

ННЦ «ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ»

Кафедра фізіології та анатомії

ТЕТЯНА КУЦЕНКО

«Фізіологія праці»



КИЇВ-2025

УДК 612.766.1+ 612.745.6

ББК 28.707.3

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Навчально-наукового центру "Інститут біології та медицини" Київського
національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 5 від 31 жовтня 2025 року)*

Рецензенти:

Плиска О.І., завідувач кафедри біології природничого факультету Українського державного університету імені Михайла Драгоманова, доктор мед. наук, професор

Юхименко Л.І., доцент кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації Навчально-наукового інституту фізичної культури, спорту і здоров'я Черкаського національного університету, доктор біол. наук.

ФІЗІОЛОГІЯ ПРАЦІ Т.В. Куценко/ Упоряд. Т.В. Куценко – К. : Електронне видання, 2025. – 178 с.

Навчальний посібник з дисципліни «Фізіологія праці» створений у відповідності до робочої програми навчальної дисципліни «Фізіологія праці і спорту», яка викладається для студентів кафедри фізіології та анатомії ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Посібник присвячений висвітленню основних положень науки, що вивчає закономірності функціонування організму людини в умовах трудової діяльності та фізичних навантажень. У першій частині подано огляд історії становлення фізіології праці як наукової дисципліни, розглянуто загальні поняття та категорії, що визначають предмет і завдання курсу. Значну увагу приділено класифікації форм праці, аналізу фаз працездатності та фізіологічних механізмів їх забезпечення. Окремий розділ присвячено характеристиці енергетичного обміну, джерелам і шляхам утворення енергії, а також їх ролі у підтриманні працездатності організму людини. До розділів додаються питання та ситуативні задачі для самоперевірки знань студентів. Посібник призначений для студентів закладів вищої освіти спеціальності «Біологія», магістрантів, аспірантів, викладачів, а також фахівців у галузі фізіології праці, спорту, охорони здоров'я та реабілітації.

Таблиць 24, рисунків 31, бібліогр. 77: 178 стор.

УДК 612.766.1+ 612.745.6

ББК 28.707.3

© Куценко Т.В., 2025.

ЗМІСТ

	Стор.
Перелік умовних скорочень	5
Вступ	6
1. Історія розвитку фізіології праці як науки	8
1.1. Розвиток фізіології праці у світі	8
1.2. Розвиток фізіології праці в Україні	22
<i>Список літератури до теми «Історія розвитку фізіології праці як науки»</i>	32
<i>Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Історія розвитку фізіології праці як науки»</i>	34
2. Фізіологія праці як наука.	36
2.1. Визначення, мета, задачі фізіології праці.	36
2.2. Методи фізіології праці	39
2.3. Поняття про ергономіку	43
<i>Список літератури до теми «Фізіологія праці як наука»</i>	47
<i>Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Фізіологія праці як наука»</i>	47
3. Енергетичний обмін	50
3.1. Джерела енергії для організму	50
3.2. Енергетичні потреби організму	55
3.3. Три основні енергетичні системи організму	69
3.4. Внесок енергетичних систем під час фізичних навантажень	76
3.5. Роль лактату у виконанні фізичних навантажень	84
3.6. Застосування теорії на практиці. Зональні моделі розподілу інтенсивності тренувань	96
3.7. Аеробна тренувальна зона	99
<i>Список літератури до теми «Енергетичний обмін»</i>	109
<i>Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Енергетичний обмін»</i>	112
4. Види і форми праці.	117
4.1. Основні поняття	117
4.2. Форми праці.	120
4.2.1. Форми праці (за умовами виконання)	121
<i>Список літератури до теми «Види і форми праці»</i>	140
<i>Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Види і форми праці»</i>	141
5. Фази трудової діяльності.	143
5.1. Передстартовий, передробочий стан	144

5.2.	Основний робочий період	149
5.2.1.	Впрацьовування.	149
5.2.2.	Стан стійкої працездатності	160
5.3.	Фаза зниження працездатності (втома)	162
5.4.	Відновний період після роботи.	171
	<i>Список літератури до теми «Фази трудової діяльності»</i>	174
	<i>Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Фази трудової діяльності»</i>	176

Перелік умовних скорочень

АТФ – аденозинтрифосфат

ДК – дихальний коефіцієнт

КФ – креатин фосфат

МСК – максимальне споживання кисню

ПЛ – поріг лактату

ПНЛК – початок накопичення лактату в крові

СО – систолічний об'єм

Фн – неорганічний фосфат

ХОК – хвилинний об'єм крові

ЦНС – центральна нервова система

ЧД – частота дихання

ЧСС – частота серцевих скорочень

ЧПУ – числове програмне управління

E_{qO_2} – вентиляційний еквівалент за O_2

E_{qCO_2} – вентиляційний еквівалент за CO_2

$V'E$ – об'єм повітря, яке вентилується

$V'O_2$ – об'єм спожитого кисню

$V'CO_2$ – об'єм виділеного CO_2

VO_{2max} – максимальне споживання кисню

Вступ

Фізіологія праці і спорту є однією з важливих дисциплін у системі підготовки майбутніх біологів та фізіологів, адже вона дає цілісне уявлення про особливості функціонування організму людини в умовах трудової та спортивної діяльності. Людська праця та фізична активність у всіх її проявах супроводжуються напруженням функціональних систем організму, змінами в роботі нервової, серцево-судинної, дихальної, м'язової та інших систем, а також перебудовою енергетичного обміну. Розуміння цих закономірностей є основою для забезпечення високої працездатності, попередження перевтоми, раціональної організації режимів навантаження та відпочинку.

Предмет фізіології праці і спорту охоплює вивчення механізмів, за допомогою яких організм адаптується до різних видів діяльності. Під час виконання фізичної роботи чи занять спортом у тілі людини відбувається активація серцево-судинної і дихальної систем, посилюється кровообіг і постачання тканин киснем, інтенсифікуються обмінні процеси, мобілізуються енергетичні ресурси. Організм має здатність пристосовуватися до навантажень, що проявляється у феномені тренуваності, розвитку витривалості, сили, швидкісних і координаційних якостей. У той же час надмірні навантаження без достатнього відновлення призводять до зниження працездатності, розвитку втоми, а в деяких випадках — до патологічних змін.

Особливе значення має вивчення закономірностей енергетичного забезпечення роботи. Енергія, необхідна для діяльності, утворюється в процесі обміну речовин, і від співвідношення аеробних та анаеробних шляхів її отримання залежить тривалість і ефективність виконання навантаження. Важливим завданням фізіології є також вивчення процесів відновлення після праці та спорту, адже саме у фазі відпочинку відбувається компенсація витрачених ресурсів і формування нових функціональних можливостей.

Фізіологія праці і спорту має не лише теоретичне, а й прикладне значення. Її положення використовуються у сфері охорони праці та ергономіки для створення безпечних і комфортних умов діяльності, визначення

оптимальних режимів праці й відпочинку, профілактики стомлення. У спорті фізіологічні знання застосовуються при побудові тренувального процесу, контролі за станом спортсменів, підвищенні ефективності фізичної підготовки та запобіганні перенавантаженням.

Важливим напрямом є також вивчення впливу праці та фізичних вправ на здоров'я людини. Регулярна м'язова активність сприяє розвитку та зміцненню функціональних систем, підвищенню опірності до захворювань, формуванню стресостійкості. У той же час недостатня рухова активність або неправильна організація трудових і спортивних навантажень можуть мати негативні наслідки для організму. Тому фізіологія праці і спорту надає студентам знання, необхідні для раціонального використання фізичних вправ, формування здорового способу життя і професійної працездатності.

Засвоєння курсу дозволяє майбутнім фахівцям зрозуміти глибинні механізми функціонування організму, навчитися оцінювати рівень фізичної і психофізіологічної адаптації людини, обґрунтовувати рекомендації щодо оптимізації трудової та спортивної діяльності. Вивчення дисципліни формує наукове мислення, вчить поєднувати теоретичні знання з практичними завданнями, сприяє підготовці спеціалістів, здатних забезпечувати високу ефективність діяльності людини при збереженні її здоров'я.

Таким чином, фізіологія праці і спорту є необхідною складовою професійної підготовки біологів-фізіологів та фахівців у суміжних галузях. Вона дає цілісне уявлення про функціональні можливості організму в умовах різних навантажень, формує практичні навички аналізу та оцінки працездатності, сприяє розробці ефективних систем праці, відпочинку і тренувань, спрямованих на підвищення продуктивності, розвиток фізичного потенціалу та зміцнення здоров'я людини.

1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ФІЗІОЛОГІЇ ПРАЦІ ЯК НАУКИ

1.1. Розвиток фізіології праці у світі

Фізіологія праці як наукова дисципліна сформувалася на стику таких галузей, як загальна фізіологія, медицина праці, біомеханіка, психологія та ергономіка. Її мета - вивчення функціональних можливостей організму людини в умовах трудової діяльності, розробка методів оптимізації праці, підвищення продуктивності та зниження втоми.

Передумовами формування фізіології праці були розвиток експериментальної фізіології, індустріалізація і збільшення навантажень на працівників, потреба в науковому обґрунтуванні норм праці та режимів праці і відпочинку. Становлення фізіології праці як окремої галузі відбувалось в кінці XIX - на початку XX ст.

Технології **Першої промислової революції** (1760–1870) базувалися на контролі над паром та паровими двигунами. Ці технології розширили нові галузі промисловості, такі як текстильні фабрики та залізничний транспорт у першій половині дев'ятнадцятого століття. Ця нова ситуація поступово створювала нові види праці та робочого середовища [12].

Німеччина була одним із перших центрів розвитку експериментальної фізіології. Роботи **Германа Гельмгольца** (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-1894), **Еміля Дюбуа-Реймона** (Emil Heinrich du Bois-Reymond 1818-1896), **Рудольфа Вірхова** (Rudolf Ludwig Karl Virchow, 1821-1902) впливали на розуміння фізіології руху, нервової провідності, втоми. У 1903 році психофізіолог **Гуго Мюнстерберг** (Hugo Münsterberg, 1863-1916) почав вивчати психологію праці, що пізніше інтегрувалось з фізіологічним підходом. Він став автором перших робіт з визначення професійної придатності.

Герман Людвіг Фердинанд фон Гельмгольц (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-1894) – німецький фізик, фізіолог і психолог, чий

дослідження справили значний вплив на розвиток науки про зір. У працях з фізіологічної оптики він розкрив закономірності формування просторового сприймання та наголосив на провідній ролі м'язових рухів і пропріоцептивних відчуттів у створенні зорових образів. Вчений запропонував гіпотезу «несвідомих умозаключень», відповідно до якої величина та віддаленість предмета визначаються не лише фізичними характеристиками зображення на сітківці, а й сигналами від м'язів, що забезпечують акомодацию та конвергенцію очей. Згідно з цим підходом, зорове сприймання постає як активний пізнавальний процес, у ході якого мозок інтерпретує сенсорну інформацію, співвідносячи її з минулим досвідом. Таким чином, ідеї Гельмгольца стали підґрунтям для подальшого розвитку експериментальної психології та фізіології зору, заклавши основи уявлень про складний, інтегративний характер перцептивної діяльності людини.

Еміль Дюбуа-Реймон (Emil Du Bois-Reymond, 1818-1896) - німецький фізіолог, засновник електрофізіології. Дюбуа-Реймонд розробив низку нових приладів, що дозволили розвинутися електрофізіологічним дослідженням.

Анджело Моссо (Angelo Mosso, 1846-1910) - італійський фізіолог, який винайшов метод нейровізуалізації. Ним було встановлено, що тиск крові в судинах та частота пульсу змінюються при зміні емоційного стану обстежуваної особи. На першому Міжнародному конгресі фізіологів у Базелі, Швейцарія, Анджело Моссо обговорив свої висновки щодо м'язової втоми, демонструючи роботу ергографа (реєстратора роботи). Сто шістнадцять років по тому кар'єра, наукові досягнення та спадщина Моссо у вивченні м'язової втоми були відзначені на Міжнародному конгресі фізіологічних наук 2005 року. Він продемонстрував, що фізичні вправи збільшують м'язову силу та витривалість, одночасно подовжуючи період втоми, яка, як він постулював, являє собою хімічний процес, що включає вироблення токсичних речовин, таких як вугільна кислота. Ним було описано явище контрактури, а його колективні дослідження привели до формулювання законів, що стосуються виснаження, та до публікації 1891 року книги «La Fatica» («Втома») [7].

Анджело Моссо зробив значний внесок у розвиток усіх галузей сучасної фізіології. Він вважав, що «за допомогою графічного методу серцебиття, задишки, тремтіння м'язів, швидкість крові, слово, сприйняття, яке вони залишають про себе, є незгладимими слідами». Головною метою Моссо було точно виміряти м'язову роботу людини. Таким чином, Моссо сконструював прилад, який міг точно виміряти м'язову механіку працівника. Він назвав цей прилад ергографом, що означає «реєстратор роботи». Він був палким пропагандистом педагогічної важливості фізичних вправ і тренувань для психофізичного розвитку підлітків. Для Моссо втома та тренування були основою спорту, і у своїй промові на Олімпійських іграх у Римі в 1905 році він заявив: «У м'язовому опорі втомі полягає більша частина майбутнього багатства нашої країни». Дійсно, він писав: «Я вважаю, що педагогіка, як і медицина, є мистецтвом, і вона служить допомозі природі». Важливо, що Моссо намагався поєднати філософські та психологічні дослідження з біологічними. Цей цілісний підхід зараз широко застосовується в когнітивній нейронауці, і він відроджується у фізіології фізичних вправ [7].

Історичний розвиток ергономіки праці відображає поступове усвідомлення людством необхідності адаптації робочого середовища до потреб людини. Уже в 5 столітті до н.е. у грецькій цивілізації застосовувалися ранні ергономічні принципи. Гіппократ описав оптимальне розташування робочого місця хірурга та інструментів для зменшення фізичного навантаження під час операцій. Подібні підходи фіксувалися в єгипетській, індійській і китайській культурах, де інструменти й робочі простори проектувалися з урахуванням зручності користувача. У Середньовіччі ергономічні знання залишалися емпіричними, але з початком індустріальної революції в 18–19 століттях увага до умов праці зросла через масове використання машин [6].

Войцех Ястшебовський (Wojciech Bogumił Jastrzębowski, 1799 -1882) опублікував роботу «Огляд ергономіки, або науки про працю, заснованої на істинах, витягнутих з науки про природу» (An outline of ergonomics, or the

science of work based upon the truths drawn from the natural sciences). У 1857 році, в останні роки Першої промислової революції Войцех Ястшебовський визначив нову наукову систему, щоб вказати на необхідність нового наукового погляду на взаємозв'язок між людиною та працею. Він написав статтю та назвав цю нову науку *ergonomji* (польською мовою), що складається з двох грецьких слів: *Ergon* (робота) та *Nomos* (закон).

Макс Рубнер (Max Rubner, 1854-1932) - німецький фізіолог і гігієніст, досліджував енергетику різних типів діяльності. Рубнера пам'ятають за його дослідження в галузі метаболізму, фізіології енергії, гігієни та дієтичного термогенезу. Його найвідоміші дослідження зосереджені на тому, що він назвав «ізодинамічним законом» калорій (продемонстрованим у 1873 році та опублікованим десятиліттям пізніше), згідно з яким форма споживання калорій людиною не має значення для її впливу на енергетичний баланс, часто перефразований як «калорія є калорія». У 1902 році Рубнер висловив свою думку, що це надмірне спрощення, заявивши, що «вплив певних поживних речовин на залози» може змінювати вплив певних продуктів на енергетичний баланс, точка зору, яка зараз отримує все більше визнання. У 1883 році Рубнер представив «гіпотезу поверхні», яка стверджувала, що швидкість метаболізму птахів і ссавців, які підтримують стабільну температуру тіла, приблизно пропорційна площі їхньої поверхні тіла. Правило поверхні Рубнера, також відоме як закон поверхні Рубнера, стверджує, що базальний рівень метаболізму ендотермних тварин пропорційний площі поверхні їхнього тіла, зокрема з показником $2/3$ їхньої маси тіла. Це правило, запропоноване Максом Рубнером у 1883 році, ґрунтувалося на ідеї, що метаболічне продукування тепла має відповідати втратам тепла через поверхню тіла для підтримки стабільної температури. Однак подальші роботи, зокрема Макса Клейбера, показали, що рівень метаболізму масштабується з показником ближче до $3/4$, що свідчить про те, що правило є надмірним спрощенням. Макс Рубнер також відомий своєю «теорією швидкості життя», яка припускала, що повільний метаболізм збільшує тривалість життя тварини. Його спостереження полягало

в тому, що більші тварини переживають менших тварин, а швидкість метаболізму більших тварин була пропорційно нижчою. Теорія, можливо, була натхненна промисловою революцією логікою, що чим більше працює машина, тим швидше вона зношується.

Німецький фізіолог **Нафанаїл (Натан) Цунц** (Nathan Zuntz; 1847-1920) - один із піонерів сучасної висотної фізіології та авіаційної медицини. Цунц здобув популярність завдяки винаходу дихального апарату Цунца-Гепперта у 1886 році та першої бігової доріжки Laufband у 1889 році. До цієї експериментальної установки Цунц пізніше, у 1914 році, додав рентгенівський апарат для визначення змін об'єму серця під час фізичних навантажень. Крім того, він сконструював кліматичну камеру для вивчення фізичних навантажень у різних, а іноді й екстремальних кліматичних умовах. Для польових досліджень Цунц винайшов переносний Gasuhr (вимірювальний прилад для сухого газу). Цунц першим описав різницю між лабораторними даними, отриманими в гіпобаричній камері, та вимірюваннями на великій висоті. Він виявив, що барометрична формула не підходить до застосування в польових умовах. Дві експедиції на повітряній кулі в 1902 році, здійснені Цунцем та його учнем Ф. Шреттером, ознаменували крок від наземної фізіології до авіаційної медицини. У співпраці з авіаційною та армійськими установами Цунц та Ф. Шреттер побудували систему постачання кисню та спроектували кабінку під тиском для екстремальних висот понад 10 000 м, що стало попередником сучасних систем в авіації та космонавтиці [8].

Розвиток індустріалізації вимагав наукового аналізу робочих процесів. **Жюль Амар** (Jules Amar, 1879–1935) є сновоположником фізіології праці у Франції. Він написав працю «Le moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel» («Людський мотор і наукові основи професійної праці», 1914), створив ергографічні методики для вимірювання м'язової втоми, був одним із перших, хто почав досліджувати ергономіку, тобто пристосування умов праці до фізіологічних можливостей людини. Вивчав вплив інтенсивності праці на функції м'язів, серця, дихання. Роботи Жюля Амара

допомогли започаткувати дві важливі наукові дисципліни - фізіологію праці та ергономіку. У книзі «Продуктивність людини-машини: дослідження праці» (1909) Амар писав про необхідність біологічного аналізу соціального життя, особливо життя людей на роботі. Він проаналізував перетворення енергії людиною та розробив прикладну науку, яка визначала роботу відповідно до можливостей людини. Його метою було вивчення людської діяльності з метою покращення соціального благополуччя.

Едгар Ацлер (Edgar Atzler, 1887 - 1938) - німецький фізіолог. Його вважають фактичним засновником галузі, що займається фізіологією та гігієною праці. З 1921 року Ацлер був науковим членом Інституту фізіології праці кайзера Вільгельма. З 1921 по 1926 рік він очолював лабораторію спортивної фізіології Німецького коледжу фізичного виховання, а потім у 1926 році став директором Інституту фізіології праці кайзера Вільгельма в Берліні. Під його керівництвом у 1929 році інститут було перенесено до Дортмунда (нині Інститут молекулярної фізіології імені Макса Планка). З 1922 по 1937 рік він викладав на посаді доцента в Берлінському університеті, де з 1934 року існували кафедра та Інститут медицини праці лікарні Шаріте. У 1927 році Едгар Ацлер опублікував довідник з фізіології праці під назвою «Тіло та праця». Він також був редактором журналу «Arbeitsphysiologie» (Фізіологія праці).

Анрі П'єрон (Henri Piéron, 1881-1964) - фізіолог, психолог, один із засновників нейрофізіології праці. Написав роботу «L'étude expérimentale du travail» (Експериментальне вивчення праці). Запроваджував об'єктивні тести працездатності. Вивчав увагу, втомлюваність, ритм праці, реакцію на сенсорні подразники. Працював над оптимізацією трудових процесів у залежності від біоритмів. **Едуар Тулуз** (Édouard Toulouse, 1865-1947) - французький психіатр, журналіст і директор літературного журналу «Demain». Він заснував Лігу гігієни та психічної профілактики у грудні 1920 року. Тест скасування Тулуз-П'єрона (1904) – це класичний психометричний інструмент для оцінки вибіркової/тривалої уваги, швидкості обробки інформації та зорово-

перцептивних здібностей, який дотепер використовується при тестуванні неврологічних розладів, таких як епілепсія, розсіяний склероз або хвороба Альцгеймера.

Жорж Дюма (Georges Dumas, 1866–1946), психофізіолог і медик. Вивчав емоційні стани та їхній вплив на продуктивність праці. Аналізував вплив шуму, монотонії, втоми на стан робітника. Під час Першої світової війни Дюма працював психіатром і згодом виклав свої спостереження, накопичені за цей період, в «*Troubles mentaux et troubles nerveux de guerre*» («Психічні розлади та нервові розлади війни») (1919). Він пов'язує багато психологічних труднощів, що виникають на полі бою, з конституціональною схильністю. Дюма створив перші психологічні лабораторії в Бразилії, а також Інститут університету Парижа в Буенос-Айресі.

Поль Ріше (Paul Marie Louis Pierre Richer, 1849–1933), фізіолог і анатом, скульптор, медальєр та художник-анатом, дослідник рухових функцій людини. Вивчав біомеханіку м'язових рухів, брав участь у розробці пристроїв для оцінки фізичного навантаження. Його доробком є важливий внесок у розуміння руху й координації під час трудової діяльності. Його скульптури можна знайти в музеях по всій Європі, зокрема в Музеї д'Орсе.

В Англії у XIX ст. вивчалася втома та її зв'язок із тривалістю робочого дня. Дослідження проводились в галузі фізіології дихання, серцевої діяльності та терморегуляції під час праці. В цей період зростає інтерес до умов праці в шахтах і фабриках: медико-фізіологічні обстеження робітників.

Арчибальд Вівієн Гілл (Archibald Vivian Hill 1886 - 1977) - англійський фізіолог, один з основоположників біофізики. У 1922 році він отримав Нобелівську премію з фізіології і медицини (спільно з Отто Меєргофом) за роботи в області термодинаміки м'язової діяльності. Досліджував теплоутворення в м'язах, енергетичні витрати при фізичній роботі. Заклав основи енергетики м'язової діяльності. Значення його робіт для фізіології праці полягає у вивченні м'язової ефективності, навантаження і витривалості робітника.

Джон Скотт Холдейн (John Scott Haldane, 1860–1936) - фізіолог, дослідник дихання і газообміну. Він був шотландським лікарем, фізіологом і філософом, відомим своїми безстрашними самоекспериментами, які привели до багатьох важливих відкриттів про людський організм та природу газів. Він також проводив експерименти на своєму синові, відомому біологу Дж. Б. С. Холдейні, навіть коли той був досить юним. Джон Скотт Холдейн замикався в герметичних камерах, вдихаючи потенційно смертельні коктейлі газів, одночасно записуючи їхній вплив на свій розум і тіло. Вивчав вплив вуглекислого газу, гіпоксії, умов праці у шахтах та підводних середовищах. Проводив дослідження функціонального стану організму в екстремальних умовах праці. Практичним застосуванням є розробка стандартів безпеки у промисловості. Дослідження Холдейном декомпресійної хвороби привели до концепції поетапної декомпресії та перших достатньо надійних таблиць декомпресії, а його математична модель досі використовується у значно модифікованих формах для обчислення графіків декомпресії.

