

Бабак С. В. кандидат біологічних наук,
доцент Національний університет
фізичного виховання і спорту України
<https://orcid.org/0000-0002-6985-1394>

ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ РОЗВИТКУ ВТОМИ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Втома – це тимчасове зниження працездатності організму або органу внаслідок інтенсивної або тривалої роботи, яке виявляється в зниженні кількісних і якісних показників роботи і погіршенні адаптації. Втома – це багатогранне явище, розуміння якого лежить, в першу чергу, в площині фізіологічних та біохімічних механізмів. Втому переживає будь-яка людина впродовж життя, але частіше за інших – люди професій, які пов'язані з тривалим або короткочасним, але дуже інтенсивним навантаженням, як фізичним, так і психічним (військовослужбовці, спортсмени, хірурги тощо). Розуміння фізіологічних та біохімічних механізмів втоми лежить в основі побудови якісного та вчасного відновлення організму людини.

Ключові слова: втома; фізичне навантаження; фізіологічні механізми втоми; біохімічні механізми втоми.

Вступ. Професійна спрямованість військової освіти вимагає від військових поєднання високого інтелекту, сильної фізичної підготовки та стабільної психіки. Військові виконують різноманітну та надскладну діяльність. Часто вона вимагає значних витрат фізичних і психічних сил, що призводить до розвитку втоми. Фізична робота виконується, як короткочасна високої інтенсивності, так і тривала помірного навантаження. Фізіологічні та біохімічні механізми розвитку втоми у спортсменів і у військових (які виконують професійні фізичні дії) по суті однакові.

Мета дослідження – мета-аналіз проблематики фізіологічних та біохімічних механізмів розвитку втоми при фізичному навантаженні.

Завдання статті:

- 1) показати складність та багатогранність такого явища, як втома;
- 2) розкрити суть різних класифікацій втоми;
- 3) описати ступені та стадії розвитку втоми;
- 4) розкрити та описати суть функціональних змін в стані стомлення організму та біохімічні механізми і причини виникнення втоми;
- 5) акцентувати важливість вивчення втоми з огляду на розвиток бойової втоми у військових.

Теоретичне підґрунтя. Втома – це тимчасове зниження працездатності організму або органу внаслідок інтенсивної або тривалої роботи, яке виявляється в зниженні кількісних та якісних показників роботи і погіршенні координації робочих функцій. Є різні види втоми. Втома має декілька стадій прояву.

Втому переживає будь-яка людина впродовж життя, але частіше за інших – люди професій, які пов'язані з тривалим або короткочасним, але дуже інтенсивним навантаженням, як фізичним, так і психічним. Дослідженням втоми займаються фізіологи, біохіміки, лікарі, спортсмени, психологи та інші фахівці [1, 3, 4, 5]. Але питання про механізми втоми все ж таки розкриті неповністю. Втома – це явище досить складне, багатогранне, воно залежить від багатьох чинників: виду роботи, її інтенсивності, тривалості, від середовища, індивідуальних морфо-фізіологічних та генетичних чинників, психічного стану особи та інше. З огляду на воєнні реалії в нашій країні, окрему увагу слід приділяти вивченню причин, ознак та наслідків бойової втоми [2, 6, 7]. Тому питання розгляду і дослідження втоми є актуальним.

Втома характеризується фізіологічними та біохімічними механізмами, розуміння яких лежить в основі побудови якісного та вчасного

відновлення, як спортсмена, військовослужбовця, лікаря швидкої допомоги і осіб будь-якої складної професії.

Методи дослідження: аналіз, синтез, узагальнення наукових даних, з використанням інтернет-ресурсів з PubMed, SPORTDiscus, PsycINFO, Google Scholar.

Результати і обговорення. Втома (стомлення) – це біологічна захисна реакція організму, спрямована проти виснаження, в першу чергу, функціонального потенціалу центральної нервової системи.

Стан втоми (стомлення) виникає в результаті тривалої або досить інтенсивної роботи.

Є такі види втоми, як: розумова, сенсорна, емоційна, фізична втома.

В стані втоми ефективність роботи, що виконується, знижується (Дж. Вілмор, Д. Костілл, 2003).

