

УДК 612.74/612.014.4/796.015.52/796.012.1
DOI <https://doi.org/10.26661/2663-5925-2025-1-07>

М'ЯЗОВА ВТОМА: СТАН ПРОБЛЕМИ, ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ВИНИКНЕННЯ

Квасниця І. М.

*доктор філософії (011 Освітні, педагогічні науки),
доцент кафедри теорії і методики фізичного виховання і спорту
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна
orcid.org/0000-0003-1718-3301
irishakvas@gmail.com*

Квасниця О. М.

*кандидат наук з фізичного виховання і спорту,
доцент кафедри теорії і методики фізичного виховання і спорту
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна
orcid.org/0000-0003-2478-915X
oleg.kvasnitsa@ukr.net*

Дорошенко В. В.

*кандидат наук з фізичного виховання і спорту,
доцент кафедри медико-біологічних основ фізичної культури та спорту
Запорізький національний університет
вул. Університетська, 33А, Запоріжжя, Україна
orcid.org/0000-0001-9818-8520
dornika@i.ua*

Буличов З. О.

*магістр
Запорізький національний університет
вул. Дніпровська, 33А, Запоріжжя, Україна
orcid.org/0009-0003-6214-7016
zaharbulychov@gmail.com*

Ключові слова: *м'язова
втома, фізіологічні
механізми, фізіологічні
зміни, фізична активність.*

У статті м'язова втома розглядається як багатофакторне явище, що охоплює фізіологічні, неврологічні та психофізіологічні зміни, які впливають на фізичну працездатність, максимальне використання резервних можливостей організму людини, формування адаптаційних процесів. З'ясовано, що проблематика м'язової втоми, механізмів її виникнення та ефективних способів подолання залишається недостатньо висвітленою в сучасних вітчизняних наукових дослідженнях, що обмежує глибоке розуміння цього явища. Натомість у світовій науковій спільноті активно вивчаються різні аспекти цього питання. Актуальні дослідники зосереджуються на впливі метаболічних змін на скоротливі властивості м'язових волокон, ролі центральної нервової системи у формуванні втоми, а також на розробці новітніх методів відновлення після фізичних навантажень. Установлено, що аналіз цієї проблематики має вирішальне значення для розроблення дієвих методів запобігання, контролю та лікування м'язової втоми, що становить важливий аспект

сучасної спортивної фізіології, фізичної реабілітації та терапії хронічних і вікових захворювань. Аналіз наукових дослідження підтверджує, що м'язова втома є складним фізіологічним станом, яке не має єдиного універсального механізму розвитку. Вона може бути спричинена різними факторами – від накопичення метаболітів у м'язових волокнах до порушень у генерації рухових команд у моторній корі головного мозку. Відомо, що механізми, які викликають втому, залежать від специфіки виконуваного завдання і не є загальними для всіх видів рухової активності. Традиційно м'язова втома визначається через зниження максимальної сили м'язів, однак субмаксимальні скорочення можуть зберігатися навіть після її початку. Сучасні наукові підходи підкреслюють, що її розвиток зумовлений поєднанням центральних і периферичних механізмів. До основних чинників, які спричиняють м'язову втому, належать дисфункція центральної нервової системи, зниження провідності периферичних нервів та зміни скоротливих властивостей м'язових волокон. Незважаючи на різну природу цих механізмів, вони сприяють зниженню здатності м'язів підтримувати необхідний рівень сили або виконувати рухове завдання впродовж тривалого часу. У статті узагальнено уявлення про фізіологічні та біохімічні основи м'язової втоми, що дає змогу краще зрозуміти порушення нейром'язової функції та потенційні шляхи їх корекції.

MUSCLE FATIGUE: ISSUE STATUS, PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF IT ONSET

Kvasnytsia I. M.

PhD (Pedagogical Sciences),

Associate Professor at the Department of Theory and Methods

of Physical Education and Sports

Khmelnytskyi National University

Instytutaska str., 11, Khmelnytskyi, Ukraine

orcid.org/0000-0003-1718-3301

irishakvas@gmail.com

Kvasnytsya O. M.

Candidate of Science in Physical Education and Sports,

Associate Professor at the Department of Theory and Methods

of Physical Education and Sports

Khmelnytskyi National University

Instytutaska str., 11, Khmelnytskyi, Ukraine

orcid.org/0000-0003-2478-915X

oleg.kvasnitsa@ukr.net

Doroshenko V. V.