Едвард Адріан (Edgar Douglas Adrian, 1889–1977), Нобелівський лауреат, нейрофізіолог. Хоча він відомий дослідженнями в нейрофізіології, його методи реєстрації нервової активності стали основою для вивчення реакцій нервової системи під час праці.

У 1949 р. у Великобританії було створене Ергономічне дослідницьке товариство (Ergonomics Research Society) - одне з перших у світі. Дослідники розробляли стандарти безпеки праці, ергономіку робочих місць, методики профілактики втоми та травм. Англійські вчені досліджували м'язову, дихальну та нервову діяльність під час праці, сформували підґрунтя фізіології безпеки, гігієни та ергономіки праці, створили моделі енергетичних витрат, втоми, адаптації до трудових умов.

В США початок ХХ ст. характеризується прикладним підходом і індустріальними дослідженнями. США зробили внесок у прикладну фізіологію праці, пов'язану з промисловою ефективністю. Відомо про інтенсивний розвиток тайм-стаді (дослідження часу і рухів). **Фредерік Тейлор** (Frederick

Winslow Taylor, 1856-1915) - американський інженер, основоположник наукової організації праці та менеджменту, є засновником "наукового менеджменту" (Taylorism). Він розробляв методи підвищення продуктивності праці шляхом аналізу рухів та навантаження. Його підхід вимагає точного знання фізіологічних меж працівника. Основними принципами системи Тейлора є наукове вивчення робочих операцій (аналіз рухів робітника, виявлення зайвих рухів, стандартизація найкращих методів); відбір та навчання робітників (відбір працівників, які найкраще підходять для виконання конкретної роботи, та їх навчання оптимальним методам роботи); співпраця між керівництвом та робітниками (створення умов для ефективної співпраці та комунікації між керівництвом та робітниками); розподіл праці та відповідальності (чітке розмежування обов'язків між керівництвом та робітниками, кожен займається своїми завданнями). Система Тейлора часто критикується (зокрема, називається «потогінною») за те, що вона може призвести до експлуатації робітників (замість підвищення продуктивності система може використовуватися для збільшення інтенсивності праці та зниження заробітної плати); втрати творчого підходу (стандартизація може призвести до знецінення досвіду та знань робітників, зменшення їхньої мотивації та зацікавленості у роботі); погіршення умов праці (замість створення комфортних умов, система може призвести до збільшення навантаження, шуму, вібрації, що негативно впливає на здоров'я робітників). Отже, слід розрізняти: науковий підхід до управління (система Тейлора) може бути корисним для оптимізації виробничих процесів, якщо застосовується з урахуванням інтересів робітників, тоді як «потогінне виробництво» (sweatshop) є приклад зловживання науковим управлінням для експлуатації робітників.

Френк Банкер Гілбрет старший (Frank Bunker Gilbret Sr, 1868-1924) - американський інженер, один з основоположників сучасної науки про організацію праці і управління. **Ліліан Моллер Гілбрет** (Lillian Moller Gilbreth, 1878-1972) - американська вчена, авторка, психолог, промисловий

інженер, консультант з менеджменту, експерт з ергономіки і кадрових питань. Подружжя було дослідниками рухів, основоположниками науки про рух, розробники окремих методів наукової організації праці. Вони вивчали мікрорухи та розробляли способи зменшення втоми. Їхні дослідження дали поштовх до створення науки «Ергономіка». Використання фотографії трудових рухів є одним із відомих методів. Гілбрети вивчали рухи робітників, фіксуючи виробничий процес на кінокамеру. Френк Гілбрет винайшов мікрохронометр, годинник з великою хвилинною стрілкою, яка реєструвала час з точністю до 1/2000 хв. За допомогою мікрохронометра Гілбрети могли аналізувати трудові рухи та з точністю визначати час, потрібний на виконання операцій. Гілбрети виявили 17 базових рухів, які назвали терблігами, що дозволили використовувати меншу кількість операцій та забезпечили зростання продуктивності праці. Після смерті Френка Гілбрета Ліліан продовжила працювати одна. Вона повністю переглянула облаштування кухні, і розробила новий інноваційний проєкт. Винайшла «ергономічний трикутник», який включав рівновіддалене розташування холодильника, раковини та плити. Розділила простір кухні на верхню і нижню частини. У нижній частині розміщувалися шафи для кухонного посуду, а зверху - для зберігання продуктів. Також Ліліан Гілбрет придумала електроміксер для збивання та удосконалила консервний ніж.

Під час **Другої промислової революції** (1870–1969) використання електроенергії привело до створення промислових масових виробничих ліній. Такі вчені, як Фредерік В. Тейлор, Франк та Ліліан Гілбрет, на початку ХХ століття почали закладати основи фундаментальних принципів людської діяльності, що стосуються проектування та оцінки промислових систем. Їхні новаторські роботи з промислової ефективності зробили значний внесок у покращення масового виробництва [12].

У 1940-х рр. фізіологія праці інтенсивно розвивається у зв'язку з потребами військової промисловості, особливо в контексті стресу, реакції пілотів, витривалості солдатів. Війна стала потужним стимулом для розвитку

цієї науки через необхідність оптимізації фізичної і психічної працездатності військових і працівників оборонної галузі; підвищення витривалості у складних умовах (шум, втома, монотонність, нічна праця); профілактики професійних перевантажень; покращення конструкції техніки й зброї з урахуванням людських можливостей.

Відбувалась раціоналізація праці на військових заводах. Вивчалися трудові навантаження на робітників, особливо на жінок і підлітків, які масово працювали в промисловості під час воєн. Аналізувалися фізіологічні межі витривалості, щоб уникнути перевтоми, травматизму та зниження продуктивності. Проводилися дослідження втоми та ритмів праці. Вивчалася динаміка працездатності протягом доби, ефективність змінної роботи, особливо нічних змін. Поширилися дослідження з гігієни праці та відновлення після перевантажень.

Розвивалась ергономіка бойової техніки. Інженери та фізіологи працювали разом над проектуванням літаків, танків, гармат, пультів керування, приладів нічного бачення, захисного одягу, інтерфейсів керування. Основним завданням було забезпечити зручність, швидкість, безпомилковість дій солдата.

Активно вивчалась фізіологія екстремальних умов. Досліджували стрес, шум, високі та низькі температури, гіпоксію, тиск, що впливають на солдата та працівника. Було закладено основи аерокосмічної фізіології і підводної фізіології (морський флот, субмарини).

Розвивалась військова психофізіологія. Вивчалися реакції людини в умовах бойового стресу, тривоги, втоми, тривалого очікування. Розроблялися методи оцінки уваги, швидкості реакції, витривалості нервової системи.

Міждисциплінарна команда лікарів, інженерів та вчених у Медичній дослідницькій лабораторії бронетанкових сил (Armored Medical Research Laboratory), сформованій на початку 1942 року у Форт-Ноксі, штат Кентуккі (США), провела новаторську роботу з теплового стресу, впливу токсичних газів від стрільби зі зброї, зв'язку фізичної підготовки та втоми з

продуктивністю, ергономікою та інженерією людського фактора. Вчені вивчали працездатність пілотів, танкістів, ремонтників, артилеристів. У Великій Британії ергономіка і фізіологія активно застосовувалися для покращення роботи радарів, літаків, протиповітряної оборони. В СРСР проводились дослідження інтенсивності праці в тилу, роботи у нічну зміну, харчування робітників військових заводів. Фізіологи займалися реабілітацією поранених, вивченням мобілізаційних резервів організму. Фізіологія праці у військовій промисловості сприяла появі нових методів оцінки працездатності, стимулювала розвиток ергономіки, гігієни праці, адаптаційної фізіології, забезпечувала наукові основи для конструювання безпечних і ефективних робочих систем.

Післявоєнний розвиток (1950–1980-ті рр.). В Європі та США фізіологія праці починає взаємодіяти з прикладною психологією, біоінженерією, психофізіологією. З'являються наукові центри, що досліджують адаптацію до умов праці, стрес, вплив шуму, освітлення, температури. У США в 1971 р. створюється Національний інститут охорони праці (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)) - один із лідерів у галузі вивчення фізіології та безпеки праці, федеральна організація, яка відповідає за проведення досліджень та вироблення рекомендацій для запобігання профзахворювань та нещасних випадків у виробничих умовах.

Третя промислова революція (1969–2000) характеризується винаходом комп'ютерів та Інтернету, розвитком робототехніки та автоматизації [12].

До 1949 року ергономіка не була визнана самостійною науковою дисципліною (табл. 1.1). У тому році британський психолог Хайвел Муррелл (Hywel Murrell, 1908 – 21 1984) ввів термін «ергономіка» до англійського словника, створив перший ергономічний факультет у британській промисловості та написав перший британський підручник з ергономіки. Він переосмислив слово «ергономіка» як новонароджену наукову дисципліну та запропонував офіційне використання цього слова в англійському лексиконі. Після цього це слово широко використовувалося дослідниками в усьому світі,

і в різних країнах поступово формувалися національні асоціації ергономіки. Міжнародна ергономічна асоціація (IEA) була заснована як федерація ергономічних товариств у 1959 році, незадовго до початку Третьої промислової революції (1969–2000).

Табл. 1.1

Історичний розвиток ергономіки праці [6].

Період	Подія/Досягнення	Внесок у розвиток ергономіки
5 ст. до н.е.	Застосування ергономічних принципів у Греції	Гіппократ описав принципи організації робочого місця хірурга
Середньовіччя	Емпіричне використання ергономічних підходів у ремеслах	Адаптація інструментів до фізичних можливостей ремісників (на основі археологічних даних)
18–19 ст.	Початок індустріальної революції	Зростання уваги до умов праці через масове використання машин
1857 р.	Войцех Ястшембовський ввів термін «ергономіка»	Систематизація знань про працю як наукової дисципліни
Початок 20 ст.	Науковий менеджмент Ф. Тейлора та Гілбертів	Аналіз рухів працівників для підвищення ефективності
1949 р.	Хайвел Мурелл заснував Товариство ергономіки у Великобританії	Інституціоналізація ергономіки як науки
1957 р.	Заснування Товариства людського фактору та ергономіки (HFES) у США	Розширення ергономічних досліджень у Північній Америці
1960-ті рр.	Поствоєнний розвиток ергономіки	Інтеграція в інженерний дизайн і промисловий розвиток

Американський психолог Альфонс Шапаніс (Alphonse Charpanis, 1917-2002) був піонером у галузі промислового дизайну, якого вважають одним із батьків ергономіки або людського фактору – науки про те, що дизайн враховує людські характеристики. Одним з його головних внесків було кодування форми в кабіні літака. Після серії аварій Boeing B-17 Flying Fortress на злітно-посадковій смузі, Чапаніс виявив, що деякі органи керування кабіною плуталися один з одним, частково через їх близькість та схожість форми. Зокрема, плуталися органи управління закритками та шасі, що могло мати серйозні наслідки. Чапаніс запропонував прикріпити колесо до кінця органу керування шасі та трикутник до кінця органу керування закритками, щоб їх можна було легко розрізнити лише на дотик. Після цього для цього літака більше не було випадків помилкового підняття шасі, коли літак ще перебував на землі. Це конкретне кодування форми важеля шасі досі регулюється для використання в цивільних літаках [9].

Історик Міжнародної ергономічної асоціації, професор Браян Шакель (Brian Shackel), зазначив міжнародний розвиток ергономіки у другій половині ХХ століття наступним чином: у 1950-х роках - військова ергономіка; у 1960-х роках - промислова ергономіка; у 1970-х роках - ергономіка споживачів та товарів і послуг; у 1980-х роках - комп'ютерна ергономіка; у 1990-х роках - макро- та когнітивна ергономіка.

Інституті праці в місті Курасікі (Японія) заснований у 1921 р. (The Ohara Memorial Institute for Science of Labour). Інститут характеризується міждисциплінарним характером своєї дослідницької роботи та тісним зв'язком з промисловістю. Як основну частину досліджень, щороку проводиться низка польових досліджень та експериментів на основі контрактів, укладених з державними установами, приватними підприємствами та профспілками. Командна робота дослідників з різних дисциплін підтримується протягом усіх дослідницьких програм. Особлива увага приділяється ефективним покращенням на робочому місці для забезпечення гідної праці та робочого місця. Дослідницькі програми тісно пов'язані з навчальними та інформаційними послугами Інституту [11].

Паризька лабораторія соціальної психології (Laboratoire Parisien de Psychologie Sociale, LAPPS) входить до складу Паризької асоціації університетів та вищих навчальних закладів «Люм'єр», об'єднує дослідження в галузі соціальної та професійної психології. Національний центр наукових досліджень (National Center for Scientific Research, CNRS) - найбільша урядова дослідницька організація у Франції, проводить дослідження в усіх наукових галузях, включаючи ті, що стосуються професійної роботи. LaborIA: Ця лабораторія, створена у партнерстві з Inria (фр. Institut national de recherche en informatique et en automatique; національний науково-дослідний інститут з вивчення інформатики та автоматичного керування), зосереджується на впливі штучного інтелекту на роботу, зайнятість, навички та соціальний діалог.

У Європі фізіологія праці формувалася переважно як фізіолого-медична дисципліна, орієнтована на гігієну та функціональні межі організму, у США - як індустріально-прикладна наука, тісно пов'язана з менеджментом, ергономікою і військовою справою. Сьогодні обидві традиції взаємно збагачують одна одну, формуючи сучасну інтегровану фізіологію праці. На сучасному етапі відбувається інтеграція фізіології праці з новими технологіями, такими, як біосенсорні системи, портативні пристрої для моніторингу стану працівника, комп'ютерне моделювання навантаження, віртуальне середовище для тренування. Особлива увага звертається на персоналізацію умов праці, профілактику професійного вигорання, когнітивну витривалість та ментальне здоров'я. Підвищується роль етики, гендерних аспектів, інклюзії в трудових дослідженнях.

Четверта промислова революція (Індустрія 4.0) розпочалася у 2000-х роках і характеризувалася новими технологіями, що розвиваються завдяки новому поколінню інформаційних технологій та цифровізації [12].

1.2. Розвиток фізіології праці в Україні

Вагомий вплив на формування вітчизняної школи фізіологів справила низка провідних вчених, які працювали або мали учнів в українських наукових центрах (Київ, Харків, Одеса). **Іван Михайлович Сеченов** (1829-1905) вивчав рефлекторну природу психічної діяльності, що дало основу для майбутніх досліджень трудових процесів. У 1870 р. Сеченов вийшов у відставку і був обраний професором кафедри фізіології в Новоросійському університеті (сьогодні - Одеський національний університет імені І. І. Мечникова). **Іван Петрович Павлов** (1849-1936) - Нобелівський лауреат (1904), класик фізіології. Розробив вчення про умовні рефлекси. Його дослідження використовувалися для розуміння адаптації організму до трудових навантажень. Сприяв формуванню концепцій вищої нервової діяльності в умовах виробничого процесу.

В Україні в 1920-1930-ті роки створювались профільні кафедри фізіології в університетах, вивчався вплив трудових навантажень на організм в умовах індустріалізації. В 1940–1950-ті роки українські вчені брали активну участь у державних дослідженнях у галузі гігієни праці, ерготерапії та професійної фізіології. **Олександр Олександрович Богомолець** (1881-1946) - автор концепції «старіння як процесу втоми клітин», започаткував дослідження витривалості та резервів організму, вивчав процеси старіння та обґрунтував провідні положення геронтології.

Василь Якович Данилевський (1852-1939), один із творців еволюційного напрямку у фізіології і патології, вперше виявив провідну роль вищих відділів центральної нервової системи в регуляції вегетативних функцій організму, поклав початок вивченню фізіології гіпнозу у тварин та людини [4]. **Микола Євгенович Введенський** (1852-1922) досліджував відповідь тканин організму на подразники, розробив учення про парабіоз, вивчав збудження та гальмування, вперше застосував телефонічне вислуховування електричних сигналів у нерві та м'язі.

Під керівництвом низки вчених були закладені основи для вивчення функціонального стану організму в умовах праці. **Олексій Олексійович Ухтомський** (1875-1942) - засновник вчення про домінанту. Розробив теорію домінанти як фізіологічної основи цілеспрямованої діяльності. Застосував свої ідеї для розуміння мотивації, уваги, втоми у процесі праці. Обґрунтовував значення центральної нервової регуляції трудових функцій. **Михайло Іванович Виноградов** (1892 — 1968) відомий фізіолог, учень Ухтомського. Серед найбільш значимих праць — "Фізіологія трудових процесів". Вивчаючи перебіг трудових процесів, встановив, що в їх основі лежить найбільш повноцінний збуджений стан нервової системи, який він характеризував як «попереджувальну іннервацію». Досліджував явище субдомінанти як одного з вогнищ збудження, яке, хоча і не панує, але впливає на домінанту і може за певних умов стати домінантою. **Петро Кузьмич Анохін** (1898-1974) сформулював новий підхід до розуміння функцій цілого організму, в основі

якого лежать дві геніальні концепції: - "випереджального відображення" та "функціональної системи". Його основний внесок у науку - розробка теорії функціональних систем (розглядає організм як складну, динамічну систему взаємопов'язаних елементів, що функціонують для досягнення певної мети), яка стала основою системного підходу в фізіології та біології. **Микола Олександрович Бернштейн** (1896-1966) займався проблемами, які виходили за рамки теорії умовного рефлексу. Його дослідження проводились з людьми в природних умовах, під час виконання ними цілеспрямованих довільних рухів, стосувались як проблем патології, так і нормального розвитку рухливості (на прикладах музикування та спортивних тренувань).

У 1920-х рр. було організовано Інститут праці, де досліджували фізичне й психічне навантаження на людину, проводилась розробка перших науково обґрунтованих норм праці. Засновником інституту був **Олексій Капітонович Гастєв** (1882-1939) - поет, інженер, соціальний реформатор, теоретик наукової організації праці. Заклав основи радянської школи фізіології праці - започаткував вивчення трудових процесів з урахуванням фізіологічних і психофізіологічних особливостей людини. Поєднав науковий підхід до людини-трудівника з виробничими потребами - створив систему навчання та організації праці, базовану на точному аналізі рухів, навантажень, часу. Був попередником сучасної ергономіки, гігієни праці та трудової фізіології - створив лабораторії з аналізу робочих поз, біомеханіки, відбору кадрів. Олексій Капітонович Гастєв був репресований у 1938 р. і розстріляний у 1939 р.

Соломон Григорович Геллерштейн (1896 - 1967) - один із засновників психології та психофізіології праці, авіаційної психології, учасник психотехнічного руху. Проводив дослідження вправ простої та складної сенсомоторної реакції. Було показано, що при систематичних заняттях можливе часткове перевищення рівня результативності. Трагував перебудову функцій у результаті вправи пластичними змінами свідомості. На основі аналізу співвідношення усвідомлюваних та несвідомих складових професійної

майстерності проводив дослідження передбачання та швидкісних реакцій у праці льотчиків та операторів складних технічних систем. Також проводив дослідження щодо проблем відновлення втрачених під час війни психічних функцій. Для формування професійних навичок, насамперед у галузях льотної справи та спорту, використав принцип деавтоматизації. Наприклад, для управління оптимізацією раніше сформованих прийомів бігу або фехтування спортсмену давалася інструкція гранично уповільнювати рухи, щоб перетворити автоматизовану дію швидкісного типу на свідоме кероване сповільнене регулювання швидкості. Після оволодіння усвідомлюваним регулюванням швидкості рух переводився на режим автоматизації швидкісної установки, і спортсмени досягали значно вищого темпу рухів.

Володимир Вікторович Розенблат (1927-2000) присвятив проблемі стомлення об'ємну монографію «Проблеми втоми». У цій книзі, узагальнюючій знання того часу, детально порушені питання історії вчення про стомлення, розглянута центрально-кіркова теорія його формування при м'язовій роботі людини, викладені принципи діагностики, обговорено шляхи підвищення працездатності і реалізації активного відпочинку. Відомий як автор приладу для одночасного вимірювання сили та витривалості м'язів (динамометр Розенבלата).

Борис Федорович Ломов (1927 — 1989) – відомий психолог, який зробив вагомий внесок у розвиток загальної, інженерної, педагогічної психології та психології пізнавальних процесів. Він був засновником наукової школи інженерної психології та одним із перших почав системно досліджувати застосування психологічних закономірностей у виробничій сфері. Починаючи з кінця 1950-х років, Ломов займався проблемами психології праці й управління, розробляв методи підвищення продуктивності та наголошував на важливості створення сприятливого психологічного клімату в колективі як умови збереження здоров'я працівників. Значну увагу він приділяв вивченню інформаційної взаємодії людини з технікою, пошуку оптимальних форм представлення інформації та способів управління механізмами і

технологічними процесами з урахуванням можливостей і обмежень людини. Важливим напрямом його діяльності стало також дослідження теоретичних і практичних проблем психологічної оцінки та проектування сучасної техніки. Завдяки своїм науковим здобуткам Ломов заклав підґрунтя для розвитку інженерної психології як самостійної галузі та визначив її місце у системі наук про людину і працю.

Георгій (Юрій) Володимирович Фольборт (1885 — 1960) — видатний вітчизняний фізіолог, чиї наукові дослідження отримали широке визнання у світі. Його праці були присвячені питанням фізіології вищої нервової діяльності, травлення, а також проблемам втоми та відновлення організму після навантажень. Важливим внеском ученого стало формулювання «правил Фольборта», які відображають закономірності виснаження та відновлення працездатності. Перше з них підкреслює, що працездатність органа не є сталою властивістю, а визначається конкретним моментом часу і залежить від динамічного балансу процесів виснаження й відновлення. Ці положення мали велике значення для розвитку фізіології праці та спорту, оскільки дозволили науково обґрунтувати механізми стомлення та відновлення і стали основою для практичних рекомендацій у сфері професійної діяльності та фізичної підготовки.

Володимир Веніамінович Фролькіс (1924–1999) — український учений, один із провідних дослідників у галузі геронтології та вікової фізіології. Його наукова діяльність була спрямована на вивчення механізмів старіння та вікових патологій, а також на пошук шляхів подовження життя та збереження активного довголіття. Вчений розробив адаптаційно-регуляторну теорію старіння, запропонував нове уявлення про процеси антистаріння, яке отримало назву «вітаукт», висунув гіпотезу щодо генно-регуляторного механізму розвитку вікової патології та створив концепцію генно-регуляторної терапії. Значну увагу він приділяв аналізу нейрогуморальних і мембранних змін, що відбуваються з віком, відкрив новий клас внутрішньоклітинних регуляторів — інвертори, а також розробив нові підходи до

експериментального подовження життя. Праці Фролькіса стали важливим внеском у становлення сучасної біології старіння, заклавши фундамент для подальших досліджень у сфері геронтології та медицини довголіття.

Микола Карлович Вітте (1889 — 1969) — український фізіолог праці, Наукові праці присвячені питанням фізіології та гігієни праці в промисловості й сільському господарстві. Зробив значний внесок у вивчення проблеми теплообміну людини в умовах високої температури.

Микола Михайлович Амосов (1913–2002) — видатний український учений, який поєднав у своїй діяльності медицину, біокібернетику та інженерію. У 1959–1990 роках він очолював відділ біологічної кібернетики Інституту кібернетики НАН України (нині Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова). У 1960–1970-х роках активно займався дослідженням і проектуванням систем штучного інтелекту, закладаючи основи для майбутніх напрямів у цій сфері. Під його керівництвом у співпраці з колегами в Інституті кібернетики були створені перші у світі автономні роботи, які функціонували на основі штучної нейронної мережі. Його праці стали важливим внеском у розвиток біологічної та технічної кібернетики, а також у становлення сучасних досліджень штучного інтелекту.