Біологи виділяють декілька причин виникнення втоми:

- «втома» енергетичних систем;
- накопичення проміжних продуктів метаболізму;
- «втома» нервової системи;
- порушення скоротливого механізму м'язових волокон.

Жоден з окремих параметрів не пояснює усі аспекти стомлення.

Стомлення може виникати внаслідок дії стресу, критичних умов середовища.

Основною об'єктивною ознакою будь-якої втоми є зниження працездатності. З іншого боку, не кожний випадок зниження працездатності є втомою. Наприклад, голод, хвороба спричинюють пониження працездатності, але такі випадки не вважають втомою, тому що вони виникають не в результаті активної діяльності.

З огляду на клінічні прояви втоми, розрізняють легку втому, гостру втому, перенапруження та перетренованість. При легкій втомі працездатність не знижується. Гостра втома виникає при виконанні одноразового фізичного навантаження з максимальною силою. Перенапруження виникає при виконанні фізичної дії на тлі зниженого функціонального стану організму. Перетренованість розвивається у

спортсменів при неправильному режимі тренувань та відпочинку.

Ступінь втоми відображає зниження працездатності, що залежить від кількісної та якісної характеристик виконаної роботи..

Втома залежить від таких причина, як: локалізація втоми (провідна система, функціональні зміни в якій є причиною втоми) механізми втоми (зміни провідних функціональних систем, що обумовлюють розвиток втоми).

У розвитку втоми розрізняють:

- приховану втому, *працездатність підтримується вольовим зусиллям;*
- компенсовану втому: на виконання роботи йдуть великі енергетичні витрати;
- некомпенсовану (повну) втому: зниження працездатності. При некомпенсованій втомі пригнічуються функції наднирників, знижується активність ферментів окисного фосфорилування, відбувається вторинне посилення процесів гліколізу.

Є багато різних класифікацій втоми.

Різні стадії втоми мають певні фізіологічні та біохімічні характеристики.

Щодо змін фізіологічних процесів, то під час першої стадії втоми, відбуваються зміни у показниках серцево-судинної і дихальної систем, порівняно із нормою.

Під час другої стадії втоми далі знижується біоелектрична активність кори головного мозку, ще більш напруженою стає робота серцево-судинної та дихальної систем.

Третя стадія втоми – зниження біоелектричної активності кори великого мозку (до 22 %, порівняно із попередніми двома стадіями втоми) і погіршення функціонування серцево-судинної та дихальної систем.

Отже, відповідно до локалізації втоми є три основні групи систем, які мають відношення до виконання фізичного навантаження. Це:

- 1) регулювальні системи – нервова система (ЦНС та вегетативна нервова система), гормонально-гуморальна система;
- 2) системи дихання, крові та кровообігу;
- 3) система реалізації рухових дій.

Біохімічними причинами втоми є наступне.

1. *Вичерпання запасів креатинфосфату (КФ).* Креатинфосфат використовується в анаеробних умовах для відновлення аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) в клітинах. Зменшення концентрації креатинфосфату призводять до зменшення рівня АТФ. При виснаженні вичерпуються запаси як КФ, так і АТФ.

Для запобігання стомлення спортсмен має контролювати інтенсивність фізичних зусиль.

При дуже високій швидкості запаси КФ і АТФ швидко зменшуються, що викликає раннє стомлення. Подальше підтримання швидкості на високому рівні унеможлиблюється. Це є характерним для спортсменів, які ще не мають досвіду. Тривалі тренування дозволяють спортсмену використовувати оптимальну швидкість, щоб забезпечити найефективніше використання АТФ і КФ впродовж змагання.

Запасів АТФ у м'язах вистачає на 1 с м'язової роботи максимальної інтенсивності, а запасів креатинфосфату (КФ) – на 6–8 с. Така робота може використати практично всі запаси креатинфосфату.