Candidate of Sciences in Physical Education and Sports,

Associate Professor at the Department Medical and Biological Basics

of Physical Culture and Sports

Zaporizhzhia National University

Universytetska str., 33A, Zaporizhzhia, Ukraine

orcid.org/0000-0001-9818-8520

dornika@i.ua

Bulychov Z. O.
Master's Degree
Zaporizhzhia National University
Dniprovska str., 33A, Zaporizhzhia, Ukraine
orcid.org/0009-0003-6214-7016
zaharbulychov@gmail.com

Key words: *muscle fatigue, physiological mechanisms, physiological changes, physical activity.*

Muscle fatigue is conceptualized in the article as a multifaceted phenomenon, encompassing physiological, neurological, and psycho-physiological alterations that influence physical performance, the maximization of human body capacity, and the formation of adaptive processes. It has been determined that the exploration of muscle fatigue, its underlying mechanisms, and effective strategies for its mitigation have not been fully addressed in contemporary domestic research, limiting a comprehensive understanding of this phenomenon. In contrast, various aspects of these issues have been actively examined by the global academic community. Researchers focus on the impact of metabolic changes on muscle tissue contraction characteristics, the central nervous system's role in fatigue development, and the advancement of new recovery techniques following physical exertion. It has been established that analyzing this phenomenon is critical for the development of effective methods to prevent, manage, and treat muscle fatigue, which is a vital aspect of modern sports physiology, physical rehabilitation, and the treatment of chronic and age-related diseases. The review of scientific literature affirms that muscle fatigue is a complex physiological state, lacking a single universal mechanism of progression. Its onset can be attributed to a variety of factors, ranging from the accumulation of metabolites within muscle fibers to disruptions in motor command generation within the brain's motor cortex. Notably, the mechanisms contributing to fatigue are task-specific and not universally applicable across all forms of motor activity. While muscle fatigue is traditionally defined by a reduction in maximal muscle strength, submaximal contractions can persist even after its onset. Contemporary scientific perspectives emphasize that its development arises from the interplay of both central and peripheral mechanisms. Key factors contributing to muscle fatigue include central nervous system dysfunction, impaired peripheral nerve conduction, and alterations in the contractile properties of muscle fibers. Despite the distinct nature of these mechanisms, they collectively contribute to a decline in the muscle's capacity to sustain the required force level or perform motor tasks over extended periods. The article consolidates the physiological and biochemical foundations of muscle fatigue, offering a deeper understanding of neuromuscular dysfunction and potential ways of their correction.

Постановка проблеми. М'язова втома є одним із найпоширеніших фізіологічних станів, що виникають у відповідь на тривалу або інтенсивну фізичну активність. Насамперед вона характеризується зниженням здатності м'язових волокон генерувати силу та підвищенням енергетичних затрат для підтримання постійного рівня м'язової активності [1; 4; 6].

Зменшення проявів втоми скелетних м'язів під час надмірних фізичних навантажень, особливо тих, що вимагають виконання монотонних, повторюваних рухів, які супроводжуються тривалим м'язовим напруженням. Подібні види

навантажень не лише спричиняють зниження функціональної працездатності, а й суттєво підвищують ризик розвитку м'язово-скелетних розладів, зокрема хронічної міалгії та болісної чутливості м'язів.

Оптимізація підходів до управління м'язовою втомою є ключовим завданням ефективності фізичної активності, профілактики м'язово-скелетних розладів та покращення якості життя як у спортсменів, так і в осіб, які зазнають значного фізичного навантаження в повсякденній діяльності. Фізіологічні особливості розвитку м'язової втоми становлять актуальну проблему не лише

в контексті теорії та практики спорту, рухової активності й фізичної реабілітації, а й у сфері медицини, оскільки вони можуть слугувати індикатором певних патологічних станів та захворювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі актуальні питання, пов'язані з вивченням м'язової втоми, механізмів її розвитку та ефективних стратегій подолання, залишаються недостатньо висвітленими у вітчизняній науковій літературі, що створює певні обмеження щодо розуміння цього процесу, зокрема його впливу на стан здоров'я і працездатності людини.

Водночас серед закордонних науковців різні аспекти цієї проблематики активно досліджуються, зокрема вплив метаболічних змін на скоротливу здатність м'язових волокон, роль центральної нервової системи в розвитку втоми, а також інноваційні підходи до покращення відновлення після фізичних навантажень [1; 6].