Відбувається розширення досліджень з фізіології у військово-медичній галузі, а також в сільському господарстві та важкій промисловості. В 1960–1980-ті роки в Україні створюються лабораторії фізіології праці при науково-дослідних інститутах. Дослідження стосувалися вивчення працездатності в умовах шкідливих виробництв, розробки оптимальних режимів праці й відпочинку, вивчення втоми, перевтоми, біоритмів. В цей час відбувається розвиток української школи психофізіології праці. Фізіологія праці починає активно взаємодіяти з ергономікою та психофізіологією. Розробляються графіки працездатності, методики оцінки фізіологічної ціни праці, досліджуються втома, стрес, біоритми. Створюються галузеві лабораторії на промислових підприємствах. У 1970–1980-х рр. активно вивчається космічна фізіологія праці, адаптація до екстремальних умов.

Платон Григорович Костюк (1924–2010) - нейрофізіолог, академік НАН України та РАН. Хоча основна його діяльність стосувалася нейрофізіології, його відкриття щодо нервово-м'язової передачі та електрофізіології нейронів стали основою для пояснення центральної втоми та адаптації при праці. Заснував потужну наукову школу у сфері нейрофізіології праці.

Після здобуття незалежності (з 1991 року) відбувається формування національного підходу до охорони праці, медико-біологічного супроводу трудової діяльності. В цей період активізується робота Інституту медицини праці НАМН України (Київ), який координує дослідження в галузях оцінки умов праці, гігієни розумової та фізичної праці, профілактики професійних захворювань, фізіології праці в умовах впливу шкідливих факторів (пестициди, шум, вібрації, пил тощо). Відбувається розвиток міждисциплінарного напрямку: фізіологія праці в поєднанні з ергономікою та інформаційними технологіями (зокрема, у військовій справі, освіті, транспорті, аграрній галузі).

Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України (до 1991 року - Київський науково-дослідний інститут гігієни праці та профзахворювань Міністерства охорони здоров'я України) був заснований у 1928 році. В його становленні взяли участь видатні українські вчені: академік В.Ю. Чаговець, професори С.М. Чуманов, Г.Л. Шкавера, М.В. Лейнік, М.К. Вітте, Й.М. Ерман. Вагомий внесок у розвиток інституту зробили академік АМН СРСР Л.І. Медведь, член-кореспондент АМН СРСР Г.Х. Шахбазян. Під керівництвом академіка НАН України Ю.І. Кундієва Інститут здобув міжнародне визнання.

Перші наукові дослідження проводилися з профілактики професійних захворювань і травматизму у сільському господарстві та на цукрових заводах, а також з токсикології пестицидів, фізіології м'язової діяльності, теплообміну організму працюючих. Широкомасштабні дослідження вчені інституту розгорнули довкола питань фізіології та гігієни праці в сільському

господарстві та цукровій промисловості. Зокрема, академік В.Ю. Чаговець керував дослідженнями з фізіології праці, професори С.В. Тартаковський і В.Г. Лазарев вивчали чинники ризику професійних захворювань, Г.Л. Шкавера досліджував вплив токсичних речовин на організм працівників. Особлива увага приділяється напрацюванням в галузі фізіології праці В.Ю. Чаговця, М.К. Вітте, В.П. Горева, М.В. Лейніка, В.А. Нові, С.І. Фудель-Осипової, Г.Х. Шахбазяна, І.М. Ермана. Вченими встановлено низку важливих положень щодо впливу мікрокліматичних умов на самопочуття працівників гарячих цехів цукрових заводів; досліджено зміни біопотенціалів серця, скелетних м'язів, шкіри в процесі праці; запроваджено принципи оздоровлення умов праці механізаторів сільського господарства; розроблено рекомендації щодо раціональної організації праці та відпочинку. В майстернях інституту було налагоджено виробництво специфічного обладнання для забезпечення експериментальних досліджень в галузі фізіології праці [2, 1].

Василь Юрійович Чаговець (1873- 1941) - український фізіолог, один з основоположників електрофізіології. **Григорій Лаврентієвич Шкавера** (1884 -1953) дослідив дію препаратів, що впливають на парасимпатичну систему і судини, надниркові залози, на судини шкіри, на секрецію підшлункової залози. Отримав нові факти реакції судин на адреналін, глікозиди наперстянки та інші ліки [3]. **Михайло Володимирович Лейник** (1908-1960) - фізіолог, проводив дослідження в галузі фізіології праці, засновав вчення про типи м'язової працездатності людини.

Микола Карлович Вітте (1899-1969) – фізіолог, вивчав фізіологію теплового та водно-сольового обміну людини при виконанні різних видів роботи та патологічних станах; раціоналізацію режимів праці та відпочинку, фізіолого-гігієнічне регламентування праці в промисловості та сільському господарстві. **Йосип Михайлович Ерман** (1898-1969) - лікар-гігієніст. Вивчав проблеми гігієни праці на підприємствах чорної металургії; роль органів дихання в терморегуляції організму людини. **Левко Іванович Медведь** (1905-1982) - український гігієніст. Автор понад 260 наукових праць,

в тому числі 7 монографій та посібників, що охоплюють питання гігієни села та сільськогосподарської праці, організації охорони здоров'я, історії медицини як науки, токсикології пестицидів. Його іменем названий Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України. **Гайк Хачатурович Шахбазян** (1896-1982) - український радянський вчений-гігієніст, його праці присвячені питанням оздоровлення мікроклімату на виробництві та впливу на організм робітників виробничих факторів малої інтенсивності тощо. **Юрій Ілліч Кундієв** (1927-2017) - український гігієніст. Основні наукові напрямки - гігієна та фізіологія праці в сільському господарстві, токсикологія пестицидів та безпечне використання, комбінована дія чинників виробничого середовища, епідеміологія професійних та загальних захворювань, вивчення професійного ризику здоров'ю, гігієнічні проблеми ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. Його ім'я носить Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України.

Олександр Оганесович Навакатікян (1925-2006) - основна науково-педагогічна діяльність вченого була пов'язана з питаннями у галузі теоретичних та практичних питань фізіології, гігієни та медицини праці. Основні наукові дослідження були присвячені механізмам розвитку, діагностики та профілактики передпатології, патології та стресу, що розвивалися в ході факторів середовища та трудової діяльності. **Геннадій Михайлович Чайченко** (1936-1998) - фізіолог, один із головних засновників української психофізіологічної школи, розробив методики психофізіологічного тестування, які дотепер активно застосовуються в тестуванні і оцінці психофізіологічного стану як цивільних осіб, так і військових. **Микола Васильович Макаренко** (1937-1919) - фізіолог, спеціаліст в області фізіології вищої нервової діяльності людини та тварин, диференціальної та прикладної психофізіології, один із головних засновників української психофізіологічної школи. Досліджував розвиток та становлення психофізіологічних функцій людини в онтогенезі; ролі властивостей основних нервових процесів в успішності навчання, набутті професійних навичок та

використанні їх в трудовій діяльності; займався розробкою, удосконаленням та обґрунтуванням методик для системи професійного відбору операторів по керуванню рухомими об'єктами і системами та спецконтингенту; оцінкою психофізіологічної готовності персоналу до дій в особливих умовах.

Володимир Сергійович Лизогуб (1946) - український фізіолог, соратник М.В. Макаренка. Є одним з основоположників нового наукового напрямку - фізіології нейродинамічних функцій головного мозку. Коло наукових інтересів: фізіологія вищої нервової діяльності, фізіологія розвитку та психофізіологія, функціональні зміни кори головного мозку, участь симпатичної системи у регуляції серцево-судинної системи. **Валентин Володимирович Кальниш** (1948) - доктор біологічних наук, професор, професор кафедри авіаційної, морської медицини та психофізіології Української військово-медичної академії, завідувач лабораторії психофізіології праці ДУ "Інститут медицини праці НАМН України". Працює над розвитком проблем формування професійної надійності при операторській діяльності, впливу емоційного напруження на працездатність людини, що мають важливе теоретичне та прикладне значення. **Микола Юхимович Макарчук** (1954) - фізіолог, психофізіолог, нейрофізіолог. Коло наукових інтересів - психофізіологія, роль сенсорних систем, зокрема нюхового аналізатора, та різних видів стресу у поведінці людини і тварин. Одним із перших провів дослідження ролі різних ядер мигдалеподібного комплексу у формуванні поведінки. Вивчає вплив стресу на системні зміни діяльності організму людини і тварин.

Сучасний етап (з 1990-х років до сьогодення) характеризується синтезом фізіології праці з новітніми технологіями: біоінженерією, прикладною нейрофізіологією, цифровими методами моніторингу стану працівника. Впроваджуються концепції людино-машинної взаємодії, збереження здоров'я на робочому місці, кадрової безпеки. Зростає роль фізіології праці в охороні праці, медицині праці, спорті, реабілітації, війсьній справі. Набуває велику роль використання цифрових методів моніторингу стану працівників

(сенсорні системи, ІТ-інструменти, біофідбек), вивчення психоемоційного стану, стресостійкості, кадрової безпеки. Проводяться дослідження у рамках державних програм з охорони праці та реформи медичної галузі.

Основними сучасними науковими центрами дослідження фізіології праці в Україні є Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України (Київ), Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН України (Київ), Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України (Київ), спеціалізовані кафедри у Національному медичному університеті імені О. О. Богомольця, Харківському національному медичному університеті, інших ВНЗ України.

Перспективними напрямками розвитку фізіології праці як в Україні, так і у світі є інтеграція науки з ІТ (віртуальна реальність, нейроінтерфейси, штучний інтелект для аналізу фізіологічних показників у реальному часі); розробка індивідуальних моделей працездатності на основі генетичних та епігенетичних маркерів; приділення особливої уваги ментальному здоров'ю та стресостійкості працівників. Україна має потужну наукову традицію у сфері фізіології праці, закладену ще в першій половині ХХ ст. Сучасна фізіологія праці в Україні спрямована на інтеграцію з європейськими стандартами, цифровізацію моніторингу здоров'я, профілактикою професійної патології та забезпечення здорового трудового потенціалу нації.

Список літератури до теми «Історія розвитку фізіології праці як науки»

1. Кальниш В. В. та Пишнов Г. Ю. (2018). Історичні віхи розвитку фізіології праці в Україні / Історія медичної науки, практики та освіти / Київ : рекламне агентство TR Studio. С. 26–34.
2. Питання фізіології праці у дослідженнях учених Київського інституту гігієни праці та професійних захворювань (1928–1941 рр.) [Електронний ресурс] / К. С. Варивода, С. І. Горденко. // Історія науки і біографістика. - 2018. - Вип. 4. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/INB_Title_2018_4_8

3. Пріоритетні наукові напрями академіка В.Ю. Чаговця в галузі електрофізіології (кінець XIX – середина XX століття) [Електронний ресурс] / К. Варивода // Наукові записки з української історії. - 2014. - Вип. 34. - С. 132-138. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzzui_2014_34_21
4. Пріоритетні наукові напрями академіка В.Я. Данилевського в галузі електрофізіології (кінець XIX – 30 рр. XX століття) [Електронний ресурс] / К. С. Варивода // Гілея: науковий вісник. - 2014. - Вип. 82. - С. 16-19. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gileya_2014_82_6
5. Трахтенберг І. М., Кальниш В.В. До історії фізіології праці (пам'ять і спадщина попередників) // Фізіол. журн.. - 2019. - 65, № 4. 15.
6. Шапуров, О.О & Саламаха, І.В. (2025). Діахронний підхід до ергономіки праці: історична еволюція, сучасні тенденції та економічні аспекти. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Economic Sciences.* 44-49. 10.32999/ksu2307-8030/2025-54-6.
7. Di Giulio, C., Daniele, F., & Tipton, C. M. (2006). Angelo Mosso and muscular fatigue: 116 years after the first Congress of Physiologists: IUPS commemoration. *Advances in physiology education*, 30(2), 51–57. <https://doi.org/10.1152/advan.00041.2005>
8. Gunga, H. C., & Kirsch, K. A. (1995). Nathan Zuntz (1847-1920)--a German pioneer in high altitude physiology and aviation medicine, Part II: Scientific work. *Aviation, space, and environmental medicine*, 66(2), 172–176.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Alphonse_Chapanis
10. <https://hekint.org/2018/04/18/jules-amar-1879-1935-a-method-to-help-soldiers-who-were-amputated-or-mutilated-during-the-first-world-war-reintegrate-society/>
11. <https://www.isl.or.jp/en/research/research.php>
12. Pouyakian M. Cybergonomics: Proposing and justification of a new name for the ergonomics of Industry 4.0 technologies. *Front Public Health.* 2022;10:1012985. Published 2022 Nov 3. doi:10.3389/fpubh.2022.1012985

13. Sandrone S, Bacigaluppi M, Galloni MR, et al. Weighing brain activity with the balance: Angelo Mosso's original manuscripts come to light. Brain. 2014;137(Pt 2):621-633. doi:10.1093/brain/awt091

Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Історія розвитку фізіології праці як науки»

1 Який вчений запропонував концепцію функціональних систем у фізіології?

- А. Петро Анохін.
- Б. Олексій Ухтомський.
- В. Микола Бурденко.
- Г. Іван Мечников

2. Під чий керівництвом були створені перші у світі автономні роботи, керовані штучною нейронною мережею?

- А. Микола Амосов
- Б. Петро Анохін
- В. Платон Костюк
- Г. Юрій Кундієв

3 Хто з учених сформулював уявлення про «старіння як процес втоми клітин»?

- А. М. Є. Введенський
- Б. О. О. Богомолець
- В. І. І. Мечников
- Г. П. К. Анохін

4. Як називається інститут, що займається профілактикою професійних захворювань та гігієною праці в Україні?

- А. Інститут серця
- Б. Інститут гігієни та епідеміології
- В. Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва
- Г. Інститут геронтології

5. Хто був одним із перших учених, що вивчав психофізіологічні аспекти праці в Німеччині?

- А. Іван Павлов
- Б. Гуго Мюнстерберг
- В. Жозеф Жакіно
- Г. Фредерік Тейлор

6. Який учений є засновником наукового менеджменту у США?

- А. Фредерік Тейлор
- Б. Генрі Форд
- В. Гілберт Райан
- Г. Вільям Джеймс

7. Яка пара американських дослідників вивчала мікрорухи з метою підвищення ефективності праці?

- А. Скіннер і Вудворд
- Б. Еббінгауз і Шеррінгтон
- В. Френк і Ліліан Гілбрет
- Г. Мендель і Вірхов

8. Який урядовий інститут США займається питаннями безпеки та фізіології праці?

- А. NIH
- Б. CDC
- В. NASA
- Г. NIOSH

9. У чому полягала головна мета «тайм-стаді» (time and motion studies) у США?

- А. Дослідження біоритмів
- Б. Оцінка споживання енергії під час сну
- В. Аналіз ефективності рухів у праці
- Г. Дослідження структури мозку

10. Яка особливість підходу до фізіології праці характерна для США?

- А. Концентрація лише на фізіологічних процесах.
- Б. Інтеграція з управлінськими та промисловими методами.
- В. Ізоляція від психології.
- Г. Вивчення сільськогосподарської праці.

Відповіді

1 (А), 2(А), 3(Б), 4 (В), 5(Б), 6(А), 7(В), 8(Г), 9(В), 10 (Б).

2. ФІЗІОЛОГІЯ ПРАЦІ ЯК НАУКА

2.1. Визначення, мета, задачі фізіології праці.

Фізіологія праці - це галузь прикладної фізіології, яка вивчає закономірності функціонування організму людини в умовах трудової діяльності з метою оптимізації праці, збереження здоров'я та підвищення продуктивності праці. Це **інтегративна наука**, що поєднує знання з фізіології, медицини праці, ергономіки, психології, біомеханіки, гігієни та інженерних дисциплін. Фізіологія праці як частина загальної фізіології людини виникла тоді, коли фізіологія досягла деякого ступеня свого розвитку, так як дослідити фізіологічні і не фізіологічні особливості трудових процесів без знань загальної фізіології неможливо.

Фізіологія праці - це термін, пов'язаний із індустріальною інженерією, який стосується того, як людський організм справляється з фізичним стресом, напругою на роботі та робочим середовищем. У цій галузі досліджуються фізичні навантаження на людину, щоб мінімізувати їх. Фізіологи праці розповідають про своє розуміння оцінки та проектування робочих приміщень, які зменшують фізичну втому, усувають виробничі травми та підвищують загальну продуктивність. Надається інформація про те, як організм функціонує в різних умовах навколишнього середовища, кількість відпочинку, яка йому потрібна, і коли він здатен працювати на пікових рівнях [2]. **Фізіологія праці** полягає у вивченні та вимірюванні метаболічних і фізіологічних витрат, спричинених ручною роботою, щоб зменшити фізичне напруження та запобігти втомі [7].

Предметом фізіології праці є функціональні зміни в організмі людини під час виконання фізичної, розумової або сенсомоторної роботи, механізми адаптації організму до трудових навантажень, процеси втоми, відновлення, стресу та працездатності, оцінка умов праці з точки зору впливу

на фізіологічні і психофізіологічні функції людини під час здійснення трудових операцій, що включає мікроклімат, шум, освітлення, навантаження, темп і ритм роботи тощо.

Головною метою фізіології праці є наукове обґрунтування умов та організації праці, які забезпечують збереження здоров'я, високий рівень працездатності та ефективну професійну діяльність людини. Важливим є наукове обґрунтування рекомендацій для оптимізації трудового процесу і умов навколишнього середовища, тобто розробка основ наукової організації праці.

Основними завданнями фізіології праці є:

- ◆ Вивчення механізмів фізіологічних змін в організмі під час праці (серцево-судинна, дихальна, нервова, м'язова, сенсорна системи).
- ◆ Оцінка фізіологічної вартості праці - тобто витрат енергії, зусиль і стресових впливів.
- ◆ Дослідження динаміки працездатності протягом робочого дня, зміни, тижня.
- ◆ Визначення меж фізіологічної та психологічної адаптації людини до різних видів трудової діяльності (монотонної, розумової, екстремальної тощо).
- ◆ Вивчення причин втоми та перевтоми, розробка методів її профілактики і подолання.
- ◆ Розроблення фізіологічно обґрунтованих режимів праці і відпочинку.
- ◆ Участь у проектуванні робочого місця з урахуванням фізіологічних особливостей (ергономіка, людино-машинна взаємодія):
 - раціоналізація робочого місця
 - раціоналізація робочих рухів
 - раціоналізація робочої пози
 - автоматизація і механізація тяжких робіт
- ◆ Формування фізіологічних критеріїв професійного добору і професійної придатності.
- ◆ Вивчення наслідків шкідливих і небезпечних умов праці на організм.

Фізіологія праці як наука має два ключові завдання. По-перше, вона визначає оптимальні характеристики трудового процесу, які забезпечують високу продуктивність та ефективність діяльності. По-друге, розробляє систему заходів, спрямованих на захист людини від несприятливого впливу різних виробничих факторів. Виходячи з цих цілей, фізіологія праці обґрунтовує режими чергування праці й відпочинку залежно від інтенсивності, тривалості, складності та соціальної значущості роботи. Крім того, вона досліджує оптимальні та граничні можливості людини у процесах сприймання, переробки та видачі інформації, що має особливе значення в умовах зростання інтелектуалізації та автоматизації праці (наприклад, найкращі способи подачі зорової, слухової і ін. інформації на табло і щитах управління); визначає найбільш економічні і найменш стомливі види рухів робітників. Фізіологія праці визначає, оцінює і прогнозує функціональний стан організму людини до, під час і після трудової діяльності; розробляє способи і режими тренування і навчання; обґрунтовує заходи по раціоналізації праці, що ведуть до підвищення працездатності людини і збереження її здоров'я. Розробка методик, що дозволяють вимірювати стомлюваність і міру зниження працездатності, зближує фізіологію праці з психологією праці, а вивчення впливів зовнішнього середовища на організм - з гігієною праці, що дозволяє розглядати ці науки як складові частини ергономіки. Особливість фізіології праці полягає в тому, що вона, поряд із гігієною та науковою організацією праці, розглядає одну з ключових соціальних проблем сучасності — проблему трудової діяльності людини. Ця наука не обмежується лише аналізом фізіологічних механізмів працездатності, а комплексно підходить до вивчення умов, у яких відбувається трудовий процес, зважаючи як на біологічні, так і на соціальні аспекти. Завдяки цьому фізіологія праці не лише пояснює закономірності функціонування організму під час роботи, але й надає наукове підґрунтя для оптимізації трудової діяльності, забезпечення здоров'я та підвищення якості життя людини.

Основоположник теоретичної фізіології праці О.О. Ухтомский вважав, що фізіологія праці — це, по суті, системна фізіологія, причому функціональна система, яку вона вивчає, включає людину як ціле зі свідомістю, психікою, система, вищим інтегратором і регулятором якої є домінуюча мотивація особистості. ***Мотивація формує весь організм, його стан, його функціональні можливості, його реакцію на вплив середовища.***

Неможливо встановити умови праці, не знаючи основи фізіології праці. Дослідник, який займається фізіологією праці, вивчає взаємовідносини між людиною її робочим місцем, включаючи спортивний майданчик. Тільки при такому підході можливо розробити рекомендації, які мають полегшувати пристосування умов праці чи машин до працівника, чи навпаки, адаптувати працівника до умов праці шляхом відбору за тестами профпридатності чи шляхом навчання. ***В цьому значенні фізіологія праці є наукою оптимізації, яка віднаходить шляхи оптимізації добробуту людини.***

Практичне значення фізіології праці полягає в розробці науково обґрунтованих норм праці, включаючи тривалість змін, кількість перерв, запобігання професійним захворюванням, збереження працездатності з віком, раціоналізації умов праці у промисловості, транспорті, освіті, охороні здоров'я, військовій справі, розвитку персоналізованих підходів до організації праці.

2.2. Методи фізіології праці

Фізіологія праці використовує методи оцінки того, як організм реагує на фізичні та когнітивні вимоги робочих завдань. Ці методи допомагають зрозуміти фізіологічне навантаження на працівників, оптимізувати робоче середовище та запобігти травмам. Ключові методи включають вимірювання фізіологічних реакцій, методи спостереження, самозвітність та біомеханічний аналіз.

Фізіологічні показники:

Моніторинг серцевого ритму: вимірює частоту серцевих скорочень для оцінки серцево-судинного навантаження. Це можна зробити за допомогою пульсометрів або ЕКГ.

Вимірювання споживання кисню (VO_2): вимірює споживання кисню для визначення витрат енергії та метаболічних потреб.

Електроміографія (ЕМГ): вимірює м'язову активність для оцінки м'язового напруження та втоми.

Електроенцефалографія (ЕЕГ): вимірює активність мозку для оцінки когнітивного навантаження та розумової втоми.

Функціональна ближня інфрачервона спектроскопія (fNIRS): вимірює оксигенацію в тканинах мозку, надаючи уявлення про когнітивне навантаження.

Вимірювання артеріального тиску: вимірює артеріальний тиск для оцінки серцево-судинного навантаження.

Вимірювання температури тіла: вимірює температуру тіла для оцінки теплового стресу.

Аналіз крові: Аналіз зразків крові на наявність біомаркерів стресу та втоми.

Методи спостереження:

Безпосереднє спостереження: спостереження за працівниками, які виконують завдання, для оцінки постави, рухів та потенційних факторів ризику.

Відеозапис: запис робочих завдань для детального аналізу рухів та поз.

Методи самооцінки:

Анкети: використання анкет для оцінки відчутного напруження, дискомфорту та втоми.

Інтерв'ю: проведення інтерв'ю для збору якісних даних про досвід працівників.

Біомеханічні вимірювання:

Силові пластини: вимірювання сил реакції ґрунту під час підйому та штовхання.

Системи захоплення руху: відстеження рухів тіла для аналізу біомеханіки та виявлення потенційних ризиків травм.

Аналіз програмного забезпечення: Використання програмного забезпечення для аналізу відеозаписів та інших даних для оцінки біомеханічних вимог.

Інші методи:

Рівняння підйому NIOSH (Національного інституту безпеки та гігієни праці): інструмент для оцінки ризику травмування, пов'язаного із завданнями ручного підйому на робочому місці. Воно допомагає визначити рекомендовану межу ваги для конкретного завдання підйому, враховуючи різні фактори, які можуть вплинути на ризик травмування.