АТФ зменшується не тільки в м'язових волокнах, але й у нейронах. Без АТФ нейрони не спроможні синтезувати ацетилхолін, необхідний для роботи синапсів. Отже, відбувається порушення роботи в синапсах, що зумовлює порушення роботи ЦНС. Виникає проблема в передачі електричних імпульсів по мотонейронах до скелетного м'язу. В моторних центрах утворюється γ -аміномасляна кислота (ГАМК), що розвиває захисне гальмування [1].

2. *Вичерпання запасів м'язового глікогену.*

Підтримання рівня АТФ відбувається також внаслідок аеробного та анаеробного розщеплення глікогену м'язів. Збільшення інтенсивності роботи вичерпує м'язовий глікоген, що може обмежити виконання фізичної роботи середніх зусиль.

3. *Вичерпання запасів глікогену та глюкози крові.*

При фізичних навантаженнях тривалістю декілька годин лише м'язовий глікоген не може задовольнити потреби в енергії. Цю задачу виконує глюкоза, яка постачається в м'язи з крові. Печінка постійно запасє глікоген, він розщеплюється до глюкози, яка транспортується кров'ю до м'язів.

Із збільшенням тривалості виконання фізичної роботи роль глюкози в утворенні енергії збільшується. При тривалому фізичному навантаженні печінка постійно розщеплює глікоген.

Але, слід зазначити, що запаси глікогену у печінці обмежені. Тому при тривалому використанні глюкози м'язами розвивається гіпоглікемія. У такому випадку, м'язи змушені більш інтенсивно використовувати свої резерви глікогену, що вичерпує його запаси і розвивається стомлення [1, 4].

4. *Проміжні продукти метаболізму та стомлення*

Під час короткочасного м'язового зусилля високої інтенсивності в м'язовому волокні накопичується молочна кислота.

У марафонців стомлення пов'язане з нестачею енергетичного забезпечення, але з накопиченням молочної кислоти.

Накопичена і не розщеплена молочна кислота перетворюється на лактат, а це призводить до акумуляції іонів Гідрогену. Іони Гідрогену закислюють середовище і спричиняють ацидоз.

Використання енергії різних речовин можна зобразити схематично:

глікоген (в печінці, в м'язах) \rightarrow глюкоза \rightarrow молочна кислота \rightarrow лактат \rightarrow акумуляція іонів Гідрогену (H^+) \rightarrow підкиснення м'язів \rightarrow ацидоз.

У спортсменів-спринтерів при виконанні вправ короткої тривалості, але високої інтенсивності у м'язах утворюється велика кількість лактату та іонів Гідрогену. Однак, значного закислення не відбувається, тому що в клітинах та рідинах організму є буферні системи. Зокрема, це бікарбонат. Завдяки буферним системам організму концентрації H^+ залишаються невисокими навіть під час виснажливих фізичних навантажень.

У стані виснаження м'язовий рН знижується від 7,1 до 6,6-6,4.

Знижені показники рН (нижче за 6,9) гальмують дію важливих гліколітичних ферментів, які впливають на інтенсивність гліколізу та утворення АТФ [1, 4, 5].

Розщеплення глікогену припиняється при рН 6,4. Іони Гідрогену можуть витіснити іони Кальцію з м'язових волокон, що негативно вплине на рух актину і міозину, отже, скоротлива можливість знизиться в волокнах.

Отже, на думку багатьох вчених основним обмежувачем м'язової діяльності і основною причиною втоми під час короткочасних максимальних фізичних навантажень є низький м'язовий рН.

Після спринтерського фізичного навантаження відновлення рівня м'язового рН відбувається впродовж 30-35 хв.

Визначають функціональний стан спортсмена також і показники активності симпатoadреналової системи. Ця система забезпечує активацію гормональної та медіаторної складових.

При довготривалій роботі серцево-судинної системи й дихальної системи відбувається зниження функціональних властивостей нервових регуляторних центрів. У такому випадку метаболіти не накопичуються, а втома розвивається на тлі гіпоглікемії [1, 5].

5. Втома та нервова система

Видатні фізіологи – І. Сеченов, І. Павлов, Н. Введенский, А. Ухтомський, Л. Орбеллі, Г. Фольборг вважали, що саме нервова система є місцем первинної локалізації втоми. М'язова робота здійснюється завдяки роботі нервових центрів і периферійних волокон мотонейронів. Тому, логічним є розуміння того, що втома пов'язана із виснаженням ЦНС. При тривалій роботі процеси гальмування починають переважати над процесами збудження.