Низка аспектів, що пов'язані з проблематикою розвитку втоми, розглядались у межах медичних досліджень, насамперед тих, що стосувались м'язової атрофії чи дистрофії, які важливі для розуміння патофізіологічних механізмів розвитку цих станів, їх впливу на функціональну активність м'язів та розробки ефективних методів лікування і реабілітації [2; 7; 8].

Важливо розуміти, що проблема м'язової втоми має безперечну практичну значущість. Втома, спричинена фізичним навантаженням, часто супроводжується зниженням ефективності роботи та виконання рухових дій, що негативно впливає на якість життя. Це особливо актуально для спортсменів, військовослужбовців та працівників, зайнятих фізичною працею [1; 2; 6]. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на вивчення механізмів виникнення м'язової втоми та розробку стратегій її профілактики, набувають дедалі більшої актуальності.

Певні дослідження науковців сконцентровані на вивченні чинників розвитку втоми під час субмаксимальних ізометричних скорочень визначених груп м'язів. На нашу думку, такі роботи надають цінну інформацію щодо диференціації центральних та периферичних механізмів втоми, підкреслюють значущість периферичних факторів її розвитку. Однак обмеженням таких досліджень зазвичай є те, що вони не враховували можливі індивідуальні відмінності серед учасників дослідження, а також не розглядають механізми довгострокової адаптації до таких навантажень [3; 7; 8].

На теперішній час актуалізуються дослідження, фокусом яких є визначення потенціалу природних біоактивних компонентів, фізіотерапевтичних методів і тренувальних програм, спря-

мованих на зменшенні проявів втоми, викликової фізичними навантаженнями [5; 7].

Отже, не викликає сумнів, що дослідження механізмів, факторів виникнення м'язової втоми, а також чинників, що сприяють зменшенню її проявів, є актуальними через її значний вплив на функціональну активність, працездатність і якість життя як здорових осіб, так і пацієнтів із різними захворюваннями. Розуміння цього явища важливе для розроблення ефективних стратегій профілактики, управління й лікування, зокрема у фізіології, реабілітації та при терапії хронічних і вікових патологій. Незважаючи на багатфакторний характер м'язової втоми, чимало аспектів її механізмів і надалі залишаються недостатньо дослідженими, що створює простір для подальших фундаментальних і прикладних наукових розвідок.

Метою статті є комплексний аналіз ключових механізмів розвитку м'язової втоми, її фізіологічних проявів та факторів, що впливають на цей процес. Такий підхід дає змогу глибше зрозуміти природу м'язової втоми як багатфакторного явища, що має вагоме значення для фізіології та фізкультурно-спортивної реабілітації, а також сприяє вдосконаленню методів профілактики та управління в клінічній практиці та повсякденному житті.

Методологія дослідження. У дослідженні використовувалися такі методи дослідження: аналіз науково-методичної літератури та інтернет-джерел, аналіз даних з відкритих інформаційних систем.

Виклад матеріалу. Втома як тимчасовий фізіологічний стан виникає внаслідок інтенсивної або тривалої рухової діяльності й характеризується зниженням працездатності, порушенням функціональної координації органів і систем, а також суб'єктивним відчуттям виснаження. Цей стан є результатом складної взаємодії нервових, м'язових і метаболічних механізмів і насамперед виконує захисну функцію, сигналізуючи про необхідність відновлення ресурсів організму людини.

Зниження продуктивності м'язів спостерігається за умов їхньої роботи при гранично максимальній потужності. До основних змін у продуктивності належать зменшення здатності до генерування сили, зниження швидкості скорочення та уповільнення релаксації. Сукупність цих факторів може суттєво впливати на загальну працездатність, особливо під час виконання швидких повторюваних рухів. Це явище, відоме як м'язова втома, є особливо помітним у спортсменів, які працюють на межі функціональних можливостей м'язової системи.

Тож важливо розуміти, що ключовим аспектом аналізу є розмежування між поняттям м'я-

зової втоми та здатністю людини продовжувати виконання рухового завдання. М'язова втома не обов'язково пов'язана з моментом повного припинення діяльності чи повного виснаження м'язу. Натомість м'язова втома характеризується поступовим зниженням максимальної сили або потужності, які здатні генерувати активовані м'язи, і починає проявлятися вже на початку тривалої або інтенсивної фізичної активності.