Таблиці Снука (Snook Tables): таблиці, що використовуються для оцінки відсотка населення, здатного виконувати завдання з ручного переміщення матеріалів без перенапруження. Ці таблиці базуються на дослідженнях професійних захворювань опорно-рухового апарата та призначені для запобігання травмам, гарантуючи, що виконання завдань відповідає можливостям певного відсотка населення.

При дослідженнях в умовах виробництва фізіологія праці вивчає в комплексі різні фізіологічні процеси — дихання, кровообіг, травлення, функції вищої нервової діяльності, сенсорні і рухові процеси, а також активаційні реакції, що забезпечують реалізацію потенційних можливостей людини. Це здійснюється звичайними фізіологічними методами, такими, як реєстрація пульсу, електрокардіографія, визначення кров'яного тиску, частоти і глибини дихання, кількості поглиненого кисню і вуглекислоти, що видихається, зміни потовиділення і ряду показників роботи органів зору і слуху. В той же час, розроблені методи визначення сили, точності, пружності і координованості робочих рухів, їх послідовності, оцінки пам'яті, уваги, емоційних реакцій і т.п. При цьому враховується взаємозв'язок цих реакцій і їх відношення до ефективності праці. Комплексний підхід вимагає також обов'язкового обліку при розшифровці отримуваних даних всіх існуючих зв'язків людини,

включеної в систему «людина—знаряддя праці—предмет праці—трудова мета», і дії на її стан і працездатність сукупності чинників середовища.

У фізіології праці застосовує як лабораторний, так і виробничий методи дослідження. При лабораторному методі відтворюється і вивчається вплив лише частини виробничих умов на який-небудь елемент або групу елементів робочих дій. Дослідження у виробничих умовах враховує весь комплекс чинників, що визначають стан людини і показники її діяльності.

Розділ прикладної фізіології, який вивчає трудові процеси, включаючи фізіологію спорту, тісно пов'язаний з екологічної фізіологією. В останні роки фактори, з якими доводиться зустрічатись організму, стали ще більш різноманітними, причому робота часто має виконуватись у важких умовах середовища, в екстремальних кліматичних зонах, на великих висотах, наприклад, при авіа та космічних польотах, і на значних глибинах, в шахтах чи під водою.

Стан здоров'я визначається **Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ)** як стан цілковитого, тобто повного фізичного, психічного і соціального добробуту, який не обумовлюється лише відсутністю захворювання і слабкості. (Конституція ВООЗ, 1946 р.)

Фізичне благополуччя — нормальне функціонування організму та його систем, здатність до активної життєдіяльності без фізичних порушень.

Психічне благополуччя — емоційна стабільність, здатність до саморегуляції, ясного мислення, адекватної поведінки в соціумі. **Соціальне благополуччя** — можливість виконувати соціальні ролі, спілкуватися, працювати, жити в гармонії з суспільством.

Важливими аспектами є те, що це позитивне визначення: здоров'я не зводиться лише до «негативу» — відсутності хвороб. ВООЗ підкреслює **цілісність** підходу до людини — біологічну, психологічну та соціальну. Це визначення стало основою для концепції **біопсихосоціального підходу** в медицині та охороні праці.

Здоров'я традиційно розглядають як нормальний стан організму, що характеризується гармонійним функціонуванням усіх органів і систем, оптимальною саморегуляцією та збереженням рівноваги між внутрішнім середовищем і зовнішніми умовами за відсутності патологічних проявів. Основною ознакою здоров'я вважається висока пристосувальна здатність організму до різноманітних впливів довкілля. Завдяки цьому людина, перебуваючи у стані здоров'я, здатна витримувати значні фізичні й психічні навантаження, не лише успішно адаптуючись до екстремальних факторів зовнішнього середовища, а й забезпечуючи ефективне функціонування в таких умовах. Отже, здоров'я можна визначити як динамічну здатність організму активно й повноцінно пристосовуватись до змін оточення, підтримуючи при цьому стан рівноваги з ним.

2.3. Поняття про ергономіку.

Ергономіка є наукою, близькою до фізіології праці за своїми завданнями і методами, але фізіологія праці акцентується на дослідженні саме фізіологічних механізмів трудової діяльності, тоді як ергономіка – на взаємодії людини з технікою і довкіллям. Ергономіка (або ергономія; від грец. ἔργον — праця та νόμος — закон) — це наука, що комплексно досліджує закономірності взаємодії людини з технікою та довкіллям у процесі трудової діяльності з метою забезпечення її ефективності, безпеки та комфорту. Вона вивчає, яким чином особливості фізіології та психології людини визначають вимоги до організації праці, обладнання робочого місця, конструкції технічних засобів і програмного забезпечення. Основним завданням ергономіки є пристосування умов і засобів праці до можливостей та обмежень організму, що дозволяє не лише підвищити продуктивність і якість роботи, але й знизити ризик стомлення, травматизму та професійних захворювань. Таким чином, ергономіка постає як міждисциплінарна наука, яка поєднує знання фізіології, психології, інженерії та гігієни праці для створення оптимальної системи

«людина — техніка — довкілля». Слово «ергономіка» вперше було використано в 1857 році професором Войцехом Ястшебовським у Польщі. Він використовував це слово у філософському оповіданні, «заснованому на істинах, почерпнутих з науки про природу». Перше використання цього слова насправді можна простежити до серії з чотирьох статей, написаних професором Войцехом Ястшебовським у Польщі в 1857 році [3]. У 1949 році професор Хайвел Меррелл, британський психолог, який ввів термін «ергономіка» до англійського словника, створив перший ергономічний факультет у британській промисловості та написав перший британський підручник з ергономіки) запропонував офіційне використання слова «ергономіка» на засіданні Британського адміралтейства, назва «ергономіка» була офіційно прийнята в 1950 році. Ергономіка як наука сформувалася у США у 1920-х роках на стику психології, фізіології, гігієни, біомеханіки, антропології та низки технічних дисциплін, що було зумовлено ускладненням техніки та необхідністю забезпечення ефективного управління нею людиною (див. табл. 1.1). Вона розглядається як наука про людину в умовах сучасного виробництва, насиченого машинами, і спрямована на оптимізацію знарядь та процесів праці з урахуванням фізіологічних і психологічних можливостей організму. Основною метою ергономіки є створення таких умов трудової діяльності, які забезпечують високу продуктивність і надійну працездатність працівника, одночасно зберігаючи його здоров'я та комфорт. Особливе значення ця наука має у сфері управління складними технічними системами, оскільки встановлено, що понад 20 % усіх технологічних порушень та аварійних ситуацій виникають саме через помилки оператора. Завдяки міждисциплінарному характеру та практичній спрямованості ергономіка відіграє провідну роль у створенні безпечних, надійних та ефективних виробничих систем «людина — техніка — довкілля».

Ергономіка праці як наукова дисципліна досліджує взаємодію людини з робочим середовищем, зосереджуючись на адаптації робочих процесів до фізичних і когнітивних можливостей людини. Її основна мета – мінімізувати

фізичне та психічне напруження оператора, аналізуючи рухи тіла, використовувани інструменти та фактори робочого простору, такі як позиція працівника й ступінь навантаження. Ця дисципліна інтегрує знання з антропометрії (вимірювання розмірів тіла), біомеханіки (аналіз сил і рухів), кінезіології (дослідження механізмів руху), фізіології (оцінка витривалості), когнітивної психології (аналіз сприйняття й прийняття рішень), а також промислової та організаційної психології (вивчення поведінки в робочому середовищі). У специфічних умовах (авіація чи космічні дослідження) до цього додається космічна психологія, що розглядає адаптацію до екстремальних умов. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє інженерам і дизайнерам створювати робочі місця, які оптимально відповідають людським можливостям, сприяючи ефективності й безпеці праці [1].

Ергономіка досліджує допустимі рівні фізичних, нервових і психічних навантажень, які припадають на людину в процесі праці, а також вивчає шляхи оптимального пристосування виробничого середовища до її можливостей і потреб з метою забезпечення максимальної продуктивності та збереження здоров'я. Важливим напрямом цієї науки є просторові аспекти організації праці, що передбачають раціональне планування робочого місця. Це планування охоплює розміщення у просторі всіх матеріальних елементів виробничого процесу — устаткування, технологічного та організаційного оснащення, а також робітника як центральної ланки системи «людина — праця». Робоче місце поділяється на основну, робочу та допоміжну зони. В основній зоні, яка визначається досяжністю рук у горизонтальній та вертикальній площинах, повинні розташовуватись засоби праці та предмети, що постійно використовуються під час виконання виробничих операцій. Такий підхід дозволяє зменшити зайві рухи, скоротити час виконання завдань і водночас знизити рівень фізичного та психічного напруження працівника. У допоміжній зоні розміщуються предмети, котрі застосовуються рідко.

Цікаве дослідження було проведено у штаті Вермонт на одній молочній фермі, де було 22 корови і у фермера працював один робітник. Дослідник

вивчив, куди і в якій послідовності ходить фермер і його робітник і як відбувається процес їх роботи. Потім він зробив низку пропозицій: вила тримати не в цьому кутку, а в тому кутку; інструмент скласти в цьому сараї, а сіно тримати в іншому приміщенні; до хліва входити не з цього боку, а з іншого; стіл переставити в інший кут; купити лопати зі зручнішими держаками тощо (інвестиції за домовленістю з фермером, не повинні були перевищувати 50 дол. США). У підсумку такого удосконалення процесу роботи на фермі, вдалося зменшити витрати робочої праці на 760 людино-годин і скоротити ходіння під час роботи на 1277 км на рік [4].

Сучасні дослідження показують, що ергономічні принципи дозволяють не лише зменшувати фізичне та когнітивне навантаження на працівників, а й знижувати професійні ризики, такі як опорно-рухові розлади, що спричиняють до 33% втрат робочого часу. Ергономічний дизайн робочих місць, інструментів і систем сприяє підвищенню продуктивності (на 10–15% за даними літератури) та економічній ефективності, скорочуючи витрати на компенсацію травм, прогули та навчання нових працівників. Економічні вигоди від впровадження ергономічних рішень можуть досягати 20–30% від витрат на робочу силу, що робить їх стратегічно важливими для бізнесу [1].

Вивчення фізіології праці не обмежується лише аналізом робочих навантажень, з якими доводиться мати справу в ході трудової чи спортивної діяльності, їх впливу на людину. Колись тяжкий фізичний труд був невід'ємною частиною життя, однак більшість сучасних робітників виконують завдання, які потребують розпізнавання образів, швидкого отримання і переробки інформації, здатності розробляти плани і приймати рішення.

Кібертехнології Четвертої промислової революції різко нав'язуються нашому життю та роботі. Це при вело до появи кібер-аспектів для людської роботи та життя. Отже, багато наук, переважно прикладних, оновилися до своїх кібер-версій для вирішення нових проблем, зазвичай з новою назвою, включаючи префікс кібер. Кібермедицина, кіберохорона здоров'я, кіберкомерція та кіберпсихологія - деякі приклади. Також ергономіка

потребує аналогічного погляду. Ергономічні переваги та загрози промислових технологій необхідно розглядати комплексно. Пропонується кібергономіка як нова назва та концепція, яка визначається як ергономіка промислової ери [6].

Список літератури до теми «Фізіологія праці як наука»

1. Шапуров, О.О & Саламаха, І.В. (2025). Діахронний підхід до ергономіки праці: історична еволюція, сучасні тенденції та економічні аспекти. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Economic Sciences. 44-49. 10.32999/ksu2307-8030/2025-54-6.
2. <https://ebooks.inflibnet.ac.in/hsp03/chapter/fundamentals-of-work-physiology-muscular-efforts-energy-consumption-body-size-and-movement-physical-fitness-measurement-using-different-techniques/>
3. <https://ergo.human.cornell.edu/DEA3250Flipbook/DEA3250notes/ergorigin.html>
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0>
5. Pandve HT. Historical milestones of ergonomics: from ancient human to modern human. J Ergon. (2017) 7:e169. 10.4172/2165-7556.1000e169
6. Pouyakian M. Cybergonomics: Proposing and justification of a new name for the ergonomics of Industry 4.0 technologies. Front Public Health. 2022;10:1012985. Published 2022 Nov 3. doi:10.3389/fpubh.2022.1012985
7. Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise. Per-Olof Åstrand et al., Human Kinetics, 2003. 649 стор.

Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Фізіологія праці як наука»

1. Як ВООЗ визначає поняття «здоров'я»?

- А. Як повне фізичне, психічне і соціальне благополуччя
- Б. Як гармонійне функціонування внутрішніх органів

- В. Як відсутність будь-якої інфекції або захворювання
- Г. Як здатність працювати без медичної допомоги

2. Що є предметом фізіології праці як науки?

- А. Вивчення спадкових захворювань
- Б. Дослідження естетичних реакцій людини
- В. Функціональні зміни в організмі людини під час праці
- Г. Механізми мови та мовлення

3. Яка головна мета фізіології праці?

- А. Створення програм фізичної підготовки спортсменів
- Б. Оптимізація умов і процесів праці з метою збереження здоров'я
- В. Підготовка до змагань високого рівня
- Г. Вивчення біології клітин

4. Що таке фізіологічна вартість праці?

- А. Сума заробітної плати за виконану роботу
- Б. Рівень професійної освіти
- В. Фізіологічні витрати організму при виконанні трудової діяльності
- Г. Соціальний статус працівника

5. До яких наук належить фізіологія праці за своїм характером?

- А. Лише до гуманітарних
- Б. Тільки до технічних
- В. До історичних наук
- Г. До прикладних біомедичних наук

6. Що вивчає фізіологія праці в межах аналізу робочого середовища?

- А. Біосферу та клімат
- Б. Архітектурну привабливість робочого простору
- В. Генетичні мутації
- Г. Мікроклімат, шум, освітлення, навантаження

7. Який термін означає межу можливостей адаптації організму до праці?

- А. Поріг слуху
- Б. Біологічний ритм
- В. Межа працездатності
- Г. Точка гомеостазу

8. Яке з наведеного входить до практичного значення фізіології праці?

- А. Вивчення літературних уподобань працівника
- Б. Розробка норм праці з урахуванням функціонального стану організму
- В. Виявлення художніх здібностей
- Г. Вивчення стилів керівництва

9. Яка головна мета розвитку фізіології праці під час війни?

- А. Підвищення заробітної плати працівникам
- Б. Стимулювання інтересу до спорту
- В. Оптимізація функціонального стану людини у складних умовах праці
- Г. Поширення культурних заходів

10. Яке наукове поняття описує пристосування техніки до можливостей людини?

- А. Біоетика
- Б. Ергономіка
- В. Гомеостаз
- Г. Кардіологія

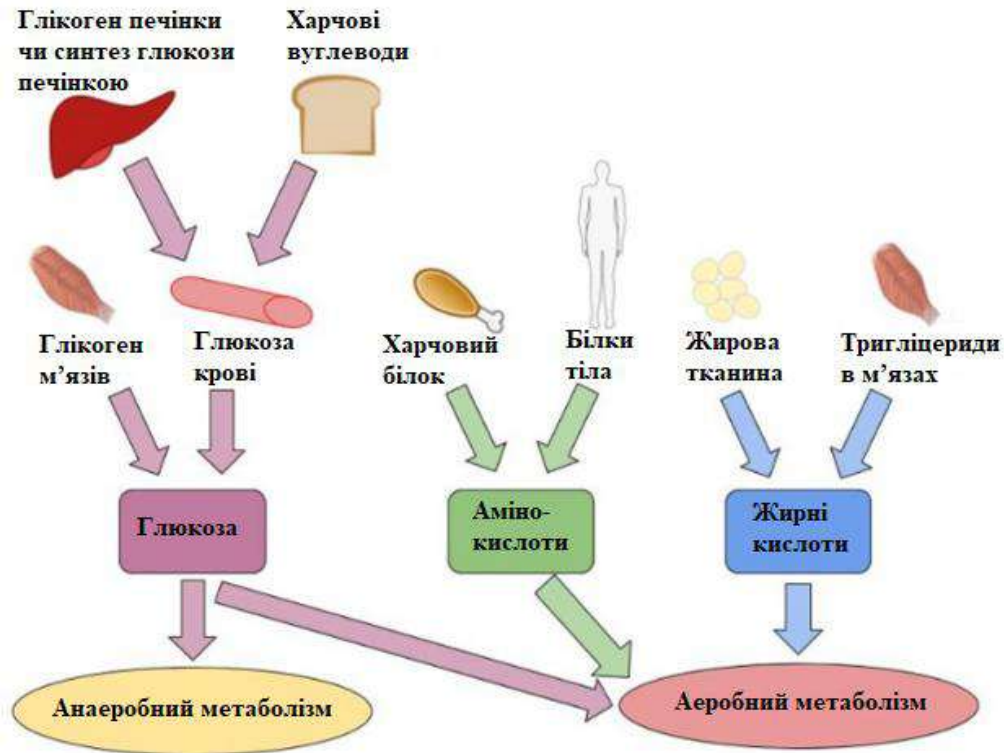
Відповіді

1 (А), 2(В), 3(Б), 4 (В), 5(Г), 6(Г), 7(В), 8(Б), 9(В), 10 (Б).

3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН

3.1. Джерела енергії для організму

Людський організм використовує вуглеводи, жири та білки з їжі та з запасів організму як енергію (рис. 3.1.). Ці важливі поживні речовини необхідні незалежно від інтенсивності діяльності. Однак, щоб ці поживні речовини використовувалися як паливо для організму, їхня енергія повинна бути перетворена на високоенергетичну молекулу, відому як аденозинтрифосфат (АТФ). АТФ є безпосереднім джерелом енергії для організму, яке може генеруватися або за наявності кисню, відомого як аеробний метаболізм, або без присутності кисню шляхом анаеробного метаболізму. Тип метаболізму, який переважно використовується під час фізичної активності, визначається доступністю кисню та кількістю використаних вуглеводів, жирів та білків.



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.1. Джерела енергії для анаеробного та аеробного метаболізму [15].

Високоінтенсивні фізичні вправи можуть привести до збільшення швидкості потреби в АТФ до 1000 разів порівняно зі станом спокою. Для підтримки скорочення м'язів АТФ повинна регенеруватися зі швидкістю, що доповнює потребу в АТФ. Для поповнення АТФ у м'язах функціонують три енергетичні системи: (1) фосфагенна, (2) гліколітична та (3) мітохондріальне дихання. Ці три системи відрізняються субстратами, які вони використовують, продуктами, максимальною швидкістю регенерації АТФ, здатністю до регенерації АТФ та пов'язаним з ними внеском у втому [2].

Вміст вуглеводів у печінці і скелетних м'язах обмежений. Його достатньо для утворення не більше ніж 2000 ккал енергії (пробігти 32 км). Запасів жирів достатньо для утворення більше 70000 ккал (табл. 3.1.).

Табл. 3.1.

Оцінка запасів енергії у людини. Адаптовано за [16].

Джерело енергії	Місце збереження	Орієнтовна енергія (ккал)
АТФ/КФ*	Різні тканини	5
Вуглеводи	Глюкоза крові	80
	Глікоген печінки	400
	Глікоген м'язів	1 500
Жири	Вільні жирні кислоти в сироватці	7
	Тригліцериди сироватки	75
	Тригліцериди м'язів	2 500
	Жирова тканина	80 000+
Білки	Білки м'язів	30 000

*АТФ/КФ = аденозинтрифосфат/креатинфосфат

Під час тренувань запаси м'язового глікогену постійно зменшуються, і глюкоза в крові відіграє дедалі більшу роль у задоволенні енергетичних потреб організму. Щоб впоратися з цією значно підвищеною потребою в глюкозі, запаси глікогену в печінці швидко виснажуються. Коли в печінці не вистачає

глікогену, людина «застрягає», оскільки рівень глюкози в крові падає занадто низько, і виникає гіпоглікемія (низький рівень цукру в крові), яка ще більше уповільнить темп виконання роботи. Продукти, що містять вуглеводи, які людина їсть або п'є під час фізичних вправ, можуть допомогти відтермінувати виснаження м'язового глікогену та запобігти гіпоглікемії.

Жири – це тригліцериди, які складаються з гліцерину і жирних кислот. Саме жирні кислоти йдуть на утворення АТФ. Жир є найбільш концентрованим джерелом енергії для організму, забезпечуючи більш ніж удвічі більше потенційної енергії, ніж вуглеводи чи білки (9 калорій на грам проти 4 калорій на грам). Під час фізичних вправ накопичений жир в організмі (у формі тригліцеридів у жировій тканині) розщеплюється на жирні кислоти. Ці жирні кислоти транспортуються кров'ю до м'язів для використання в якості палива. Цей процес відбувається відносно повільно порівняно з мобілізацією вуглеводів для використання в якості палива. Жир також зберігається в м'язових волокнах, звідки до нього легше отримати доступ під час фізичних вправ. На відміну від запасів глікогену, які обмежені, жирові запаси є практично необмеженим джерелом енергії для спортсменів. Навіть ті, хто худий і підтягнутий, мають достатньо жиру, що зберігається в м'язових волокнах і жирових клітинах, щоб забезпечити до 100 000 калорій — достатньо для понад 100 годин марафонського бігу! Жир є ефективнішим паливом на одиницю ваги, ніж вуглеводи. Вуглеводи повинні зберігатися разом із водою. Наша вага подвоїлася б, якби ми зберігали таку ж кількість енергії у вигляді глікогену (плюс вода, яку містить глікоген), яку ми зберігаємо у вигляді жиру в організмі. Більшість із нас мають достатні запаси енергії з жиру (жирова тканина або жирові відкладення), плюс організм легко перетворює та зберігає надлишки калорій з будь-якого джерела (жири, вуглеводи або білки) у вигляді жиру в організмі. ***Однак, щоб жир служив джерелом енергії для фізичних вправ, одночасно має споживатися достатня кількість кисню [16].***

Що стосується білка, наш організм не має визначених резервів для його використання як джерела енергії. Натомість білок використовується для

побудови, підтримки та відновлення тканин організму, а також для синтезу важливих ферментів і гормонів. За звичайних обставин білок задовольняє лише 5 відсотків енергетичних потреб організму. Однак у деяких ситуаціях, наприклад, коли ми споживаємо занадто мало калорій щодня або недостатньо вуглеводів, а також на пізніх стадіях тренувань на витривалість, коли запаси глікогену виснажуються, скелетні м'язи руйнуються та використовуються як паливо. Ця жертва необхідна для доступу до певних амінокислот (будівельних блоків білка), які можна перетворити на глюкозу. **Отже, білки беруть участь в глюконеогенезі і ліпогенезі. Дають 5-10% енергії для виконання тривалих фізичних вправ.**

М'язи витрачають позитивну метаболічну енергію для виконання позитивної та негативної роботи з ефективністю близько 25% та -120% відповідно (наприклад, для педалювання та для бігу вгору або вниз по крутих схилах, де робота значною мірою виконується проти сили тяжіння). Вартість позитивної роботи також підтверджується біохімічною вартістю виробництва та використання АТФ для м'язових містків для виконання роботи, з чистим коефіцієнтом корисної дії (в аеробних умовах, за винятком метаболізму спокою) у м'язах різних тварин близько 25% [28].

Близько 60-70 % енергії організму перетворюється на тепло. Ефективність людського організму в перетворенні хімічної потенційної енергії на корисну роботу відома як механічний (коефіцієнт корисної дії ККД) організму. Механічний ККД організму часто обчислюємо у відсотках:

$$\text{ККД}_{\text{тіла}} = \frac{\text{Корисна механічна робота}}{\text{Використана хімічна потенціальна енергія}} \times 100 \%$$

Цікавим є порівняння ККД людського тіла з іншими, неживими системами (табл. 3.2.).

ККД людського тіла у порівнянні з іншими системами [13].