В. Розенблат (1975) розробив центрально-коркову теорію втоми, яка стверджує, що початок втоми при м'язовій роботі пов'язаний із змінами у «кортикальних центрах».

Втома коркових нейронів спричинює порушення контролю над складно координаційними процесами.

Вище було вказано, що втома в нервовій системі пов'язана із гальмівним впливом γ -аміномасляної кислоти. При короткочасній роботі максимальної інтенсивності, вміст ГАМК знижується, а після довготривалої роботи – навпаки – підвищується. Ряд дослідників вбачають причину втоми саме в зміні концентрації ГАМК в нервових центрах. Розвиток захисного гальмування в нервових центрах призводить до виключення з роботи певних м'язових волокон, рухових одиниць. Отже, в результаті цього - знижується працездатність. ГАМК змінює проникливість клітинних мембран для іонів Калію, що призводить до зміни поляризації клітинної мембрани, а звідси – до порушення формування рухового імпульсу. ГАМК також конкурує із ацетилхоліном. Але, головною причиною нагромадження ГАМК науковці вважають зниження активності ферментів, які приймають участь у перетвореннях янтарної кислоти. Зокрема, в цьому контексті, окреслюється роль активності сукцинатдегідрогенази. В свою чергу, зниження активності ферментів залежить від гормональної діяльності [3].

На сьогодні втому розглядають як функціональний стан організму, спричинений розумовою чи фізичною роботою, що супроводжується тимчасовим зниженням працездатності, зміною функцій організму та появою відчуття стомленості; це біологічно доцільна реакція, спрямована проти виснаження функціонального потенціалу організму.

У фізіології розглядають: втому як стан організму, що виникає внаслідок роботи і характеризується зниженням працездатності та «втомленість» – психічне переживання.

Діяльність ЦНС може погіршуватися – або первинно, або вторинно.

При розумовій роботі, при важких ситуаціях, при боязні суперника і в деяких інших випадках зміни діяльності нервової системи є первинним чинником, що викликає втому. Вторинно діяльність нервової системи пригнічується в

результаті збільшення в крові концентрації проміжних продуктів обміну речовин, гіпоксії, гіпоглікемії, зміни вмісту гормонів в крові і т.ін. Отже, відбувається погіршення програмування та координації рухових і вегетативних функцій (виникає відчуття втоми).

Слід відмітити, що нервова система досить лабільна та пластична. Для неї є характерним перепрограмування в ході роботи. Під час виконання складної роботи (психічної чи фізичної) нервова система може переключати активність із задіяних (втомлених) клітин/органів на не задіяні (не втомлені). Це є дуже важливою властивістю нервової системи, тому що у такий спосіб мобілізуються ресурси організму і настання втоми на виснаження організму віддаляється у часі [3].

6. Нервова-м'язове стомлення

Функцією нервової системи є активація м'язових волокон. За певних обставин нездатність нервової системи до активації м'язів може викликати стомлення.

Нервовий імпульс передається по кінцевій пластинці рухового нерва до м'яза, внаслідок чого м'язова мембрана активується, при цьому саркоплазматичний ретикулум виділяє кальцій. Кальцій з'єднується із тропоніном, що ініціює м'язове скорочення.

Причинами стомлення на кінцевій пластинці рухового нерва м'яза можуть бути наступними:

✓ виділення або синтез ацетилхоліну – нейромедіатора, що переключає нервовий імпульс з рухового нерва на мембрану м'яза, може бути зниженою;

✓ холінестераза – фермент, що розщеплює ацетилхолін після того, як той переключив імпульс може стати гіперактивною, запобігаючи утворенню достатньої концентрації ацетилхоліну для ініціації потенціалу дії;

✓ активність холінестерази може знизитися (гіпоактивність), внаслідок чого відбудеться надмірне накопичення ацетилхоліну, що паралізує волокно;

✓ може підвищитися поріг збудження мембрани м'язового волокна;

✓ деякі субстанції можуть бути конкурентами ацетил холу щодо зв'язування із рецепторами мембрани, не активуючи її;

✓ калій може вийти із внутрішньоклітинного простору скоротного м'яза, чим знизити наполовину потенціал мембрани [3, 5].