Менш очевидним, але не менш важливим, є вплив м'язової втоми на пацієнтів із різними захворюваннями. Зокрема, особи з патологіями, що безпосередньо уражають м'язову тканину (наприклад, м'язова дистрофія), або з порушеннями, які опосередковано впливають на функцію м'язів (наприклад, інсульти, розсіяний склероз), стикаються зі значним зниженням м'язової функції. У випадках, коли м'язи виконують життєво важливі функції, як-от дихання або ходьба, інші функціональні м'язи працюють у межах біляграничної потужності, що прискорює розвиток втоми з потенційно серйозними наслідками.

У літніх людей поступова втрата м'язової маси (саркопенія) призводить до того, що навіть повсякденна активність може викликати втому, обмежуючи мобільність та знижуючи рівень самостійності. Так, пацієнти із серцевою недостатністю, крім задишки під час фізичних навантажень, часто відчувають надмірну м'язову втому. Ці фактори в сукупності сприяють значному зниженню фізичної працездатності людей похилого віку.

Так, розуміння механізмів м'язової втоми та розробка стратегій для її зменшення є надзвичайно важливими не лише для спортсменів, а й для пацієнтів із широким спектром захворювань, а також для підтримання якості життя літніх людей [1; 4].

Варто зауважити, що на фізіологічному рівні м'язова втома – результат системної взаємодії енергетичних потреб організму, обмежень енергетичних ресурсів, змін у роботі центральної та периферійної нервових систем, а також локальних процесів у м'язовій тканині. У нормальних умовах вона виконує роль захисного механізму, який запобігає пошкодженню тканин унаслідок надмірного навантаження. Однак у випадках хронічних захворювань або тривалих фізичних навантажень м'язова втома може набутися патологічного характеру, негативно впливаючи на функціональний стан організму.

Сучасні наукові дослідження наголошують на складному та багатофакторному характері м'язової втоми. Це явище охоплює широкий спектр змін, які можуть мати фізіологічний, неврологічний або психофізіологічний характер. Різні концепції пояснюють її розвиток через складність

механізмів, що призводять до порушення функції скорочення м'язів.

Основними механізмами, що спричиняють м'язову втому, є дисфункція центральної нервової системи, зниження провідності периферичних нервів та зміни в скоротливих властивостях м'язових волокон. Хоча їх походження може різнитися, спільним наслідком цих механізмів є втрата здатності м'яза підтримувати необхідний рівень сили чи виконувати рухове завдання впродовж тривалого періоду часу.

Узагальнюючи дані наукових джерел щодо фізіологічних та біохімічних механізмів розвитку м'язової втоми, можна констатувати наявність центральних та периферичних механізмів такого процесу, кожен з яких відображає окремі аспекти порушення функції нейром'язової системи.

Центральні механізми насамперед пов'язані зі зниженням ефективності передачі сигналів від центральної нервової системи (далі – ЦНС) до м'язів, що може бути спричинено змінами у функціонуванні головного чи спинного мозку, як-от: зниження активності моторних нейронів через виснаження нейромедіаторів у ЦНС; збільшення рівня інгібіторних сигналів або зменшення активації нейронів, що контролюють м'язи; змінами психофізичного стану (відчуття виснаження, зниження мотивації), що також впливає на здатність ЦНС підтримувати активну м'язову діяльність.

Периферичні механізми виникають безпосередньо в самих м'язових волокнах і є результатом локальних метаболічних та біохімічних змін, що пов'язані з активним накопиченням метаболітів, зокрема іонів водню (H^+), що знижують рН, викликаючи ацидоз, який уповільнює активність ферментів та порушує скорочення м'язів. Виснаження енергетичних ресурсів, особливо аденозинтрифосфату (АТФ) і креатинфосфату також сприяє обмеженню здатності забезпечення м'язового скорочення енергією. Не менш важливим є порушення йонного балансу, зокрема змін концентрації кальцію (Ca^{2+}) у саркоплазматичному ретикулумі, що здійснює вплив на регуляцію взаємодії актину й міозину. До периферичних механізмів можна віднести та деградацію скоротливих білків або зниження їхньої чутливості до кальцію, що сприяє погіршенню ефективності скорочення.