Система	Вхідна форма енергії	Бажана вихідна форма	Макс. ефективність
Людське тіло	Хімічний потенціал	Механічна	25 %
Автомобільний двигун	Хімічний потенціал	Механічна	25 %
ТЕС на вугіллі/нафті/газі	Хімічний потенціал	Електрична	47 %
Парогазові електростанції (Combined Cycle)	Хімічний потенціал	Електрична	58 %
Біомаса/Біогаз	Кінетична	Електрична	40 %
Атомна енергетика	Кінетична	Електрична	36 %
Сонячна фотоелектрична електростанція	Сонячне світло (електромагнітне)	Електрична	15 %
Сонячна теплова електростанція	Сонячне світло (електромагнітне)	Електрична	23 %
Гідро- та припливні електростанції	Потенціальна гравітаційна	Електрична	90 %+

Дихальний коефіцієнт (ДК) – це відношення вуглекислого газу (CO_2), що утворюється, до кисню (O_2), що споживається під час клітинного дихання, яке розраховується як $\text{ДК} = \text{об'єм вивільненого } \text{CO}_2 / \text{об'єм поглиненого } \text{O}_2$. Це безрозмірне число, яке допомагає визначити тип речовини, що використовується тканинами, причому різні речовини дають різні значення ДК (наприклад, вуглеводи мають ДК 1,0, тоді як жири мають ДК приблизно 0,7). ДК також може вказувати на те, чи відбувається анаеробний метаболізм. Значення ДК більше 1,0 (наприклад, 1,0-1,3) вказує на наявність анаеробних процесів. Це означає, що виробляється більше CO_2 , ніж споживається кисню, що є ознакою анаеробного метаболізму.

Вуглеводи: Коли організм використовує чисті вуглеводи як паливо, ДК становить 1,0, оскільки об'єм виробленого CO_2 дорівнює об'єму споживаного O_2 .

Жири: Для окислення жирів ДК нижчий, близько 0,7. Це пояснюється тим, що молекули жирів мають довший вуглецевий ланцюг, і процес їх розщеплення генерує менше CO_2 порівняно зі споживаним киснем.

Білки та змішані дієти: Білки зазвичай мають ДК близько 0,8, а дієта, що складається з суміші вуглеводів, жирів та білків, матиме ДК близький до 0,8.

ДК стану спокою становить приблизно 0,78-0,8.

3.2. Енергетичні потреби організму

За ступенем важкості (згідно з фізіологічною класифікацією) робота поділяється на **легку** — до 1200 ккал/зміну, незначна м'язова напруга; **середньої важкості** — 1200–2000 ккал/зміну; **важку** — понад 2000 ккал/зміну, включає піднімання вантажів, активне пересування тощо.

Оскільки для більш простих форм праці важливою є кількість енергії, яка при цьому витрачається, згадаємо, що це таке з фізіологічної точки зору і як вона вимірюється.

Калорії – це міра енергії. Калорія (кал) – це кількість енергії, необхідна для підвищення температури одного грама води на один градус Цельсія за 1 атмосферного тиску. Аналогічно, кілокалорія – це кількість енергії, необхідна для підвищення температури одного кілограма води на один градус Цельсія.

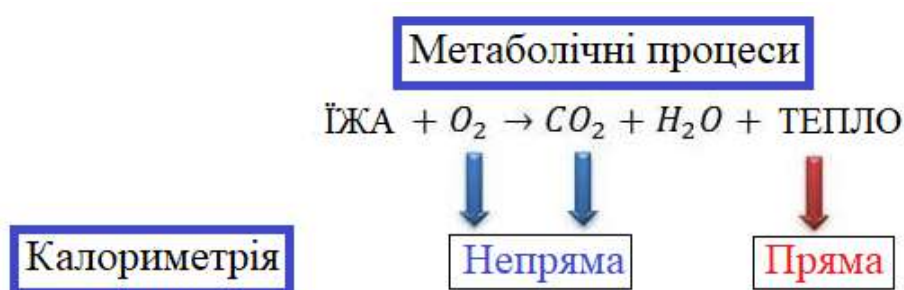
1 ккал = 1000 кал

Коли йдеться про їжу, використовуються кілокалорії (ккал). Білки та вуглеводи містять по 4 ккал/г. Жири забезпечують 9 ккал/г. Згідно з рекомендаціями щодо харчування, 45-65% калорій повинні надходити з вуглеводів, 20-35% – з жирів і 10-35% – з білків.

Основний обмін речовин (Oo) або basal metabolic rate (BMR) - це мінімальна кількість енергії, необхідна організму для підтримки життєдіяльності в стані спокою. Іншими словами, це кількість калорій, яка потрібна для забезпечення роботи серця, дихання, травлення, підтримки температури тіла та інших основних функцій організму. Oo речовин визначає, скільки калорій потрібно споживати щодня, щоб підтримувати вагу тіла і основні життєві показники, якщо людина неактивна. Приблизно 70% енергії

організм витрачає на підтримку життєдіяльності, а решта – на фізичну активність та перетравлення їжі. Оо речовин залежить від багатьох факторів, включаючи вік, стать, вагу, зріст та рівень фізичної активності. З віком рівень основного обміну речовин знижується.

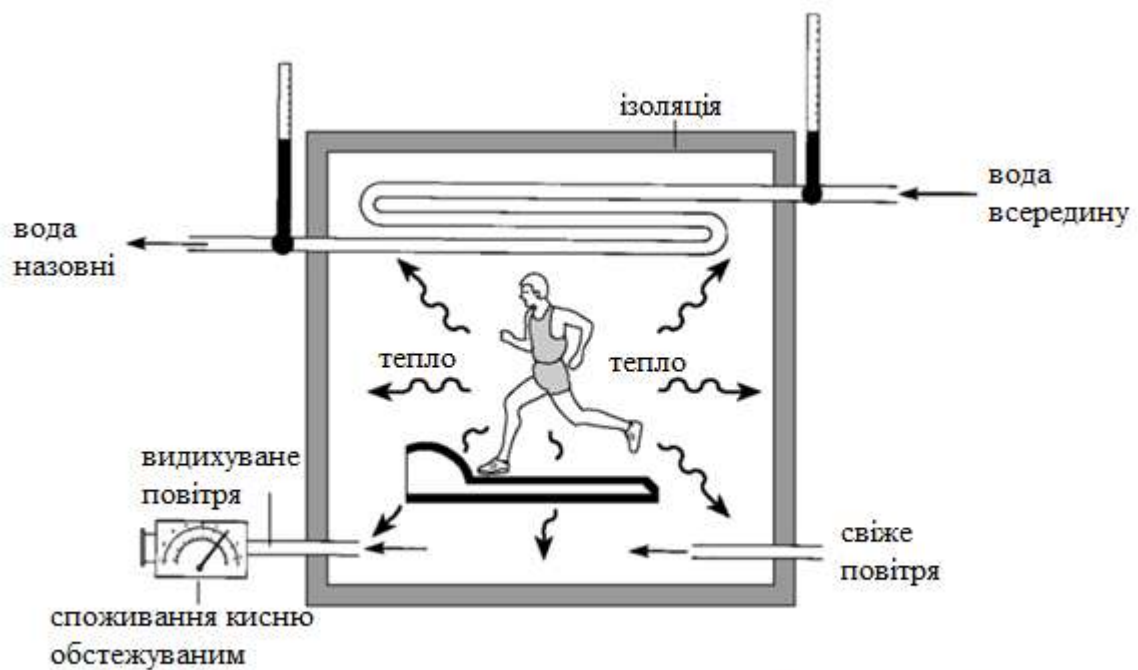
Для визначення Оо можна використовувати методи прямої та непрямой калориметрії (рис. 3.2.). Прямая калориметрія вимірює тепло, що виділяється тілом, а непряма калориметрія оцінює споживання кисню та виділення вуглекислого газу.



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.2. Спрощений принцип метаболічних процесів та методики калориметрії. Адаптовано за [18].

Прямая калориметрія передбачає поміщення людини в спеціальну теплоізолювану камеру та вимірювання кількості тепла, яке виділяється тілом (рис. 3.3.). Це безпосередньо вимірює теплопродукцію організму. Метод дорогий, потребує калориметричної камери і тривалого часу для проведення дослідження. Проте він є найточнішим. За допомогою прямої калориметрії було доведено справедливості закону збереження речовини та енергії для живих організмів.



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.3. Пряма калориметрія. Адаптовано за [11.]

Непряма калориметрія є більш поширеним методом, який здійснюється шляхом вимірювання дихального газообміну (поглинання кисню за допомогою концентрації O_2 та CO_2 ; зокрема, аналіз O_2 та CO_2 за допомогою інфрачервоної абсорбційної спектроскопії, рефрактометрії та мас-спектрометрії) (рис. 3.4.-3.5.). Оскільки процес окиснення поживних речовин супроводжується споживанням кисню, вимірювання цього показника дозволяє визначити енерговитрати. На споживання кисню як надійного корелята споживання енергії цілком можна покладатись, оскільки майже весь кисень йде саме на ці процеси, не депонуючись в організмі. На кожен літр спожитого кисню людина спалює приблизно 5 ккал. Хоча 5 ккал є стандартною оцінкою, точна кількість може дещо змінюватися залежно від таких факторів, як тип поживної речовини, що метаболізується (вуглеводи, жири, білки), та індивідуальні метаболічні особливості. Вуглекислий газ в цьому відношенні менш надійний показник, оскільки буферні системи крові, поглинаючи чи виділяючи певну його кількість, можуть спотворювати результат. У непрямій калориметрії точні витрати енергії розраховуються на основі метаболізму поживних речовин

шляхом вимірювання споживання кисню, утворення вуглекислого газу та втрати азоту з сечею. Зазвичай для розрахунку витрат енергії втрати азоту з сечею не вимірюються, тому корекцією на білок нехтують.

У нещодавньому варіанті непрямой калориметрії, методі подвійного мічення води, витрати енергії в основному розраховуються на основі вимірювання утворення вуглекислого газу. Метод подвійно міченої води базується на спостереженні, що кисень у дихальному вуглекислому газі знаходиться в ізотопній рівновазі з киснем у воді організму. Після збагачення води організму киснем-18 (^{18}O), стабільним ізотопом кисню, ^{18}O втрачається як функція нормальної втрати води та вироблення вуглекислого газу. Втрата ^{18}O у воді вимірюється шляхом одночасного збагачення води організму воднем-2 (^2H), стабільним ізотопом водню, який втрачається з організму лише з водою. Таким чином, після споживання подвійно міченої води ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$), вироблення вуглекислого газу можна розрахувати за різницею у вимиванні між двома ізотопами [23]. Метод подвійного мічення води може бути використаний для вимірювання загальних витрат енергії у нефіксованих суб'єктів протягом 1-4 тижнів. Подвійно мічена вода наразі є найточнішим способом вимірювання загальних енергетичних витрат і вважається золотим стандартом. Часто саме вона є критерієм, за яким оцінюються нові методи вимірювання. Через вартість методу подвійно міченої води, лише невеликі популяції зазвичай можливо дослідити без великого дослідницького гранту чи іншого джерела фінансування. Вартість тесту включає початкову дозу подвійно міченої води, обробку та подальше лабораторне тестування зразків [11].



Рис. 3.4. Система вимірювання метаболізму, що використовується в умовах лікарні. Непряма калориметрія [14].



Рис. 3.5. Система вимірювання метаболізму, що використовується під час фізичних вправ. Непряма калориметрія [14].

До методів непрямой калориметрії можна віднести також розрахункові формули та анкети в польових умовах. Розрахувати свій основний обмін речовин можна за допомогою онлайн-калькуляторів, які враховують індивідуальні параметри, такі як вік, стать, вага та зріст. Жінки, як правило, мають трохи нижчий ОО, ніж чоловіки. Цей метод відноситься до розрахункових і дає приблизний результат, заснований на усереднених показниках, отриманих для великої вибірки обстежуваних.

Для розрахунку Оо на теперішній час пропонується Рівняння Міффіна-Сент-Джора (The Mifflin St Jeor equation), яке дозволяє оцінити основний обмін, враховуючи вік, стать, вагу та зріст людини [26]:

$$\text{Оо чоловіків (ккал)} = 10 \times \text{маса (кг)} + 6.25 \times \text{зріст (см)} - 5 \times \text{вік (роки)} + 5;$$

$$\text{Оо жінок (ккал)} = 10 \times \text{маса (кг)} + 6.25 \times \text{зріст (см)} - 5 \times \text{вік (роки)} - 161.$$

Спрощено можна користуватись такими значеннями, хоча результат буде менш точним [14]:

$$\text{Для чоловіків: } 1 \text{ ккал} \times \text{кг}^{-1} \times \text{год}^{-1}$$

$$\text{Для жінок: } 0.9 \text{ ккал} \times \text{кг}^{-1} \times \text{год}^{-1}$$

Загальний діапазон Оо у стані спокою становить 1300-1500 калорій на день для жінок та 1600-1800 калорій на день для чоловіків. Ідеальний діапазон Оо (найнижча смертність) становить від 31 до 34 кілокалорій на квадратний метр на годину [29].

Умови вимірювання основного обміну. Важливо знати, що основний обмін речовин визначається за умов максимального фізичного, інтелектуального та емоційного спокою: (1) вранці після сну (уніфікація впливу біоритмів на обмін речовин), (2) лежачи (зменшення впливу м'язових скорочень), (3) натщесерце (виключення впливу специфічної динамічної дії їжі), (4) в умовах температурного комфорту (виключення впливу теплопродукції чи тепловіддачі).

Специфічна динамічна дія їжі (СДД). Енергія, необхідна для всіх ферментативних реакцій, що відбуваються під час перетравлення їжі, а також

всмоктування та транспортування поживних речовин, називається специфічною динамічною дією їжі (СДД) і становить близько 10 відсотків від загальної кількості енергії, що витрачається на день. Наприклад, якщо ви споживаєте 2000 ккал на день, приблизно 200 ккал знадобиться для перетравлення, всмоктування та транспортування поживних речовин у цьому прийомі їжі. СДД є найменшим компонентом витрат енергії, тому під час оцінки витрат енергії акцент робиться на метаболізмі в стані спокою та фізичній активності [14]. І ще слід пам'ятати, що близько 10 % спожитої енергії втрачається з каловими масами.

Але якщо врахувати такі речі, як рух, стрес і щоденна активність, загальна кількість спалених калорій різко зростає. Це означає, що більшість жінок спалюють приблизно від 1950 до 2250 калорій на день, а чоловіки – приблизно від 2400 до 2700, але це також залежатиме від рівня активності людини [27]. При стресі, активності та витратах енергії швидкість метаболізму зростає, але O_o залишається незмінним.

Інтенсивність метаболізму – це швидкість, з якою організм використовує енергію. В стані спокою середня людина споживає близько 0,3 л O_2 за хвилину, або 18 л O_2 за годину, або 432 л O_2 за добу. Ця інформація особливо важлива для розрахунків споживання кисню людиною, яка перебуває в екологічно змінених або екстремальних умовах, наприклад, у високогір'ї, в космічному кораблі, в авіалайнері під час польоту тощо.

ДК, який становить 0,8, типовий для більшості людей. Калоричний еквівалент $ДК_{0,8} = 4,8$ ккал/ л споживаного O_2 . Розрахунок кількості ккал за день = кількість л O_2 , спожитого за день \times кількість ккал, використаних на 1 л O_2 .

Наприклад, 432 л O_2 на день \times 4.8 ккал /1л O_2 =2074 ккал/день.

Швидкість O_o безпосередньо пов'язана з чистою вагою тіла і виражається в ккал/кг чистої ваги тіла за хв. У жінок більша вага жиру, тому у них показники O_o нижчі, ніж у чоловіків однакової з ними ваги. Трата енергії

у крупних спортсменів, які щоденно проводять інтенсивні тренування, може перевищувати 10000 ккал/день.

Максимальне споживання кисню (МСК або $VO_2\max$) – один із основних показників рівня тренуваності організму людини. Це межа досягнення споживання кисню при максимальному фізичному навантаженні, яке організм здатний виконувати (рис. 3.6.). $VO_2\max$ – це дійсний показник, що вимірює межі здатності кардіореспіраторної системи транспортувати кисень з повітря до тканин за заданого рівня фізичної підготовки та доступності кисню [8]. Золотим стандартом його визначення є прогресивне тестування на біговій доріжці шляхом бігу до виснаження. У чоловіків 18-22 років МСК становить $44-50 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$, у жінок – $34-42 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$. Цей показник знижується з 25-30 років на 1% за рік. Для найбільш тренуваних спортсменів він становить $80-84 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$, і як виключення був зафіксований показник $94 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$. Рівень споживання кисню в стані спокою становить від 3,5 до $5 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$. Цікаво, що рівень МСК скакового коня становить $150 \text{ мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$.

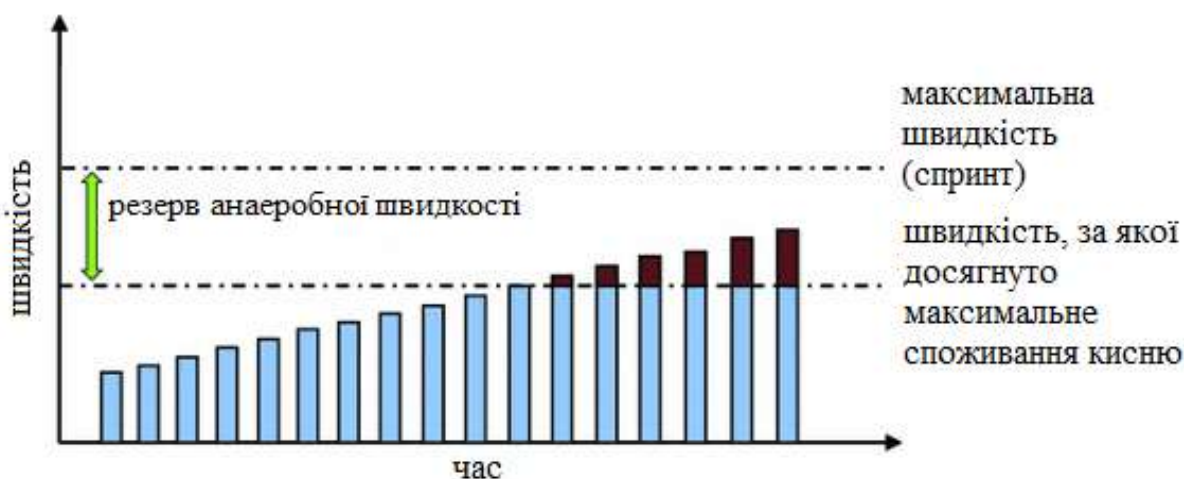
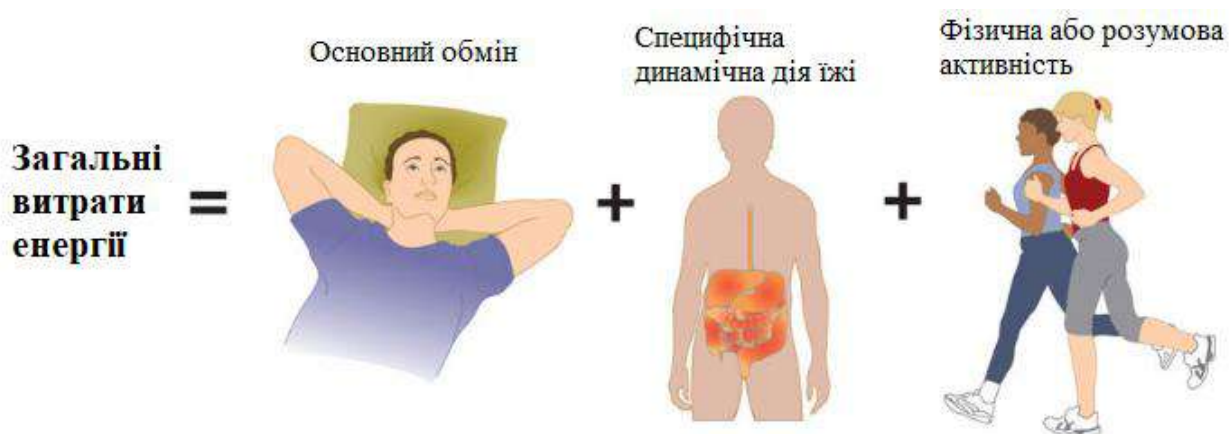


Рис. 3.6. Після досягнення мінімальної швидкості, необхідної для максимального поглинання кисню, додаткова енергія, що забезпечується протягом решти етапів, отримується переважно з анаеробних джерел. Адаптовано за [4].

Загальні енергетичні витрати (ЗЕВ) включають **загальні добові енергетичні витрати (ЗДЕВ)**, активні енергетичні витрати (АЕВ включає фізичні навантаження та не пов'язані з ними навантаження) та специфічну динамічну дію їжі (СДД) (рис. 3.7.). Оо вимірює загальні добові енергетичні витрати організму на день у стані спокою або на базальному рівні та становить до 60% від загальних енергетичних витрат, при цьому активні енергетичні витрати становлять ~30%, а решта ~10% припадає на СДД.



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.7. Загальні витрати енергії. Адаптовано за [14].

Щоб розрахувати загальні добові енергетичні витрати (ЗДЕВ), використовують формулу:

$$\text{ЗДЕВ} = \text{Oo} \times \text{Коефіцієнт активності}$$

де: Oo (основний обмін) — це кількість калорій, яку ваше тіло витрачає у стані спокою.

Коефіцієнти активності, а також витрати енергії в організмі людини під час різних видів діяльності виводяться емпіричним методом, на основі узагальнених показників великих вибірок обстежуваних (табл. 3.3.).

Рівні активності та відповідні коефіцієнти активності [14].

Рівень активності	Коефіцієнт активності	Типовий день	Фізичне навантаження
Сидячий спосіб життя	1.2	Робота за комп'ютером, сидяча офісна робота	Відсутність або мінімум фізичних навантажень
Помірна активність	1.3	Робота вдома або офісна	Фізичні вправи 1–2 рази на тиждень
Середній рівень активності	1.4	Активна офісна робота або догляд за маленькими дітьми	Фізичні вправи приблизно 3 рази на тиждень
Вище середнього	1.5	Робота на ногах протягом усього дня	Фізичні вправи 4–5 разів на тиждень, приблизно 1 година на день
Дуже активний	1.6	Фізична робота	Інтенсивні вправи 6 разів на тиждень, близько 2 годин на день
Надзвичайно активний	1.7	Будівельні роботи, важка фізична праця	Щоденні інтенсивні тренування понад 2 години
Професійний спортсмен	1.8	Робота спортсменом	Щоденні професійні тренування

Один ват (Вт) дорівнює потужності, при якій робота в один джоуль здійснюється за одну секунду:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м/с} = 1 \text{ м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}.$$

Ват використовується також для вимірювання активної електричної потужності та потужності теплового потоку або потоку випромінювання, що еквівалентні механічній потужності.

Витрати енергії в організмі людини під час різних видів діяльності представлені в табл. 3.4., а рівень споживання енергії та кисню – в табл. 3.5.

Табл. 3.4.

Витрати енергії в організмі людини під час різних видів діяльності [21]

Діяльність	Ккал/год	Ват
Сон	70	80
Спокійне лежання	80	93
Сидіння	100	116
Стояння у розслабленій позі	110	128
Розмова	110	128
Прийом їжі	110	128
Прогулянка пішки	140	163
Водіння автомобіля	140	163
Гра на скрипці або фортепіано	140	163
Домашня робота	150	175
Столярні роботи	230	265
Піша прогулянка (6,4 км/год)	350	407
Плавання	500	582
Скелелазіння	600	698
Біг на довгі дистанції	900	1048
Спринт	1400	1630

Табл. 3.5.