Отже, можна підсумувати біохімічні чинники втоми при виконанні роботи різної за тривалістю та потужністю.

При виконанні короточасних вправ максимальної та субмаксимальної потужності головними чинниками, що спричинюють розвиток втоми є:

1) утворення АДФ і накопичення H^+ , зниження рН,

2) виражене зниження вмісту м'язового глікогену у швидкоскорочувальних волокнах,

3) порушення електрохімічного сполучення при передачі збудження з нерва на м'яз,

4) розвиток захисного гальмування,

5) порушення механізмів передачі нервового імпульсу і мозкового кровообігу,

6) зміни концентрації неорганічного фосфату, інозинмонофосфату (ІМФ), максимальне накопичення лактату в тканинах,

7) розвиток захисного гальмування в ЦНС, а також порушення механізмів передачі нервового імпульсу і мозкового кровообігу,

8) зміни концентрації неорганічного фосфату, інозинмонофосфату (ІМФ), накопичення аміаку в тканинах (при максимальному навантаженні).

При тривалому виконанні вправ великої і помірної потужності виникає втома, яку викликає цілий комплекс чинників:

1) вичерпання внутрішньом'язових запасів глікогену,

2) накопичення продуктів неповного окислення жирів,

3) надмірне накопичення аміаку (NH_3) і інозинмонофосфату (ІМФ),

4) розвиток гіпоглікемії,

5) порушення електрохімічного сполучення в працюючих м'язах,

6) погіршення діяльності ЦНС в

Питання психології

умовах вираженої гіпертермії, дегідратації і зсуву електролітного балансу організму [1, 3, 4, 5].

При виконанні циклічної роботи великої потужності виснажуються нервові центри, швидко знижується працездатність органів дихальної системи та системи кровообігу, збільшується кисневий борг, накопичені недоокиснені продукти метаболізму порушують функціонування нервових центрів.

При статичній роботі відсутнє ритмічне чергування збудження із гальмування в нервових центрах, що призводить до зниження їх працездатності та швидкого розвитку втоми.

Фізична втома неоднорідна, вона залежить також від кількості задіяних м'язів. Природа та механізми втоми, що виникає при локальній м'язовій роботі, суттєво відрізняються від втоми, що виникає при глобальній м'язовій діяльності. Спортсмени та військовослужбовці в своїй діяльності часто задіюють переважну більшість скелетних м'язів.

З огляду на реалії сьогодення України, яка веде визвольну боротьбу з російським агресором, актуальним є ретельне дослідження такого виду втоми, як «бойова

втома». Цей вид втоми виникає під час бойових дій. Зазвичай, в боях помірної інтенсивності 20-25% військових страждають на бойову втому, а під час інтенсивних бойових дій – ще більше – 30-50% [7].

Фахівці останнім часом стали приділяти увагу бойовій втомі. На їх погляд, бойова втома є неминучою під час бою, але слід розробляти методи роботи з постраждалими з метою запобігання складних пролонгованих наслідків.

Висновки. Фізіологічні та біохімічні зміни, що виникають в організмі при фізичному навантаженні і призводять в результаті до зниження працездатності, характеризуються багатогранністю. Характер змін залежить від якості та кількості фізичної роботи, зокрема, і в першу чергу, від її інтенсивності, потужності та тривалості. У кожному конкретному випадку причинами втоми є комплексна дія всіх функціональних та біохімічних змін.

Перспективним напрямком подальших досліджень втоми є дослідження такого виду втоми, як бойова втома з метою запобігання великої кількості постраждалих від неї.