Безсумнівно, глибоке розуміння цих механізмів дає змогу ефективно розробляти та здійснювати індивідуальні стратегії для профілактики й подолання м'язової втоми. Так, у практиці спорту це сприятиме оптимізації тренувального процесу, ефективному плануванню належного харчування та відновлення, водночас у реабілі-

таційній практиці – використання методів стимуляції ЦНС, фізіотерапії або медикаментозної підтримки. Така багатовимірна концепція м'язової втоми забезпечує можливість цілеспрямованого впливу як на центральні, так і на периферичні механізми для підтримання функціональної активності організму.

Важливо розуміти, що за інтенсивно вираженої м'язової втоми в організмі відбуваються фізіологічні зміни, характерні для стресової реакції. Цей процес супроводжується порушенням гомеостазу, однак за умови його контролюваності та відсутності надмірного навантаження він може сприяти підвищенню функціональних можливостей організму. Такі адаптивні зміни містять активацію нейроендокринної регуляції, посилення мобілізації енергетичних ресурсів та тимчасове підвищення стійкості до фізичних навантажень. Так, помірно виражене стомлення виконує не лише захисну, а й тренувальну функцію, сприяючи адаптації організму до підвищених вимог діяльності.

Узагальнюючи дані низки досліджень, види м'язової втоми можна класифікувати за фізіологічними ознаками та особливостями проявів (табл. 1).

Отже, на фізіологічному рівні м'язова втома є результатом багатфакторної взаємодії між енергетичними потребами організму та його функціональними обмеженнями. Цей процес містить зміни у функціонуванні центральної та периферичної нервової системи, а також локальні порушення в м'язовій тканині, зокрема накопи-

чення метаболітів, виснаження енергетичних ресурсів і дисбаланс іонного гомеостазу. У фізіологічних умовах м'язова втома виконує захисну функцію, запобігаючи надмірному навантаженню, яке може спричинити ушкодження м'язової тканини. Однак у випадках хронічних патологій або інтенсивного фізичного навантаження вона здатна істотно обмежувати функціональну активність і знижувати якість життя.

Висновки. М'язова втома є багатовимірним фізіологічним процесом, що забезпечує захисну функцію організму, сигналізуючи про необхідність відновлення та запобігання перенавантаження систем і ресурсів організму. Дослідження механізмів і факторів, що зумовлюють розвиток м'язової втоми, а також чинників, які сприяють зменшенню її проявів, має безсумнівну актуальність з огляду на значний вплив цього явища на функціональну активність, працездатність та якість життя як здорових осіб, так і пацієнтів із різними патологічними станами. Розуміння означеної проблематики є критично важливим для розробки ефективних стратегій та методів профілактики м'язової втоми, управління й лікування, що має особливе значення у сфері спортивної фізіології, фізичної реабілітації, а також у терапії хронічних і вікових захворювань. Водночас чимало аспектів механізмів виникнення та розвитку м'язової втоми наразі залишаються недостатньо вивченими, що підкреслює необхідність проведення подальших фундаментальних і прикладних наукових досліджень.

Таблиця 1

Види м'язової втоми	Характерні особливості	Фізіологічні прояви
Гостра	виникає внаслідок короткотривалої, але інтенсивної фізичної активності, яка перевищує адаптаційні можливості організму	різке зниження серцевої продуктивності, що може призводити до серцевої недостатності; порушення регуляторної функції ЦНС та ендокринної системи; розлади водно-сольового балансу внаслідок посиленого потовиділення
Хронічна	розвивається в разі недостатнього відновлення після фізичних навантажень	зниження здатності організму до засвоєння нових моторних навичок; зменшення загальної працездатності; підвищення схильності до соматичних та інфекційних захворювань
Загальна	формується при включенні в роботу великих м'язових груп і супроводжується системними порушеннями	спостерігаються розлади функціональної регуляції ЦНС; порушення координації рухів і вегетативних функцій; зміни в серцево-судинній системі (збільшення частоти серцевих скорочень, зниження пульсового тиску); зменшення ефективності легеневої вентиляції; зниження ефективності вольового контролю за якістю виконання рухів
Локальна	розвивається внаслідок надмірного навантаження на окремі м'язові групи. Основні механізми містять локальні порушення нервово-м'язової передачі	зменшення кількості ацетилхоліну в нервово-м'язових синапсах, що знижує ефективність передачі нервового імпульсу; поступове зниження скорочувальної функції м'язових волокон