Рівень споживання енергії та кисню (потужність) [9]

Діяльність	Споживання енергії, Вт	Споживання кисню, л O ₂ /хв
Сон	83	0.24
Спокійне сидіння	120	0.34
Розслаблене стояння	125	0.36
Сидіння на заняттях	210	0.6
Ходьба (5 км/год)	280	0.8
Їзда на велосипеді (13–18 км/год)	400	1.14
Тремтіння	425	1.21
Гра в теніс	440	1.26
Плавання (брасом)	475	1.36
Катання на ковзанах (14,5 км/год)	545	1.56
Підйом по сходах (116 кроків/хв)	685	1.96
Їзда на велосипеді (21 км/год)	700	2.0
Біг по пересіченій місцевості	740	2.12
Гра в баскетбол	800	2.28
Велоперегони (професійні)	1855	5.3
Спринт	2415	6.9

В табл. 3.6. подані величини основного обміну в різних органах організму людини.

Табл. 3.6.

Основний обмін речовин в різних органах [9]

Орган	Потужність у стані спокою (Вт)	Споживання кисню (мл/хв)	Відсоток від основного обміну (%)
Печінка і селезінка	23	67	27
Головний мозок	16	47	19
Скелетні м'язи	15	45	18
Нирки	9	26	10
Серце	6	17	7
Інше	16	48	19
Разом	85 Вт	250 мл/хв	100%

В табл 3.7. наведені приклади добових витрат енергії для представників різних професій.

Табл. 3.7.

Приклади добових витрат енергії для представників різних професій.

Професія	Добові енерговитрати (ккал)
Вчителі, службовці	2600
Студенти	2800
Двірники	2900
Механіки	3200
Малярі	3800
Шахтарі, металурги	4300

Значення є орієнтовними для чоловіків середнього віку з нормальною масою тіла (близько. 70 кг) у помірному кліматі. Для жінок ці показники приблизно на 15% нижчі.

При визначенні рекомендованих величин споживання харчових речовин та енергії для дорослого працездатного населення особливе значення мають відмінності у енерговитратах, пов'язаних з характером праці. Тому у нормах харчування осіб віком від 18 до 60 років за інтенсивністю праці передбачено поділ на п'ять груп (табл. 3.8.). Ці групи відрізняються за рівнем енерговитрат, зумовлених професійною діяльністю.

Табл. 3.8.

Величини споживання харчових речовин та енергії для дорослого працездатного населення

Групи за професіями	Вікові категорії (роки)	Енергія (ккал)	Білки (г), загальна кількість/ тваринного походження	Жири (г)	Вуглеводи, (г)
I	18–29	2800	91/50	103	378
	30–39	2700	88/48	99	365
	40–59	2550	83/46	93	344
II	18–29	3000	90/49	110	412
	30–39	2900	87/48	106	399
	40–59	2750	82/45	101	378
III	18–29	3200	96/53	117	440
	30–39	3100	93/51	114	426
	40–59	2950	88/48	108	406
IV	18–29	3700	102/56	136	518
	30–39	3600	99/54	132	504
	40–59	3450	95/52	126	483
V	18–29	4300	118/65	158	602
	30–39	4100	113/62	150	574
	40–59	3900	107/59	143	546

Перша група — працівники переважно розумової праці: інженерно-технічні та частина медичних працівників, педагоги, науковці, працівники літератури, преси, планування й обліку, диспетчери тощо.

Друга група — працівники, зайняті легкою фізичною працею: працівники автоматизованих виробництв, сфери обслуговування, зв'язку, швачки, продавці промтоварних магазинів, водії трамваїв і тролейбусів, агрономи, медсестри, санітарки тощо.

Третя група — працівники середньої важкості праці: верстатники, слюсарі, хірурги, хіміки, текстильники, водії автобусів і вантажівок, працівники комунально-побутового обслуговування, громадського харчування і торгівлі продуктами, залізничники, працівники водного транспорту тощо.

Четверта група — працівники важкої фізичної праці: будівельники та більшість сільськогосподарських робітників, металурги, ливарники, працівники нафтової й газової промисловості, теслярі тощо.

П'ята група — працівники, зайняті особливо важкою фізичною працею: шахтарі, сталевари, лісоруби, каменярі, бетонярі, землекопи, вантажники.

Кожна з груп інтенсивності праці поділяється на три вікові категорії: 18–29, 30–39 та 40–59 років. При цьому враховано поступове вікове зниження енерговитрат, що впливає на потребу в енергії та поживних речовинах. Поділ за статтю обумовлений меншою масою тіла та менш інтенсивним обміном речовин у жінок порівняно з чоловіками. Тому потреба в енергії та поживних речовинах у жінок усіх вікових і професійних груп у середньому на 15% нижча, ніж у чоловіків. Винятком є потреба в залізі, яка у жінок репродуктивного віку вища, ніж у чоловіків. Для жінок не передбачена п'ята група інтенсивності праці, яка включає професії з особливо важкою фізичною працею.

Під час визначення потреби в поживних речовинах і енергії для населення віком від 18 до 60 років як середню ідеальну масу тіла прийнято 70 кг для чоловіків і 60 кг для жінок. Для осіб із надмірною масою тіла потреба в

поживних речовинах і енергії визначається індивідуально відповідно до завдань оздоровчої регуляції маси тіла.

Норми харчування також передбачають поділ за трьома кліматичними зонами: центральною, північною та південною. Потреба в енергії у жителів північної зони перевищує аналогічний показник для центральної на 10–15%, що має забезпечуватися за рахунок збільшення споживання жирів і в дещо меншій мірі — білків і вуглеводів. Для південної зони порівняно з центральною потреба в енергії знижена на 5% за рахунок зменшення частки жирів, які заміщуються вуглеводами. Це пояснюється не тим, що організм людини може отримувати енергію безпосередньо від сонячного проміння чи теплого повітря, а тим, що за високої температури навколишнього середовища енерговитрати організму на теплопродукцію знижуються.

3.3. Три основні енергетичні системи організму

Клітини утворюють АТФ за допомогою трьох енергетичних систем (рис. 3.8.):

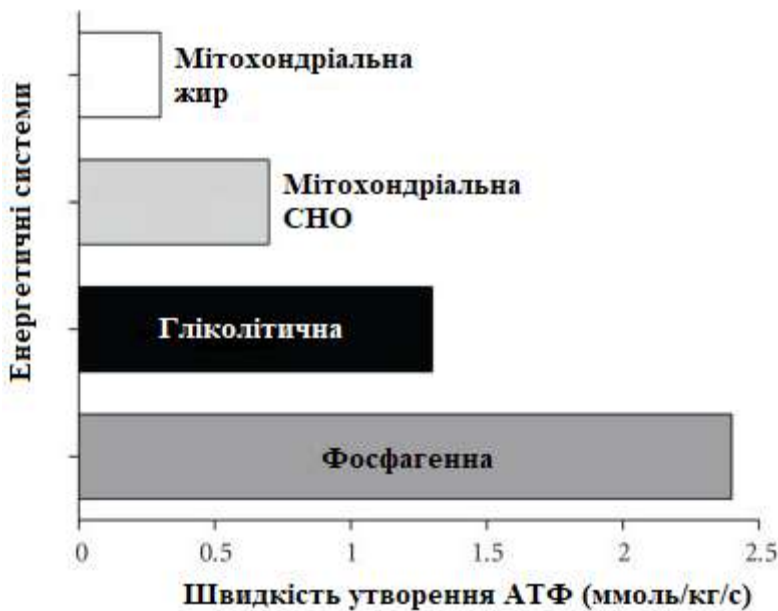
1. АТФ-КФ (креатинфосфат).
2. Гліколітична.
3. Окисна.

Дві перші системи – анаеробні. Анаеробний метаболізм здійснюється у цитозолі м'язових клітин і забезпечує синтез відносно невеликої кількості АТФ без участі кисню. Єдиним джерелом енергії для цього процесу є глюкоза, яка розщеплюється з утворенням пірувату та молочної кислоти. При достатній оксигенації піруват може надалі використовуватись у циклі аеробного метаболізму. На відміну від цього, аеробний метаболізм відбувається у мітохондріях і здатний залучати до енергетичного обміну не лише вуглеводи, а й білки та жири. Хоча він протікає значно повільніше, ніж анаеробний, саме аеробний шлях забезпечує основну частину синтезу АТФ, необхідного для тривалої та ефективної роботи організму.



Рис. 3.8. Основні енергетичні системи організму.

Найвищу швидкість утворення АТФ має фосфагенна система, найнижчу – окисна (мітохондріальна, аеробна) (рис. 3.9.). Але щодо загальної кількості АТФ, яка виробляється, залежність є протилежною (див. рис. 3.8.).



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.9. Максимальні швидкості регенерації АТФ з енергетичних систем скелетних м'язів. Адаптовано за [30].

Під час низькоінтенсивної діяльності організм використовуватиме аеробний метаболізм замість анаеробного, оскільки він ефективніший, виробляючи більшу кількість АТФ. Жирні кислоти є основним джерелом енергії під час низькоінтенсивної діяльності. Оскільки запаси жиру в організмі майже необмежені, низькоінтенсивні заняття можуть тривати протягом тривалого часу. Поряд із жирними кислотами використовується також невелика кількість глюкози. Глюкоза відрізняється від жирних кислот, оскільки запаси глікогену можуть виснажуватися. Коли запаси глікогену виснажуються, зрештою настає втома.

Система АТФ-КФ (фосфагенна)

Фосфат неорганічний (Фн) відділяється від КФ під дією креатинкінази. $\text{Фн} + \text{АДФ} = \text{АТФ}$. 1 моль АТФ утворюється з 1 моля КФ (рис. 3.10.).

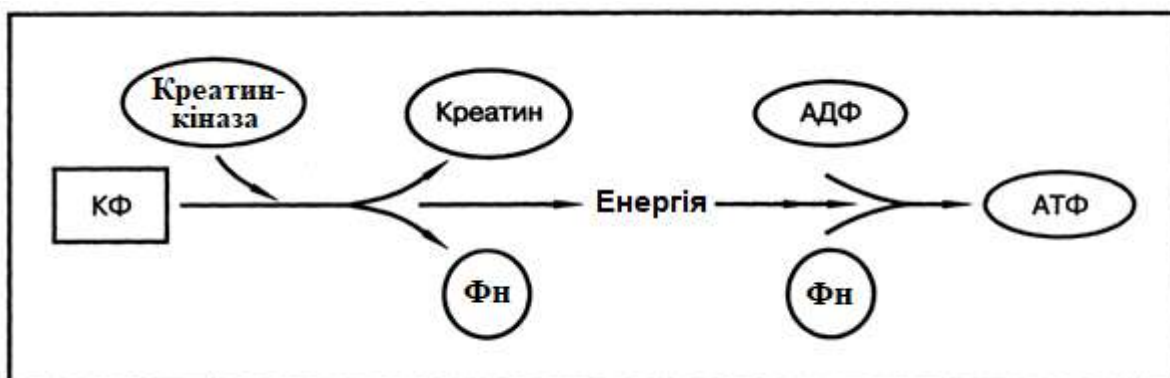


Рис. 3.10. Підтримання рівня АТФ за рахунок енергії, яка міститься в КФ. КФ – креатинфосфат, Фн – фосфат неорганічний, Адаптовано за [22].

В перші секунди інтенсивної м'язової діяльності АТФ підтримується на відносно постійному рівні, тоді як рівень КФ знижується (рис. 3.11.).

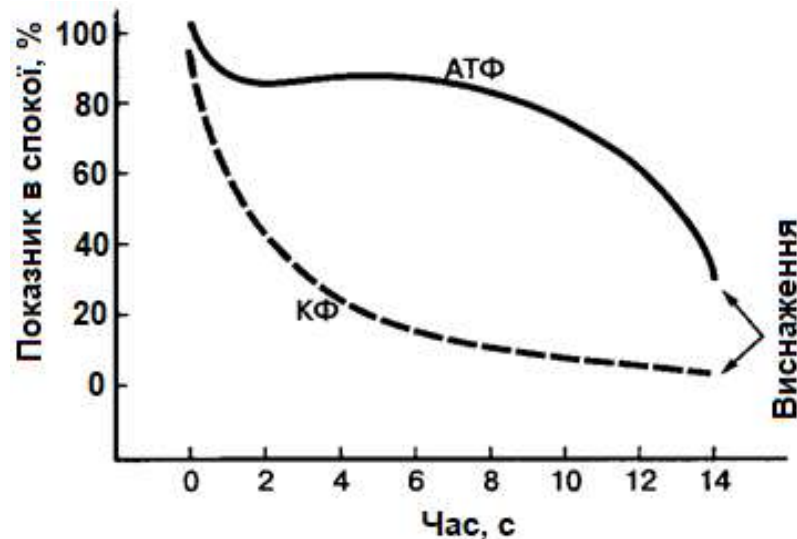


Рис. 3.11. Зміни у м'язових АТФ та КФ у перші секунди максимального м'язового зусилля. Адаптовано за [22].

Протягом перших кількох кроків фізичних вправ м'язи першими реагують на зміну рівня активності. Однак легені та серце реагують не так швидко, і під час цих початкових кроків вони не починають збільшувати надходження кисню. Щоб організм отримав енергію, необхідну на цих початкових кроках, м'язи покладаються на невелику кількість АТФ, яка зберігається в м'язах у стані спокою. Запас АТФ здатний забезпечити енергію лише протягом кількох секунд, перш ніж він вичерпається. Як тільки запас АТФ майже вичерпано, організм вдається до іншої високоенергетичної молекули, відомої як креатинфосфат, для перетворення АДФ (аденозиндифосфату) в АТФ. Приблизно через 10 секунд запас креатинфосфату в м'язових клітинах також виснажується (рис. 3.12.). Так виникає частина кисневого боргу, який покривається підвищеним споживанням O_2 після завершення роботи, необхідним для ресинтезу АТФ і КФ, витрачених на початку роботи. При неважких навантаженнях дефіцит кисню покривається ще під час самої роботи. При виконанні субмаксимальних і максимальних фізичних вправ виникає дефіцит кисню, який ліквідується після завершення роботи.

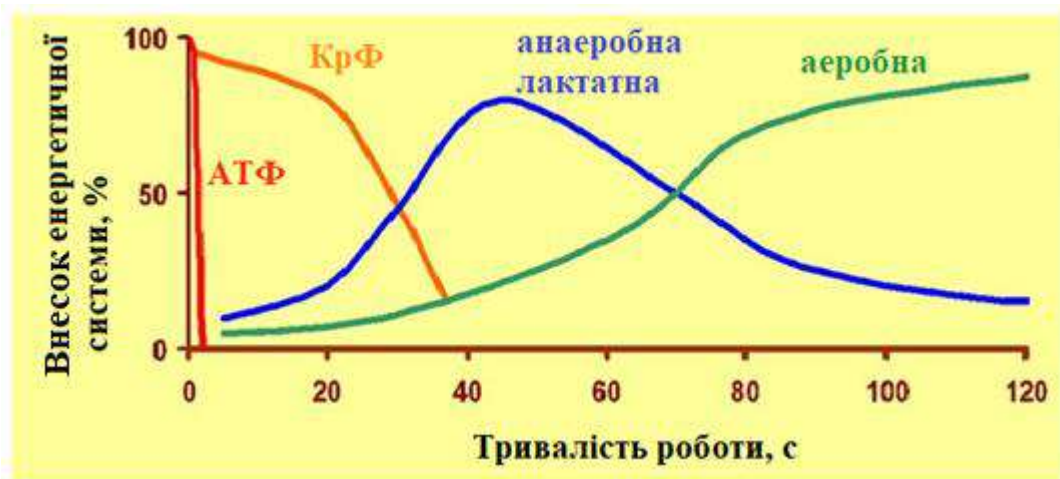


Рис. 3.12. Активність кожної із трьох енергетичних систем залежно від тривалості роботи.

В стані виснаження рівні АТФ і КрФ досить низькі і не можуть забезпечувати енергію для скорочень і розслаблень м'язів. Запаси АТФ і КрФ достатні для задоволення енергетичних потреб м'язів лише протягом 3-15 с спринтерського бігу.

Гліколітична система

Гліколіз, в результаті якого глюкоза чи глікоген розщеплюються на пірвіноградну кислоту за допомогою гліколітичних ферментів (рис. 3.13.). Якщо процесі не бере участь кисень, то пірвіноградна кислота перетворюється на молочну. З 1 моля глюкози утворюється 2 моля АТФ, тоді як з 1 моля глікогену – 3 моля АТФ.

Недоліки:

1. Не продукує великої кількості АТФ, хоча забезпечує роботу м'язів навіть при обмеженому постачанні кисню.
2. Викликає накопичення молочної кислоти. В спринтерській дистанції тривалістю 1-2 хвилини вміст молочної кислоти може зрости з 1 до 25 і більше ммоль×кг⁻¹.

Молочна кислота і лактат – різні сполуки. Молочна кислота – C₃H₆O₈. Лактат – будь-яка сіль молочної кислоти (Na⁺ чи K⁺).

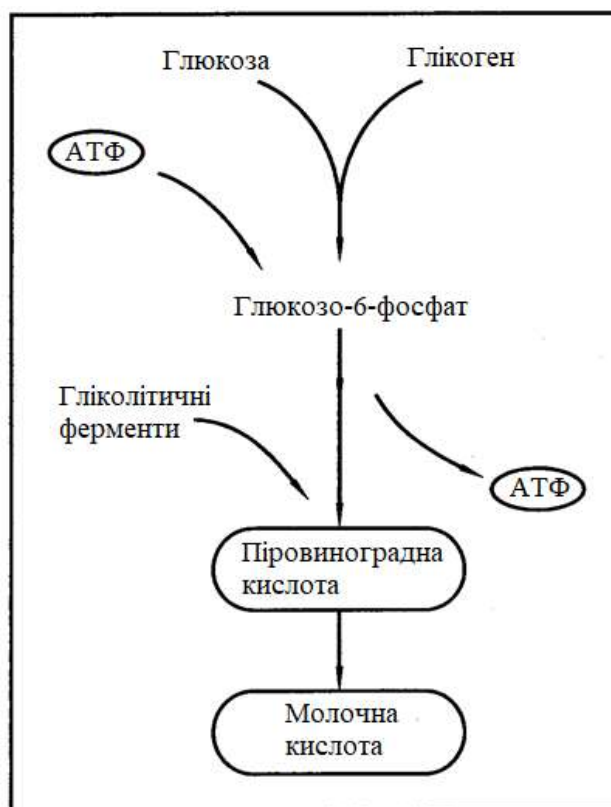


Рис. 3.13. Процес гліколізу. Адаптовано за [22].

Дві перші системи (анаеробні) не здатні забезпечити необхідну для тривалої роботи кількість енергії. Без третьої енергетичної системи наша здатність виконувати м'язову діяльність була б обмеженою лише кількома хвилинами.

Окисна система

Є найбільш складною. Ця система є основним механізмом утворення енергії під час м'язової діяльності, яка потребує витривалості.

Окиснення вуглеводів включає гліколіз, цикл Кребса і ланцюжок перенесення електронів. Кінцевим результатом є H_2O , CO_2 і 38 (глюкоза) або 39 (глікоген) молекул АТФ із однієї молекули вуглеводів (рис. 3.14.).

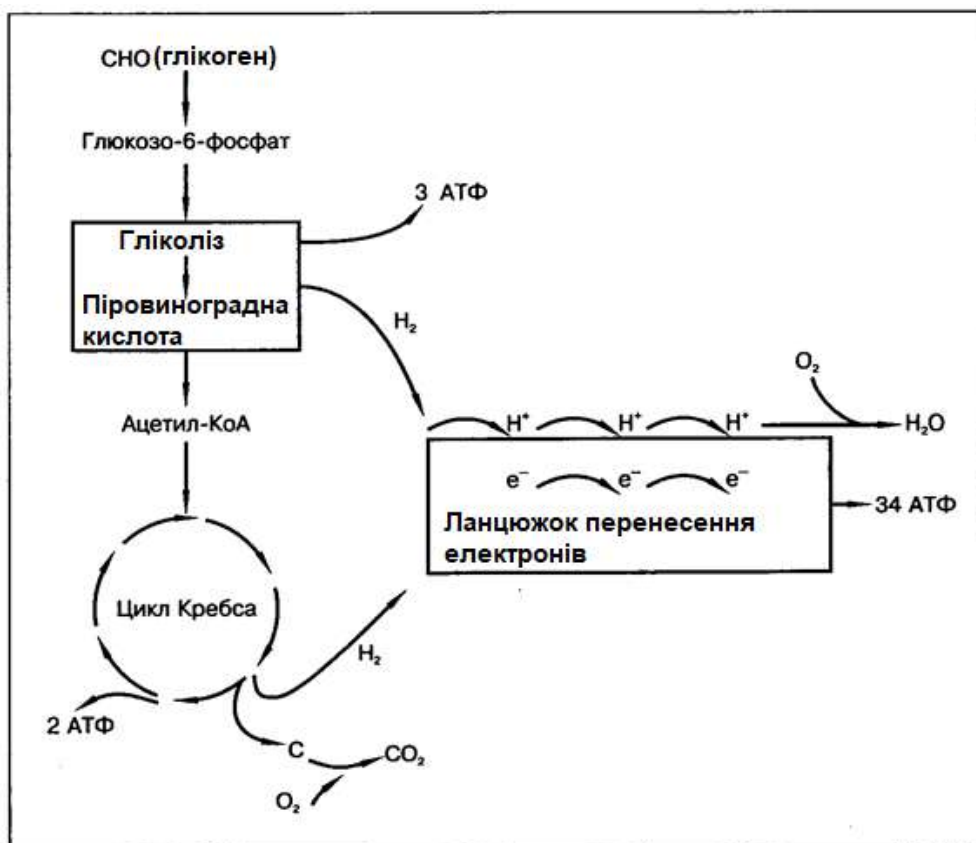


Рис. 3.14. Окислення вуглеводів. Адаптовано за [22].

Окислення жирів починається з β -окислення вільних жирних кислот і потім здійснюється так само, як і для вуглеводів. Кількість енергії, яка утворюється внаслідок окислення жирів, значно перевищує ту, яка утворюється при окисненні вуглеводів, і залежить від кількості окислених вільних жирних кислот.

Хоча жири забезпечують більше кількості енергії на грам, ніж вуглеводи, але для їх окислення потрібно більше кисню, ніж для окислення вуглеводів. Жири утворюють 5,6 молекули АТФ відносно молекули O₂, вуглеводи – 6,3. **Постачання O₂ обмежене кисень-транспортною системою, тому перевага як джерела енергії під час виконання фізичного навантаження високої інтенсивності надається вуглеводам.**

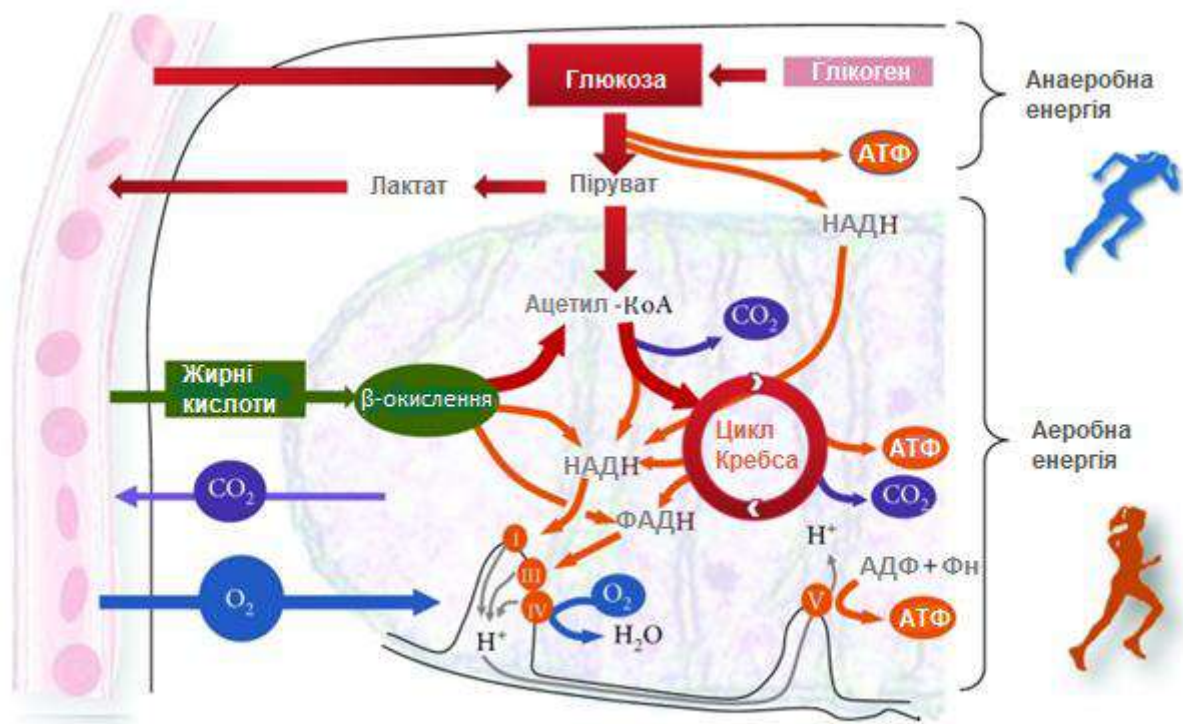
Процес окиснення білків більш складний, оскільки білки містять N, який не окислюється. Їх внесок в утворення енергії відносно незначний, тому їх енергетичний обмін часто не береться до уваги.