Список використаних джерел

1. Біохімічні фактори втоми та процесів відновлення https://repository.ldufk.edu.ua/bitstream/34606048/4586/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86_3.pdf
2. Кальниш, В. В., Скочко, Т. В. (2020). Особливості формування хронічної втоми в комбатантів із тривалим перебуванням у зоні бойових дій, які лікуються в мобільному шпиталі після поранення чи захворювання. Повідомлення 1. Структура симптомів стану «вигорання» у комбатантів. Український журнал з проблем медицини праці, 16(2), 115–128. <https://doi.org/10.33573/ujoh2020.04.261>
3. Маракушин, Д. І., Чернобай, Л. В., Ващук М. А. та ін. (2021). Фізіологічні механізми розвитку втоми. Медична наука України, 17(2), 125–131. <file:///C:/Users/user/Downloads/17-40-PB.pdf>
4. Матвієнко, Т. Ю., Заводовський, Д. О., Ноздренко, Д. М., та ін. (2017). М'язова втома: фактори розвитку та шляхи корекції. Фізіологічний журнал, 63(1), 95–104. https://fz.kiev.ua/journals/2017_V.63/2017_1/1_2017-95-104.pdf
5. Циба, Ю. Г., Молдован, А. Д., Горюк, П. І. (2021). Медико-біологічні технології підвищення працездатності спортсменів. Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича.
6. Balacki, M. F. (1992). Battle fatigue intervention: a vital role for nursing. *Mil Med*, 157(4), 192–195. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1620381/>
7. Hravnak, M., Pellathy, T., Chen, L. et al. (2018). A call to alarms: Current state and future directions in the battle against alarm fatigue. *J Electrocardiol.* 51(6S), 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2018.07.024>

References

1. Biokhimichni faktory vtoomy ta protsesiv vidnovlennia [Biochemical factors of fatigue and recovery processes https://repository.ldufk.edu.ua/bitstream/34606048/4586/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86_3.pdf (in Ukrainian)

2. Kalnysh, V. V., Skochko, T. V. (2020). Osoblyvosti formuvannia khronichnoi vtomy v kombatantiv iz tryvalym perebuivanniam u zoni boiovykh dii, yaki likuiutsia v mobilnomu shpytali pislia poranennia chy zakhvoriuvannia. Povidomlennia 1. Struktura symptomiv stanu «vyhorannia» u kombatantiv [Peculiarities of the formation of chronic fatigue in combatants with a long stay in the combat zone, who are treated in a mobile hospital after injury or illness. Message 1. The structure of symptoms of "burnout" in combatants. Ukrainian journal on problems of occupational medicine]. *Ukrainskyi zhurnal z problem medytsyny pratsi*, 16(2), 115–128. <https://doi.org/10.33573/ujoh2020.04.261> (in Ukrainian)
3. Marakushyn, D. I., Chernobai, L. V., Vashchuk M. A. ta in. (2021). Fiziolohichni mekhanizmy rozvytku vtomy [Physiological mechanisms of fatigue development]. *Medychna nauka Ukrainy*, 17, № 2, 125–131. <file:///C:/Users/user/Downloads/17-40-PB.pdf> (in Ukrainian)
4. Matviienko, T. Yu., Zavodovskiy, D. O., Nozdrenko, D. M., ta in. (2017). Miazova vtoma: faktory rozvytku ta shliakhy koreksii [Muscle fatigue: factors of development and ways of correction]. *Fiziolohichni zhurnal*, 63, № 1, 95–104. https://fz.kiev.ua/journals/2017_V.63/2017_1/1_2017-95-104.pdf (in Ukrainian)
5. Tsyba, Yu. H., Moldovan, A. D., Horiuk, P. I. (2021). Medyko-biolohichni tekhnolohii pidvyschennia pratsezdatsnosti sportsmeniv [Medical and biological technologies for improving the working capacity of athletes] *Chernivetskyi nats. un-t im. Yu. Fedkovycha*. (in Ukrainian)
6. Balacki, M. F. (1992). Battle fatigue intervention: a vital role for nursing. *Mil Med*, 157(4), 192–195. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1620381/>
7. Hravnak, M., Pellathy, T., Chen, L. et al. (2018). A call to alarms: Current state and future directions in the battle against alarm fatigue. *J Electrocardiol*. 51(6S), 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2018.07.024>

Summary

*Babak S. V. Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor National University of Ukraine
on Physical Education and Sport*