ЛІТЕРАТУРА

1. Матвієнко, Т., Заводовський, Д., Ноздренко, Д., et al. (2017). М'язова втома: фактори розвитку та шляхи корекції. *Фізіологічний журнал*, 63(1), 95–104.
2. Allen, D.G. & Westerblad, H. (2001) Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol*, 536: 657–665. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00657.x>
3. Anders M. Ristensen, Ole B. Nielsen, et al., (2019). Fatiguing stimulation increases curvature of the force–velocity relationship in isolated fast-twitch and slow-twitch rat muscles. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 222(15). URL: <https://doi.org/10.1242/jeb.204545>
4. Finsterer, J., Mahjoub, S.Z. (2014). Fatigue in Healthy and Diseased Individuals. *The American journal of hospice & palliative care*, 31: 562–575. URL: 10.1177/1049909113494748
5. Hua Zhang, Jiaqi Xu, Chunxiao Peng, Junqiang Qiu, et al. (2021). Anti-fatigue liquid formulations made from fruits. *Food Bioscience*, V. 44. URL: <https://surl.li/hzwvuo>
6. Nybo, Lars & Rasmussen, Peter (2007). Inadequate Cerebral Oxygen Delivery and Central Fatigue during Strenuous. *Exercise Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(3): 110–118. URL: DOI: 10.1097/jes.0b013e3180a031ec
7. Rijkkelijkhuizen, J., Cornelis J. de Ruiter, Peter, A., et al. (2004). Low-frequency fatigue, post-tetanic potentiation and their interaction at different muscle lengths following eccentric exercise. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 208(1): 55–63. URL: <https://doi.org/10.1242/jeb.01329>
8. Vu-Han, T.L, Reisener, M.J, Putzier, M., Pumberger, M. (2021). Scoliosis in spinal muscular atrophy. *Epub*, 50(8): 657–663. URL: 10.1007/s00132-021-04131-7
9. Yuzhou Liu, Xiaofei Shen, Mengxiang Sha, Zige Feng, Yue Liu (2023). Natural bioactive flavonoids as promising agents in alleviating exercise-induced fatigue. *Food Bioscience*, V. 51. URL: <https://surl.li/ouulhl>

REFERENCES

1. Matviienko, T., Zavodovskiy, D., Nozdrenko, D., et al. (2017). Miazova vtoma: faktory rozvytku ta shliakhy korektsii [Muscle fatigue: factors of development and ways of correction]. *Fiziologichnyi zhurnal*, 63(1), 95–104
2. Allen, D.G. & Westerblad, H. (2001) Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol*, 536: 657–665. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00657.x>
3. Anders M. Ristensen, Ole B. Nielsen, et al., (2019). Fatiguing stimulation increases curvature of the force–velocity relationship in isolated fast-twitch and slow-twitch rat muscles. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 222(15). URL: <https://doi.org/10.1242/jeb.204545>
4. Finsterer, J., Mahjoub, S.Z. (2014). Fatigue in Healthy and Diseased Individuals. *The American journal of hospice & palliative care*, 31: 562–575. URL: 10.1177/1049909113494748
5. Hua Zhang, Jiaqi Xu, Chunxiao Peng, Junqiang Qiu, et al. (2021). Anti-fatigue liquid formulations made from fruits. *Food Bioscience*, V. 44. URL: <https://surl.li/hzwvuo>
6. Nybo, Lars & Rasmussen, Peter (2007). Inadequate Cerebral Oxygen Delivery and Central Fatigue during Strenuous. *Exercise Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(3): 110–118. URL: DOI: 10.1097/jes.0b013e3180a031ec
7. Rijkkelijkhuizen, J., Cornelis J. de Ruiter, Peter, A., et al. (2004). Low-frequency fatigue, post-tetanic potentiation and their interaction at different muscle lengths following eccentric exercise. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 208(1): 55–63. URL: <https://doi.org/10.1242/jeb.01329>
8. Vu-Han, T.L, Reisener, M.J, Putzier, M., Pumberger, M. (2021). Scoliosis in spinal muscular atrophy. *Epub*, 50(8): 657–663. URL: 10.1007/s00132-021-04131-7
9. Yuzhou Liu, Xiaofei Shen, Mengxiang Sha, Zige Feng, Yue Liu (2023). Natural bioactive flavonoids as promising agents in alleviating exercise-induced fatigue. *Food Bioscience*, V. 51. URL: <https://surl.li/ouulhl>