При розщепленні білків шляхом спалювання в лабораторних умовах утворюється $5,65 \text{ ккал} \times \text{г}^{-1}$ енергії. При метаболізмі білка в організмі внаслідок затрат енергії на процес перетворення N в сечовину вивільняється $5,2 \text{ ккал} \times \text{г}^{-1}$ енергії, тобто на 8 % менше.

3.4. Внесок енергетичних систем під час фізичних навантажень

Скелетні м'язи потребують належного вироблення та розподілу енергії для підтримки своєї роботи. Щоб забезпечити виконання цієї вимоги, мітохондрії утворюють великі мережі всередині клітин скелетних м'язів, і під час фізичних вправ вони можуть посилювати свої функції. Накопичуються дані щодо мітохондріальної адаптації, індукованої фізичними вправами. Модуляція мітохондріальної активності фізичними вправами є не лише фундаментальною для фізичної працездатності, але й ключовим моментом для благополуччя всього організму [20].

Скоротлива активність скелетних м'язів безпосередньо залежить від постачання аденозинтрифосфату (АТФ) трьома АТФазами: міозину, $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ та Ca^{2+} саркоплазматичного ретикулуму. Однак кількість внутрішньом'язового АТФ ссавців дозволяє підтримувати високоінтенсивні фізичні навантаження лише протягом кількох секунд. Тому з біоенергетичної точки зору фізичні вправи є енергетичним викликом для клітин скелетних м'язів. Скелетні м'язи мають низку шляхів синтезу АТФ, які забезпечують високий обіг АТФ навіть під час інтенсивних фізичних навантажень. Ці шляхи залучають як анаеробне фосфорилування на субстратному рівні, так і аеробний метаболізм, який сильно залежить від кисню, що доставляється серцево-судинною системою до скелетних м'язів (рис. 3.15.) [20].



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.15. Внесок енергетичних систем під час фізичних навантажень. I, III, IV: мітохондріальні комплекси; V: АТФ-синтаза; ФАДН: відновлений флавінаденіндинуклеотид; НАДН: відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид; АТФ: аденозинтрифосфат; АДФ: аденозинмонофосфат, Фн - неорганічний фосфат. Адаптовано за [20].

Графік (рис. 3.16.) ілюструє внесок різних енергетичних систем у забезпечення фізичної активності залежно від тривалості навантаження. Анаеробна (фосфагенна) система забезпечує швидку енергію для дуже коротких та високоінтенсивних навантажень (до 30 секунд), таких як спринт або підняття ваги. Її внесок швидко знижується зі збільшенням тривалості активності. Анаеробна (гліколітична) система починає відігравати важливу роль після фосфагенної системи, забезпечуючи енергію для навантажень середньої тривалості та інтенсивності (від 30 секунд до 2 хвилин). Її пік припадає приблизно на 30-60 секунд. Аеробна система стає домінуючою при тривалих навантаженнях (від кількох хвилин до кількох годин), забезпечуючи енергію за рахунок окислення вуглеводів та жирів. Її внесок поступово

збільшується з часом. Лінія, що показує % VO_2 Max для тренування, вказує на інтенсивність навантаження, при якій спортсмен працює по відношенню до свого максимального споживання кисню (VO_2 Max). Для тренування, яке є тривалими, інтенсивність підтримується на високому, але субмаксимальному рівні з тим, щоб аеробна система могла ефективно працювати.

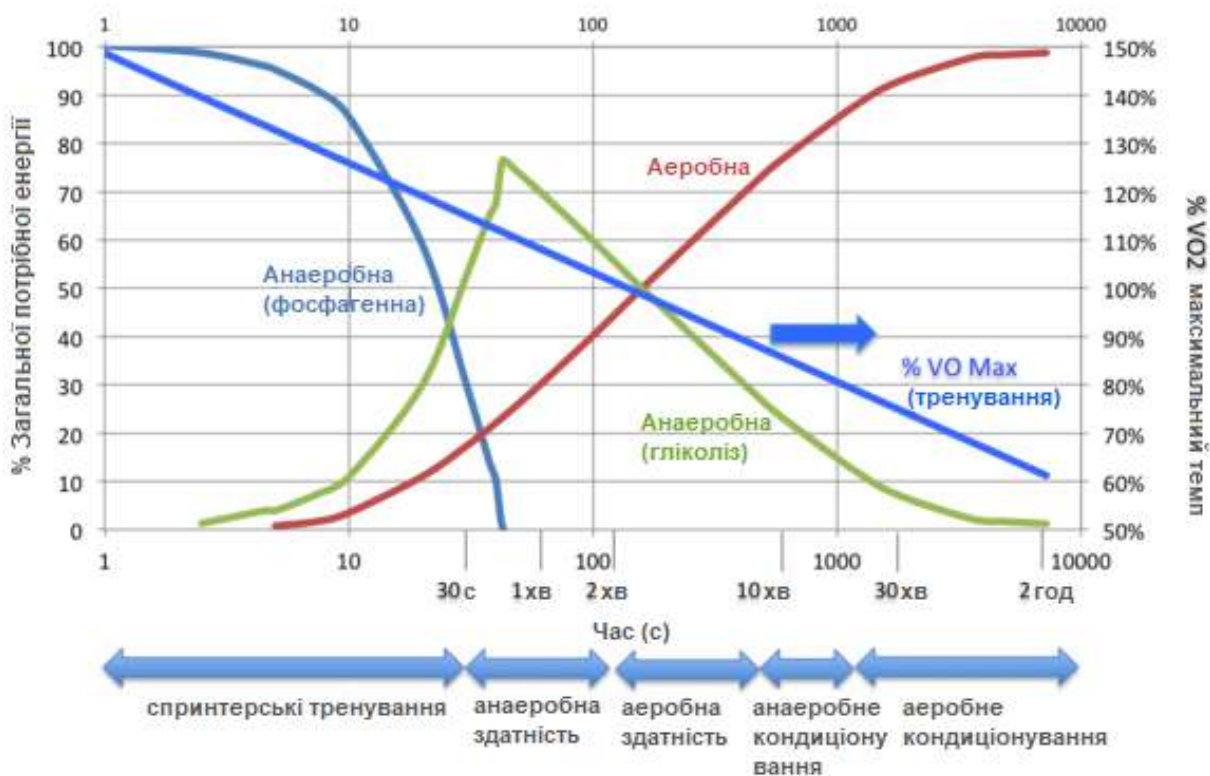


Рис. 3.16. Внесок трьох енергетичних систем у забезпечення фізичної активності залежно від тривалості навантаження.

Основні характеристики трьох енергетичних систем організму представлені в табл. 3.9.

Табл. 3.9.

Основні характеристики трьох енергетичних систем організму. Адаптовано за [12].

Енергетична система	АТФ – КФ	Анаеробний гліколіз	Аеробна
Тривалість	1–15 секунд	15 секунд – 2 хвилини	Більше ніж 3 хвилини
Характеристика	Сила – швидкість – потужність	М'язова витривалість – швидкісна витривалість	М'язова витривалість – аеробна потужність
Види спорту	Біг – 100 м Плавання – 25 м Легкоатлетичні стрибки і метання	Біг – 200, 400, 800 м Плавання – 50, 100, 200 м	Біг – 1600 м, 3200 м і більше
Тренування для оптимальної працездатності	Використання коротких вибухових рухів і вправ	Триваліші серії з підтриманням високої інтенсивності. Наприклад: інтервальні тренування для бігу, крикету, футболу тощо	Виконання вправ у сталому темпі мінімум 20–30 хвилин (65–85% VO_{2max})
Здатність генерувати енергію	36 ккал/хв	16 ккал/хв	10 ккал/хв

Відносний внесок кожної енергетичної системи у виконання фізичного навантаження в залежності від виду спорту подано в табл. 3.10.

Табл. 3.10.

Відносний внесок (%) кожної енергетичної системи у виконання фізичного навантаження в залежності від виду спорту. Адаптовано за [12].

№	Вид спорту / діяльність	АТФ – КФ	Анаеробний гліколіз	Аеробна
1	Аеробіка	5	15–20	75–80
2	Бейсбол	80	15	5
3	Баскетбол	60	20	20
4	Хокей	50	20	20
5	Американський футбол	90	10	0
6	Замах у гольфі	95	5	0
7	Гімнастика	80	15	5
8	Веслування	20	30	30
9	Лижний спорт (загалом)	33	33	33
9а	Стрибки на лижах	80	15	5
9б	Спуск на лижах	50	30	20
9в	Лижні перегони	5	10	85
10	Футбол (сокер)	50	20	30
10а	Воротар, фланг, нападники	60	30	10
10б	Півзахисники, захисники	60	20	20
11	Плавання (загалом)	10	20	70
11а	Стрибки у воду	98	2	0
11б	Плавання 100 м	80	15	5
11в	Плавання 400 м	20	40	40
11г	Плавання 1500 м	10	20	70
12	Теніс	70	20	10
13	Ходьба	0	5	95

Під час фізичних вправ в організмі одночасно працюють як анаеробні, так і аеробні механізми енергетичного забезпечення, забезпечуючи м'язи достатньою кількістю АТФ для виконання навантаження. Співвідношення їхнього внеску визначається інтенсивністю та тривалістю роботи (рис. 3.17.). За умов низької інтенсивності основним джерелом енергії є аеробний метаболізм, який, хоча й відбувається повільніше, забезпечує значно більший

вихід АТФ. У цьому випадку головним паливом виступають жирні кислоти, запаси яких в організмі практично необмежені, що дозволяє підтримувати роботу протягом тривалого часу. Поряд із жирами використовується також невелика кількість глюкози. На відміну від жирних кислот, запаси глікогену обмежені, і їхнє виснаження є однією з основних причин виникнення втоми. При високій інтенсивності фізичної активності потреба в енергії різко зростає, і тоді м'язи вимушено поєднують аеробні та анаеробні механізми для швидкого синтезу АТФ. Таким чином, ефективність і витривалість організму під час роботи визначаються не лише потужністю енергетичних шляхів, а й балансом між використанням жирних кислот і глюкози та здатністю організму підтримувати їхні запаси.

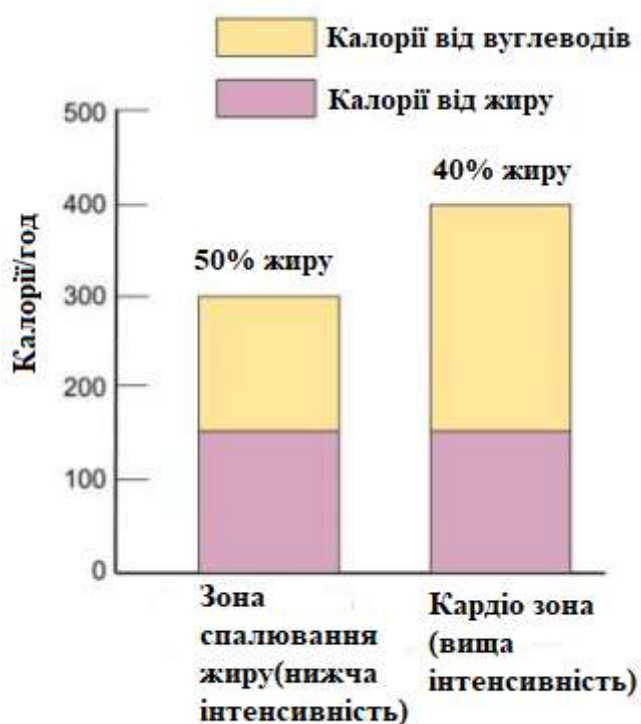


Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.17. Вплив інтенсивності фізичних вправ на джерела енергії. Адаптовано за [15].

Зона спалювання жиру

Зона спалювання жиру – це аеробне навантаження низької інтенсивності, яке підтримує частоту серцевих скорочень у межах від 60 до 69% від максимальної ЧСС. Кардіо зона, з іншого боку, – це аеробне навантаження високої інтенсивності, яке підтримує ЧСС приблизно від 70 до 85% від максимальної ЧСС. Тож у якій зоні спалюється найбільше жиру? Технічно, організм спалює більший відсоток калорій з жиру під час аеробного навантаження низької інтенсивності, але не тільки це. Коли людина починає з навантаження низької інтенсивності, близько 50% спалених калорій надходить з жиру, тоді як у кардіо зоні лише 40% надходить з жиру. Однак, якщо подивитися на фактичну кількість спалених калорій, навантаження вищої інтенсивності спалює стільки ж жиру та набагато більшу загальну кількість калорій (рис. 3.18.) [15].



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.18. Співвідношення спалювання жирів і вуглеводів в залежності від інтенсивності навантаження. Адаптовано за [15].

«Удар об стіну» або «занурення» і «вуглеводне завантаження»

Якщо ви знайомі зі спортом на витривалість, можливо, ви чули про **«удари об стіну»** або «занурення» (“bonking”). Ці розмовні терміни стосуються надзвичайної втоми, яка настає приблизно після 120 хвилин занять спортом на витривалість, таким як марафонський біг або велогонка на довгі дистанції. Фізіологія, що лежить в основі «удари об стіну», означає, що м’язи використали весь свій запасений глікоген і тому залежать від інших поживних речовин для задоволення своїх енергетичних потреб. Жирні кислоти транспортуються з клітин, що зберігають жир, до м’язів, щоб компенсувати дефіцит поживних речовин. Однак жирним кислотам потрібно більше часу для перетворення на енергію, ніж глюкозі, що знижує рівень продуктивності. Щоб уникнути «удари об стіну» або «занурення», спортсмени на витривалість завантажуються вуглеводами за кілька днів до змагань, що називається **вуглеводним завантаженням**. Це дозволить максимально збільшити кількість глікогену, що зберігається в печінці та м’язових тканинах спортсмена. Важливо не вважати, що вуглеводне навантаження підходить усім. Без супутніх тренувань на витривалість людина не збільшить кількість накопиченої глюкози. Якщо ви плануєте пробігти п’ятимильну гонку заради розваги з другом і вирішите з’їсти велику кількість вуглеводів у вигляді великої вечері спагетті напередодні ввечері, надлишок вуглеводів буде зберігатися у вигляді жиру. Тому, якщо ви не є спортсменом на витривалість, який тренується більше 90 хвилин, вуглеводне навантаження не принесе жодної користі і навіть може мати деякі недоліки. Ще один спосіб для спортсменів уникнути «застою» – це вживати напої та їжу, що містять вуглеводи, під час змагань на витривалість. Фактично, протягом Тур де Франс – 21-денної гонки на 3 338,8 км (у 2025 році) – середній велосипедист споживає понад 60 грамів вуглеводів на годину [15].

3.5. Роль лактату у виконанні фізичних навантажень

З моменту революції в розумінні ролі лактату в нормальному метаболізмі та розвитку захворювань наприкінці 20 століття було зібрано більше доказів щодо його конкретної ролі у фізичних вправах. З величезного обсягу знань дослідники розробили концепцію розподілу інтенсивності тренувань за зонами відповідно до рівня лактату в крові. Кінцевою метою тренувань до певного рівня лактату або «порогу» є підвищена адаптація до конкретних тренувальних стимулів і, зрештою, краща продуктивність, що підтверджується досягненнями численних спортсменів, які тренуються відповідно до цієї концепції [25].

Лактат вперше був відкритий як молекула в 1780 році Карлом Вільгельмом Шееле (Carl Wilhelm Scheele) в молоці і назвав його «Mjölksyra», що пізніше було перекладено як молочна кислота. Протягом наступних двох століть, в результаті численних досліджень було встановлено кореляційний зв'язок між виробництвом і накопиченням лактату та кількістю кисню, доступного клітинам для їхніх метаболічних процесів. Цей «класичний погляд» на метаболізм лактату привів до виникнення догми про те, що його вироблення пов'язане виключно з гіпоксією, яка пізніше була екстрапольована на фізіологію фізичних вправ та метаболізм м'язів під час фізичних вправ, незважаючи на те, що масштабні дослідження дали результати, які суперечили цьому. Тим не менш, ця точка зору зберігалася протягом більшої частини двадцятого століття і міцно проникла у фізіологію фізичних вправ, де термін «анаеробний поріг» був введений у 1960-х роках Вассерманом та ін. (Wasserman et al., 1964). Вони визначили його як метаболічну точку під час фізичних вправ, коли концентрація лактату в крові починає зростати, а концентрація бікарбонату в крові починає знижуватися [25].

Лише на початку 1980-х років цю концепцію перевірили, і дослідження продемонстрували, що лактат не тільки не є метаболічними відходами та маркером анаеробіозу, але й виробляється в повністю аеробних умовах і має

потенціал універсального клітинного палива (рис. 3.19.). Хоча використання лактату як ефективного тренувального засобу існує вже понад чотири десятиліття, воно набуло популярності лише нещодавно завдяки досягненням братів Інгебрігтсен у бігу, Крістіана Блюменфельта у триатлоні, Тадея Погачара у велоспорті та багатьох інших елітних спортсменів, які продемонстрували, що тренування на основі лактату можуть принести приголомшливі результати [25].



Рис. 3.19. Лактат – від продукту гліколізу до ключового енергетичного та сигнального метаболіту.

З 1980-х років безліч нових досліджень суперечили традиційному розумінню того, що ж насправді являє собою лактат. Запропонована Джорджем Бруксом теорія човникового руху лактату суттєво змінила парадигму розуміння лактату – від продукту життєдіяльності та фактора, що викликає втому, до універсального клітинного палива та ключового метаболічного «гвинтика» (рис.3.20.) [3]. Суть цієї гіпотези полягає в тому, що лактат

виробляється не в складних умовах лише шляхом анаеробного гліколізу, а є основним продуктом під час відпочинку в нормоксичних умовах і тим більше під час фізичних навантажень. Потім цей лактат «транспортується» внутрішньоклітинно, а також до численних органів і тканин, які можуть безпосередньо окислювати його та використовувати для виробництва АТФ, а також у процесі глюконеогенезу, все це залежно від конкретних клітинних потреб. У м'язах, серці, печінці лактат може повторно використовуватись як субстрат для утворення АТФ (через перетворення в піруват і включення в цикл Кребса). У серці лактат – один із найважливіших енергетичних ресурсів під час інтенсивної роботи.

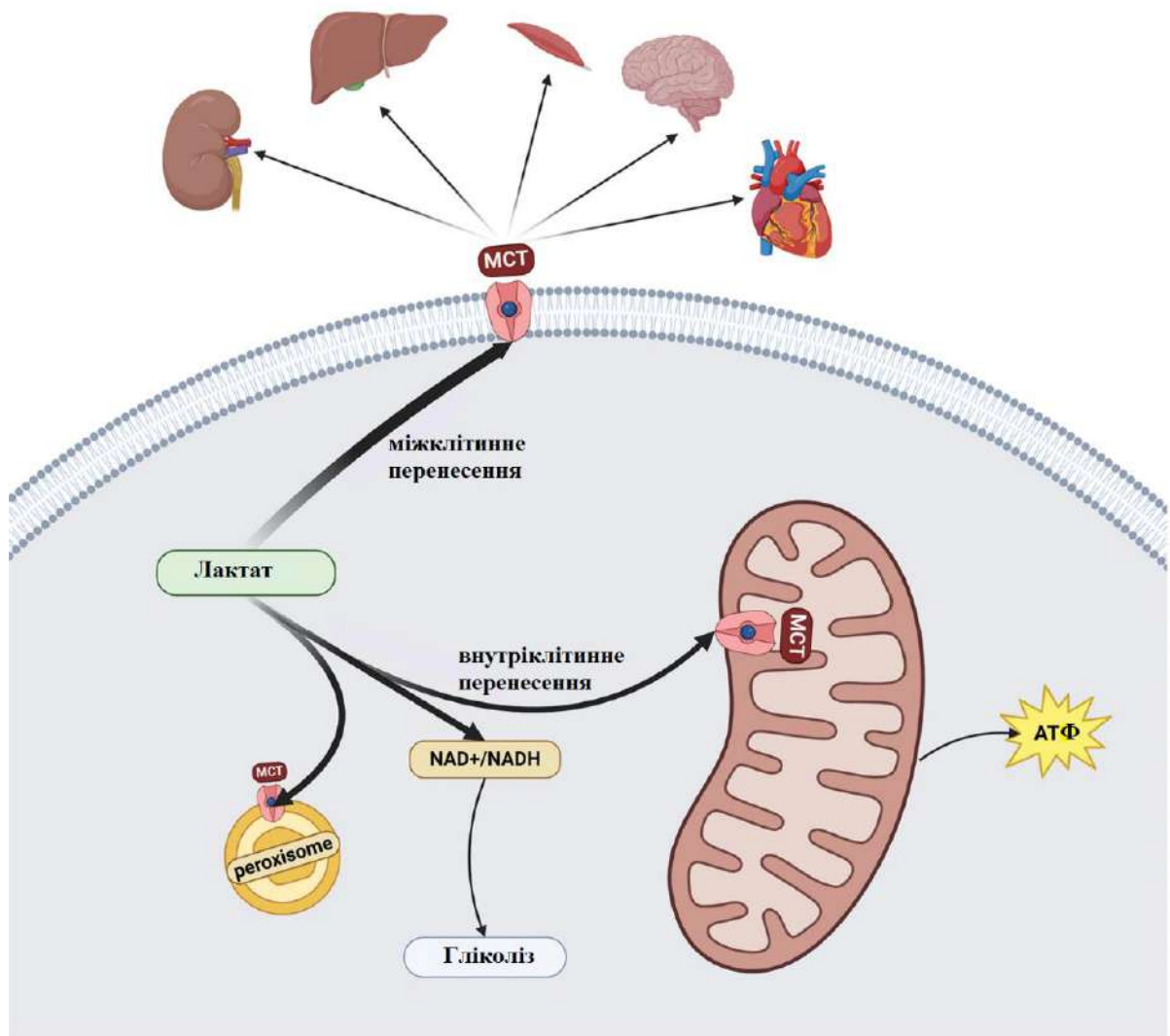


Рис. 3.20. Гіпотеза лактатного човника. МСТ - транспортер монокарбоксилату. Адаптовано за [25].

Цикл Корі (глюкозо-лактатний цикл) — це метаболічний процес, за яким глюкоза в скелетних м'язах перетворюється на лактат (молочну кислоту) внаслідок анаеробного гліколізу. Цей лактат транспортується кров'ю до печінки, де з нього знову синтезується глюкоза (шляхом глюконеогенезу), яка потім повертається до м'язів для поповнення запасів глікогену або для забезпечення енергією. Цей цикл забезпечує перерозподіл вуглеводів в організмі та допомагає підтримувати нормальний рівень глюкози в крові.