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL MECHANISMS OF THE DEVELOPMENT OF FATIGUE DURING PHYSICAL LOADS

Introduction. *Fatigue is a temporary decrease in the performance of an organism or an organ due to intensive or long-term work, which is manifested in a decrease in quantitative and qualitative indicators of work and deterioration of adaptation. Fatigue is a multifaceted phenomenon, the understanding of which lies, first of all, in the plane of physiological and biochemical mechanisms. Fatigue is experienced by any person throughout life, but more often than others by people whose professional activity is associated with long-term or short-term, but very intense work, both physical and mental (military personnel, athletes, surgeons, etc.). Understanding the physiological and biochemical mechanisms of fatigue is the basis of building a high-quality and timely recovery of the human body.*

Purpose. *Presentation of the essence and problems of physiological and biochemical mechanisms of the development of fatigue during physical load.*

Methods: *analysis, synthesis, generalization of scientific data, using Internet resources from PubMed, SPORTDiscus, PsycINFO, Google Scholar.*

Results. *Biochemical causes of fatigue: depletion of creatine phosphate reserves, depletion of muscle glycogen reserves, depletion of glycogen and blood glucose reserves, intermediate products of metabolism and fatigue, nervous system fatigue, neuromuscular fatigue.*

When performing short-term exercises of maximal and submaximal power, the main factors causing the development of fatigue are: the formation of ADP and the accumulation of H⁺, a decrease in pH, a pronounced decrease in the content of muscle glycogen in fast-twitch fibers, a violation of electrochemical coupling during the transmission of excitation from a nerve to a muscle, the development of protective inhibition, disruption of the mechanisms of nerve impulse transmission and cerebral blood circulation, changes in the concentration of inorganic phosphate, inosine monophosphate (IMP), the maximum accumulation of lactate in tissues, the development of protective inhibition in the central nervous system, as well as disruption of the mechanisms of transmission of nerve impulses and cerebral blood circulation, changes in the concentration of inorganic phosphate, inosine monophosphate (IMP), accumulation of ammonia in tissues (at maximum load).

During prolonged exercise of high and moderate power, fatigue occurs, which is caused by a whole set of factors: exhaustion of intramuscular glycogen reserves, accumulation of products of incomplete oxidation of fats, excessive accumulation of ammonia (NH₃) and inosine monophosphate (IMP),

development of hypoglycemia, violation of electrochemical coupling in working muscles, deterioration of CNS activity in conditions of severe hyperthermia, dehydration and a shift in the body's electrolyte balance.

When performing cyclic work of high power, the nerve centers are exhausted, the efficiency of the organs of the respiratory system and the circulatory system decreases rapidly, the oxygen debt increases, the accumulated underoxidized metabolic products disrupt the functioning of the nerve centers. During static work, there is no rhythmic alternation of excitation from inhibition in the nerve centers, which leads to a decrease in their efficiency and rapid development of fatigue. Physical fatigue is heterogeneous, it also depends on the number of muscles involved. The nature and mechanisms of fatigue arising from local muscle work are significantly different from fatigue arising from global muscle activity. Athletes and military personnel often use the vast majority of skeletal muscles in their activities.

Originality. *A comprehensive approach to addressing the issue of fatigue. Outline the direction of further research and the implementation of theoretical knowledge in practice (relates to the study of combat fatigue). Specialists have recently begun to pay attention to combat fatigue. In their opinion, combat fatigue is inevitable during combat, but methods of working with the injured should be developed in order to prevent complex prolonged consequences.*

Conclusion. *Physiological and biochemical changes that occur in the body during physical load and lead to a decrease in working capacity are characterized by multifacetedness. The nature of changes depends on the quality and quantity of physical work, in particular, and first of all, on its intensity, power and duration. In each specific case, the causes of fatigue are the complex effect of all functional and biochemical changes.*

A promising direction for further research on fatigue is the study of such a type of fatigue as combat fatigue with the aim of preventing a large number of victims from it.

Key words: *fatigue; physical load; physiological mechanisms of fatigue; biochemical mechanisms of fatigue.*

Received/Поступила: 31.01.23.