., Suzuki K., Takahashi M. et al. Involvement of Neutrophil Dynamics and Function in Exercise-Induced Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness: Effect of Hydrogen Bath. *Antioxidants (Basel)*, 2018, vol. 7, no. 10, p. 127. DOI: 10.3390/antiox7100127
16. Meamarbashi A. Herbs and Natural Supplements in the Prevention and Treatment of Delayed-Onset Muscle Soreness. *Avicenna Journal Phytomed.*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 16–26.
17. Mizumura K., Taguchi T. Delayed Onset Muscle Soreness: Involvement of Neurotrophic Factors. *Journal Physiology Science*, 2016, vol. 66, no. 1, pp. 43–52. DOI: 10.1007/s12576-015-0397-0
18. Saxton J.M., Clarkson P.M., James R. et al. Neuromuscular Dysfunction Following Eccentric Exercise. *Medical Science Sports Exerc.*, 1995, vol. 27, no. 8, pp. 1185–1193. DOI: 10.1249/00005768-199508000-00013
19. Nosaka K., Tiidus P.M. Muscle Soreness and Damage and the Repeated–Bout Effect. Skeletal Muscle Damage and Repair – Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 2008, pp. 59–76. DOI: 10.5040/9781718209664.ch-005
20. Priego-Quesada J.I., De la Fuente C., Kunzler M.R. et al. Relationship between Skin Temperature, Electrical Manifestations of Muscle Fatigue, and Exercise-Induced Delayed Onset Muscle Soreness for Dynamic Contractions: A Preliminary Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 18, p. 6817. DOI: 10.3390/ijerph17186817
21. Rowlands A.V., Eston R.G., Tilzey C. Effect of Stride Length Manipulation on Symptoms of Exercise-Induced Muscle Damage and the Repeated Bout Effect. *Journal Sports Science*, 2001, vol. 19, no. 5, pp. 333–340. DOI: 10.1080/02640410152006108
22. Sonkodi B., Berkes I., Koltai E. Have We Looked in the Wrong Direction for More Than 100 Years? Delayed Onset Muscle Soreness Is, in Fact, Neural Microdamage Rather Than Muscle Damage. *Antioxidants (Basel)*, 2020, vol. 9, no. 3, p. 212. DOI: 10.3390/antiox9030212
23. Costello J.T., Baker P.R., Minett G.M. et al. Whole-Body Cryotherapy (Extreme Cold Air Exposure) for Preventing and Treating Muscle Soreness After Exercise in Adults. *Cochrane Database Syst Rev.*, 2015, no. 9, CD010789. DOI: 10.1002/14651858.CD010789.pub2.
24. Yu J.Y., Jeong J.G., Lee B.H. Evaluation of Muscle Damage Using Ultrasound Imaging. *Journal Physical Therapy Science*, 2015, vol. 27, pp. 531–534. DOI: 10.1589/jpts.27.531

Информация об авторах

Зимова Кристина Павловна, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия.

Медведев Дмитрий Станиславович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом физиологической оценки и медицинской коррекции, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия; Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия.

Чиков Александр Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией спортивной гигиены, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия.

Киселёв Артём Дмитриевич, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия.

Крылова Маргарита Владимировна, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия.

Information about the authors

Kristina P. Zimova, Junior Researcher, Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russia.

Dmitry S. Medvedev, Doctor of Medical Sciences, Professor, Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology; North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov. St. Petersburg, Russia.

Alexander E. Chikov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Sports Hygiene, Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russia.

Artem D. Kiselev, Researcher, Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russia.

Margarita V. Krylova, Researcher, Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Saint Petersburg, Russia.

Статья поступила в редакцию 15.08.2022

The article was submitted 15.08.2022