Прикладами міжклітинних човників є обмін лактатом між м'язами, які працюють, та серцем, мозком і печінкою, червоними та білими оксидативними м'язовими волокнами, астроцитами та нейронами тощо. З іншого боку, внутрішньоклітинні човники включають обмін між цитозольним лактатом та мітохондріями та пероксисомами. Окрім своєї суто енергетичної ролі, лактат також може служити сигнальною молекулою – було визнано, що лактат, ймовірно, стимулює та зв'язується з безліччю цитозольних мішеней, які регулюють клітинний метаболізм та імунітет. Наступні фізіологічні ефекти цих взаємодій включають мітохондріальний біогенез, контроль ліпідного обміну, контроль імунної системи тощо. Однак ці шляхи можуть бути дезадаптивними при активації в патологічно трансформованих клітинах, таких як рак, де метаболізм лактату має величезне значення для їх виживання та злоякісної поведінки, такої як метастазування [25]. Одним з основних принципів гіпотези міжклітинного лактатного човника є відкриття системи монокарбоксилатних транспортерів (МСТ) – білків, які транспортують лактат між різними клітинами та кров'ю, а також між різними органелами в одній клітині шляхом полегшеної дифузії. Ці МСТ повсюдно зустрічаються в клітинних мембранах і далі поділяються на понад 14 типів, які транспортують не тільки лактат, але й піруват, коротколанцюгові жирні кислоти та монокарбоксилатні препарати.

Лактат діє як сигнальна речовина, яка стимулює утворення нових мітохондрій (мітохондріальна біогенезія). Він активує гени, пов'язані з адаптацією м'язів до тренування (витривалість, ефективність енергетичного

обміну). Сучасне розуміння лактату поширюється від його походження як побічного продукту гліколізу до його ролі в метаболізмі пухлини, що визначається дослідженнями ефекту Варбурга. Гіпотеза човникового руху лактату припускає, що лактат відіграє важливу роль як сигнальна молекула-місток, що координує передачу сигналів між різними клітинами, органами та тканинами. Лактилювання - це посттрансляційна модифікація, про яку вперше повідомила дослідницька група професора Інміна Чжао у 2019 році. Подальші дослідження підтвердили, що лактилювання є життєво важливим компонентом функції лактату та бере участь у проліферації пухлин, нейронному збудженні, запаленні та інших біологічних процесах (рис. 3.21.). Незамінна речовина для різних фізіологічних клітинних функцій, лактат відіграє регуляторну роль у різних аспектах енергетичного метаболізму та передачі сигналів. Доведено, що лактат регулює скорочення м'язів, загоєння ран, формування пам'яті та розвиток пухлин [24].

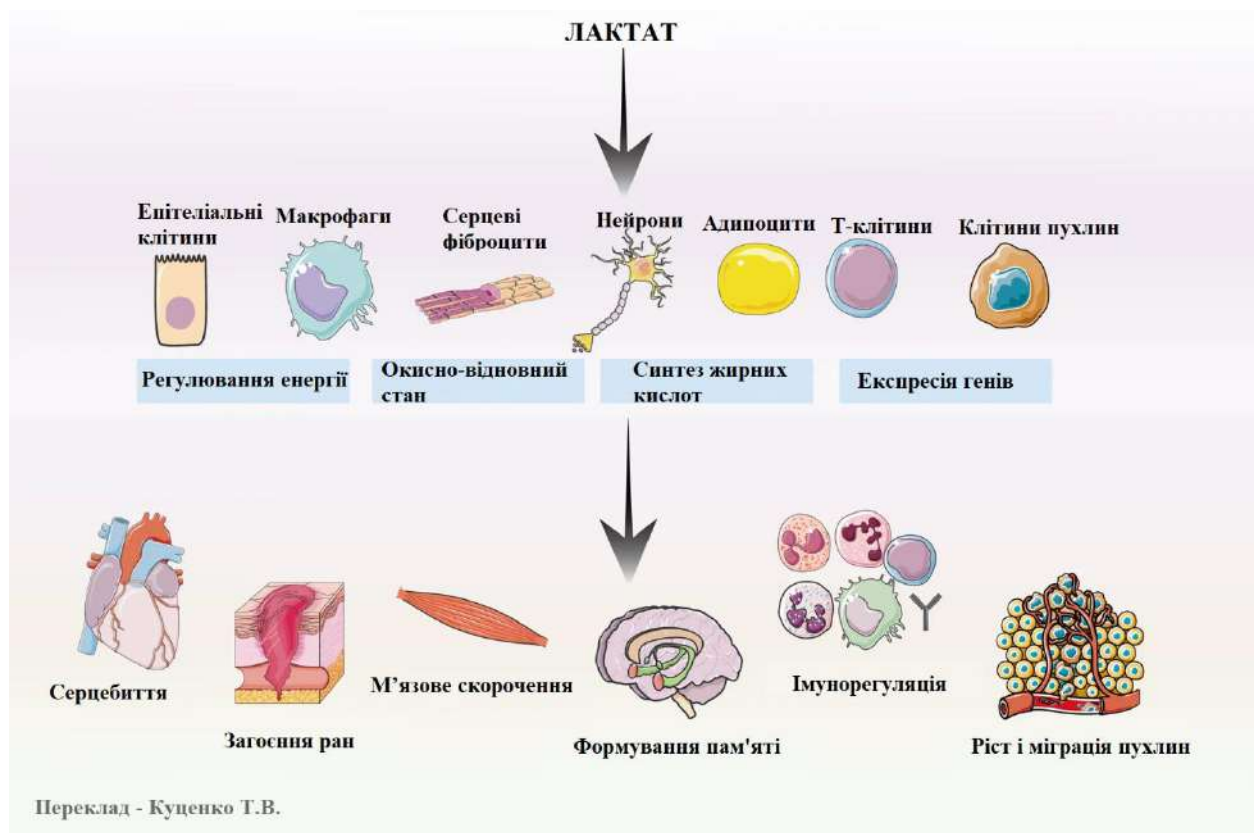


Рис. 3.21. Участь лактату у регуляції клітинних фізіологічних та патологічних процесів. Адаптовано за [24].

Лактат під час фізичних навантажень

Як продукту гліколізу, концентрація лактату неухильно зростає зі збільшенням швидкості окислення вуглеводів під час фізичної активності та може досягати високих значень – приблизно 20 ммоль/л. Ранні дослідження виявили кореляцію між змінами рівня лактату в крові під час фізичних навантажень та інтенсивністю фізичних навантажень або обсягом виконуваної роботи. Хоча цей зв'язок базувався на припущенні про залежність дизоксія-лактат, він добре корелював з іншими фізіологічними детермінантами фізичного навантаження – головним чином газообміном, і це припущення закріпилося в літературі. Ці висновки щодо ролі лактату в м'язах ґрунтувалися на дослідженнях видатних фізіологів, і важливо зазначити, що сучасне розуміння не відкидає, а спирається на ці знання [25]. Гліколіз та посилене окислення вуглеводів є рушійною силою накопичення лактату в крові, тоді як гіпоксія може відігравати другорядну, якщо взагалі відіграє, роль. З іншого боку, навіть під час фізичної активності лактат може виводитися шляхом переміщення та окислення – якість, яка покращується з вищим рівнем аеробної здатності, тому його часто використовують як маркер покращеної витривалості. Це додає до розвінчування «міфу» про роль лактату у втомі, оскільки він швидко виводиться після припинення фізичних навантажень.

Сучасні дослідження визначають виснаження АТФ, кисневу недостатність, порушення кінетики кальцію, накопичення фосфатів та нейронні механізми як основні фактори, що сприяють м'язовій втомі, а не лактат. У процесі анаеробного гліколізу накопичення лактату супроводжується утворенням іонів водню (H^+). Саме ацидоз (закислення середовища), а не сам лактат, знижує скоротливу здатність м'язів. Лактат слугує своєрідним буфером, транспортує H^+ із клітин у кров, що дозволяє підтримувати роботу м'язів довше.

Протягом тривалого часу вважалося фактом, що лактат також відповідає за індукцію м'язового ацидозу, який спостерігається під час фізичних навантажень, але це також було спростовано. Накопичення протонів, яке

спостерігається під час фізичних навантажень, походить не від утворення лактату, а від гідролізу АТФ, який обов'язково утворює вільний водневий протон. Більше того, окисне фосфорилування в мітохондріях діє як «протонний потік», який стає менш ефективним у вилученні протонів, коли інтенсивні фізичні навантаження виконуються вище VO_{2max} , і таким чином все це сприяє прискоренню ацидозу, який спостерігається під час фізичних навантажень, незалежно від лактату [25].

Міокард здатний використовувати різні енергетичні субстрати, що називається «метаболічною гнучкістю». Цей процес забезпечує виробництво АТФ з жирних кислот, глюкози, лактату, амінокислот та кетонів за різних метаболічних умов. У нормальному фізіологічному стані окислення жирних кислот забезпечує приблизно 60% необхідної енергії, а окислення інших субстратів забезпечує решту. Накопичення лактату в ішемічних та гіпоксичних тканинах традиційно розглядалося як побічний продукт, який має малу корисність. Однак останні дані свідчать про те, що лактат може бути важливим паливом для міокарда під час фізичного навантаження або міокардіального стресу. Ця нова парадигма викликає зростаючий інтерес до розуміння його ролі в серцевому метаболізмі як за фізіологічних, так і за патологічних умов. В останні роки лактат у крові розглядається як сигнал стресу при серцевих захворюваннях, що пов'язано з прогнозом у пацієнтів з ішемією міокарда або серцевою недостатністю [5]. Лактат має дві встановлені функції в метаболізмі серця. По-перше, під час аеробного метаболізму лактат є нормальним паливом міокарда, яке за певних умов (наприклад, фізичного навантаження) може становити основну частину споживання кисню міокардом. Постачання лактату, ймовірно, залежить від конкуренції з іншими видами палива міокарда, особливо з вільними жирними кислотами. По-друге, під час анаеробного метаболізму утворення лактату розглядається як частина ефекту Пастера, за якого анаеробіоз прискорює поглинання глюкози та гліколіз, а піруват, замість того, щоб вступати в цитратний цикл, утворює лактат.

Поріг лактату

На початку 20-го століття фізіологи почали використовувати лактат як міру інтенсивності та порівнювати його з роботою, виконаною під час тесту з градуйованим фізичним навантаженням, таким чином побудувавши концепцію кривої лактату крові. Першим «порогом» будь-якого роду, який було запроваджено, був анаеробний поріг, введений Вассерманом та Макілроєм у 1964 році [25]. Вони визначили його як «метаболічну точку, коли концентрація бікарбонату в крові знижується, а концентрація лактату зростає». Хоча на той час це було обґрунтованим припущенням, дослідники фактично не вимірювали рівень лактату в крові під час тесту з фізичним навантаженням – натомість вони вимірювали швидкість газообміну, теоретичною основою якого було те, що збільшення V_{CO_2} та дихального коефіцієнта вище 1 означає початок анаеробного метаболізму, який на той час безпосередньо вважався пов'язаним зі збільшенням лактату в крові. Концепція порогу лактату (ПЛ) набула поширення з впровадженням ферментативних методів вимірювання лактату з цільної крові, що полегшило оцінку концентрації лактату під час лабораторних тестів з фізичним навантаженням. Винахід методів вимірювання за допомогою тест-смужок у 1990-х роках зробив його ще доступнішим та простішим у впровадженні, а отже, більш популярним серед спортсменів. Це прискорило дослідження ПЛ з використанням прямих вимірювань лактату в крові, але з часом призвело до очевидної проблеми – відсутність стандартизації та консенсусу щодо термінології призвело до появи різних концепцій порогу, які мали на меті описувати одну й ту саму фізіологічну подію, але все ж таки достатньо відрізнялися. У літературі було виявлено до 25 різних концепцій ПЛ. Загалом, у літературі узгоджено та визначено два основні пороги, що означають дві фізіологічні події – перший ПЛ, який позначає підвищення рівня лактату в крові вище рівня спокою, та другий ПЛ, який позначає нелінійне експоненціальне збільшення концентрації лактату, яке вважається точкою, де прискорюється м'язовий метаболічний ацидоз. Однак дебати все ще точаться

навколо природи та точного значення порогів лактату, більше для другого ПЛ, ніж для першого.

Деякі концепції, однак, виділяються з-поміж інших як більш популярні або точніші для визначення другого ПЛ – максимальний стійкий стан лактату (МССЛ), початок накопичення лактату в крові (ПНЛК), ПЛ 4 ммоль/л, D_{max} та модифіковані методи D_{max} (рис. 3.22.).

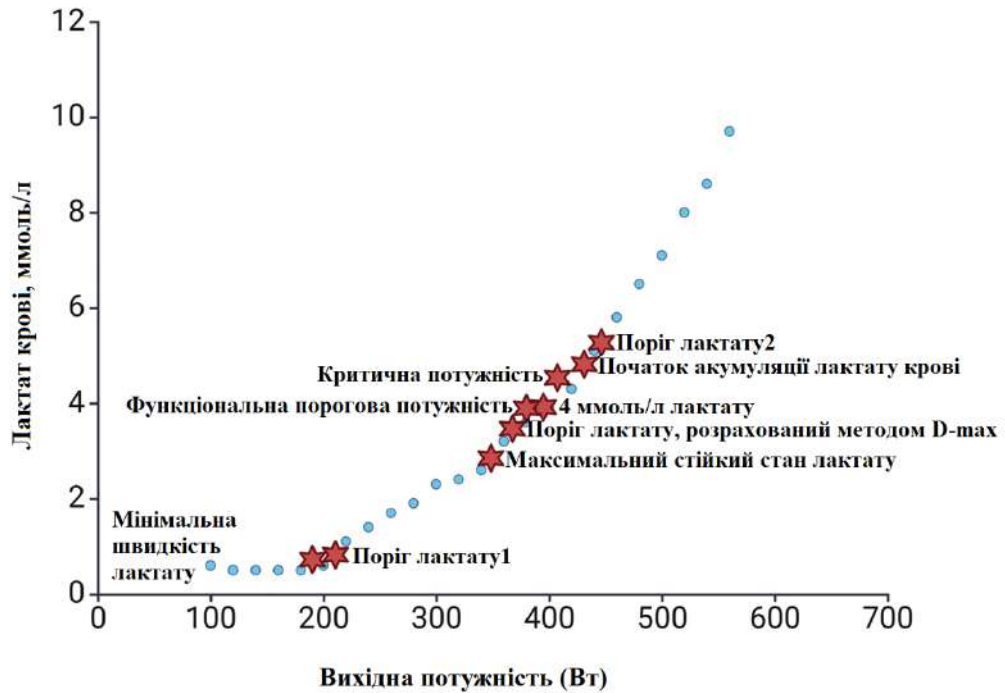
МССЛ визначається як найвища інтенсивність фізичних вправ, за якої концентрація лактату в артеріальній крові залишається стабільною, хоча й підвищеною порівняно з рівнем спокою. Протокол для визначення цього показника складається з кількох періодів фізичних вправ тривалістю ~30 хвилин. Хоча цей метод є точним у вимірюванні аеробно-анаеробного переходу навколо ПЛ₂, він не часто використовується в повсякденній практиці, оскільки вимагає багато часу та енергії.

ПНЛК визначається досить розпливчасто як початкова точка експоненціального збільшення концентрації лактату в крові під час градуйованих фізичних навантажень, і його знову ввели для позначення цього метаболічного зсуву. Було вирішено показати цей зсув за допомогою конкретного значення, тому розробили **ПЛ 4 ммоль/л**, який базується на потужності, при якій у крові досягається 4 ммоль/л лактату, для визначення другого ПЛ, і саме це було усталеним давнім переконанням серед вчених, що займаються фізичними вправами, де знаходиться ПЛ₂.

D_{max} та модифікований D_{max} – це математичні методи для розрахунку другого ПЛ шляхом визначення точки на кривій поліноміального лактату третього порядку, яка лежить на найдовшій перпендикулярній відстані від лінії, проведеної між найвищим та найнижчим виміряними значеннями лактату на цій кривій.

Усі ці методи визначення ПЛ₂ є дійсними, але модифікований D_{max} забезпечує найменшу дисперсію між послідовними розрахунками, а також найточніше прогнозує продуктивність, коли його використовують для

розподілу інтенсивності по зонах, які потім використовуються для призначення вправ [25].



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.22. Поняття порогу лактату. Адаптовано за [25].

Визначення порогу лактату методом газоаналізу

Відношення об'єму повітря, яке вентилюється ($V'E$), до кількості спожитого кисню ($V'O_2$) ілюструє економічність дихання. Таке співвідношення називається вентиляційним еквівалентом за киснем $EqO_2 = V'E/V'O_2$. Відношення об'єму повітря, яке вентилюється ($V'E$), до кількості виділеного CO_2 ($V'CO_2$) називається вентиляційним еквівалентом за CO_2 - $EqCO_2 = V'E/V'CO_2$. Під час фізичного навантаження в організмі зростає кількість CO_2 , внаслідок чого подразнюються центральні хеморецептори і стимулюється робота дихального центру та зростає вентиляція. Отже, зростання вентиляції відбувається пропорційно до потреб організму у виведенні CO_2 , і вентиляційний еквівалент не змінюється або незначно знижується під час зростання фізичного навантаження (рис. 3.23.). Із зростанням вентиляції споживання кисню до певного рівня навантаження

зростає також, внаслідок чого вентиляційний еквівалент за киснем теж залишається незмінним. Але киснева ємність крові, так само як і здатність м'язів до споживання кисню, є обмеженими, тому за умов продовження роботи і зростання вентиляції кисню через легені проходить більше, ніж організм може засвоїти, тобто посилення вентиляції, спрямоване на виведення CO_2 , непропорційно велике по відношенню до потреб організму в O_2 . Це веде до зростання вентиляційного еквіваленту за киснем. Момент початку зростання EqO_2 називається моментом зниження ефективності вентиляції (вентиляція неефективно велика щодо кисню), що відповідає накопиченню лактату в крові, або анаеробному порозу. Досягнення цього стану веде до стрімкого зниження працездатності, зростання дихального коефіцієнту і відмови від роботи. Чим довше після досягнення порогу лактату людина може пропрацювати, тим вищі її функціональні можливості [1].

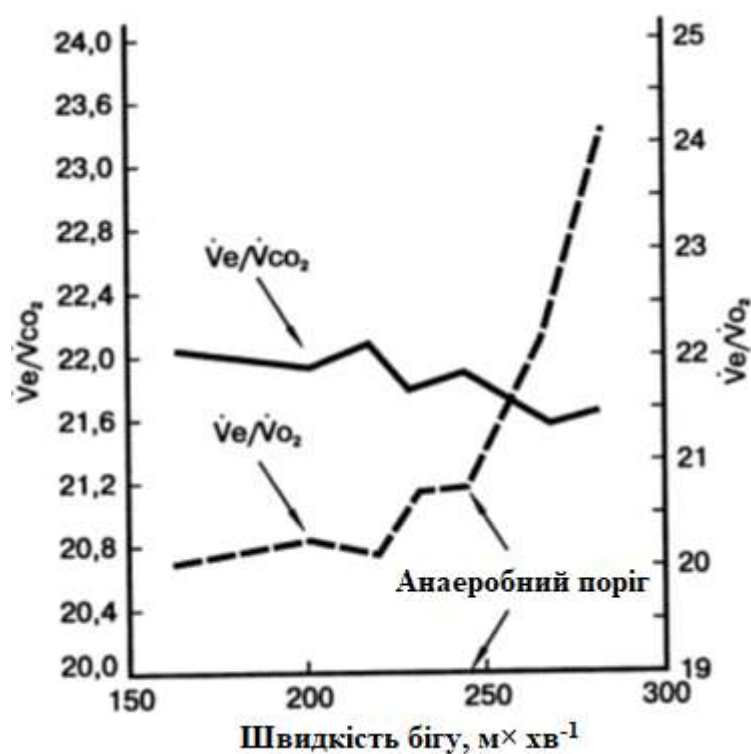


Рис. 3.23. Зміни вентиляційних еквівалентів за вуглекислим газом ($\dot{V}'E/\dot{V}'\text{CO}_2$) та киснем ($\dot{V}'E/\dot{V}'\text{O}_2$) під час підвищення інтенсивності бігу. $\dot{V}'E$ – об'єму повітря, яке вентилюється, $\dot{V}'\text{O}_2$ – об'єм спожитого O_2 , $\dot{V}'\text{CO}_2$ – об'єм виділеного CO_2 . Адаптовано за [22].

На рис. 3.24. представлені реальні результати виконання спортсменом навантаження на тредмілі до відмови від роботи за такою схемою [1]:

- а) в стані спокою – 3 хв.
- б) під час виконання розминки – 3 хв.
- в) під час виконання стандартної роботи – 10 хв., 2 Вт/кг ваги тіла
- г) «сходінка» - починаючи з навантаження 2 Вт/кг ваги тіла , навантаження через кожні 2 хв. роботи зростає на 0.5 Вт/кг ваги тіла аж до відмови обстежуваного від роботи
- д) відновлення -3 хв.

Показники реєструвались через 10-секундні інтервали.

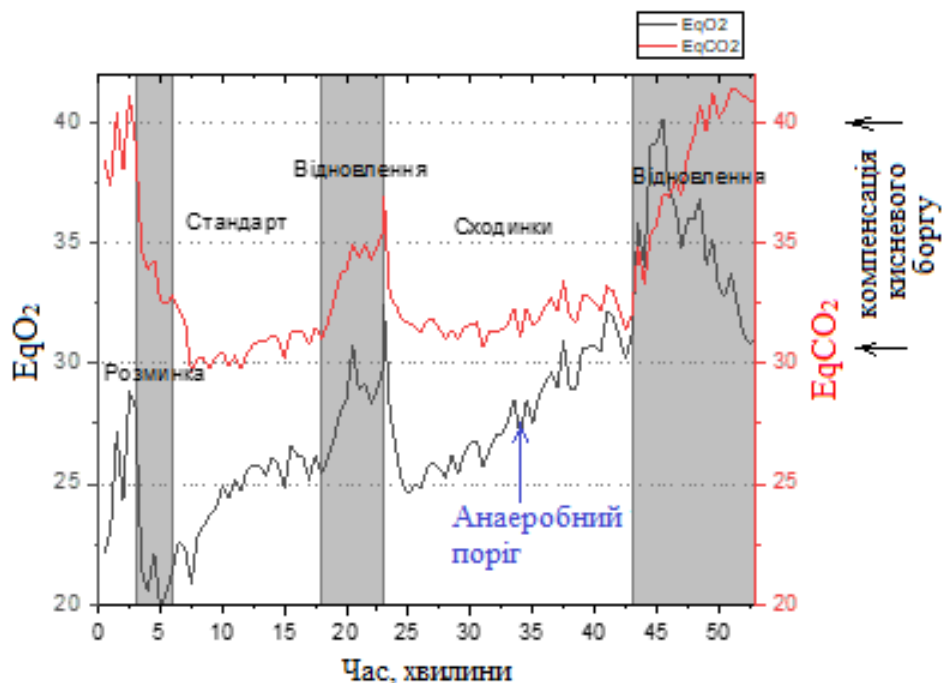


Рис. 3.24. Зміни вентиляційного еквіваленту за вуглекислим газом ($EqCO_2$) та киснем (EqO_2) під час виконання обстежуваним навантажень на тредмілі. Пояснення в тексті.

Можна бачити, що приблизно з 34-ї хвилини роботи EqO_2 починає стрімко наростати, що вказує на неефективність вентиляції по відношенню до споживання кисню (див. рис. 3.24.). Цей момент є точкою досягнення анаеробного порогу, або порогу лактату. В період відновленні відбувається компенсація кисневого боргу – надлишкове споживання кисню, яке має компенсувати затрати АТФ-КФ системи на початку роботи, коли ця система

миттєво включалась в роботу з перших секунд навантаження, до того, як окислювальна система розгорнулася для забезпечення основних енергетичних витрат. EqCO_2 у відновний період зростає, що вказує на надлишковість вентиляції по відношенню до цього газу, але адекватність по відношенню до O_2 .

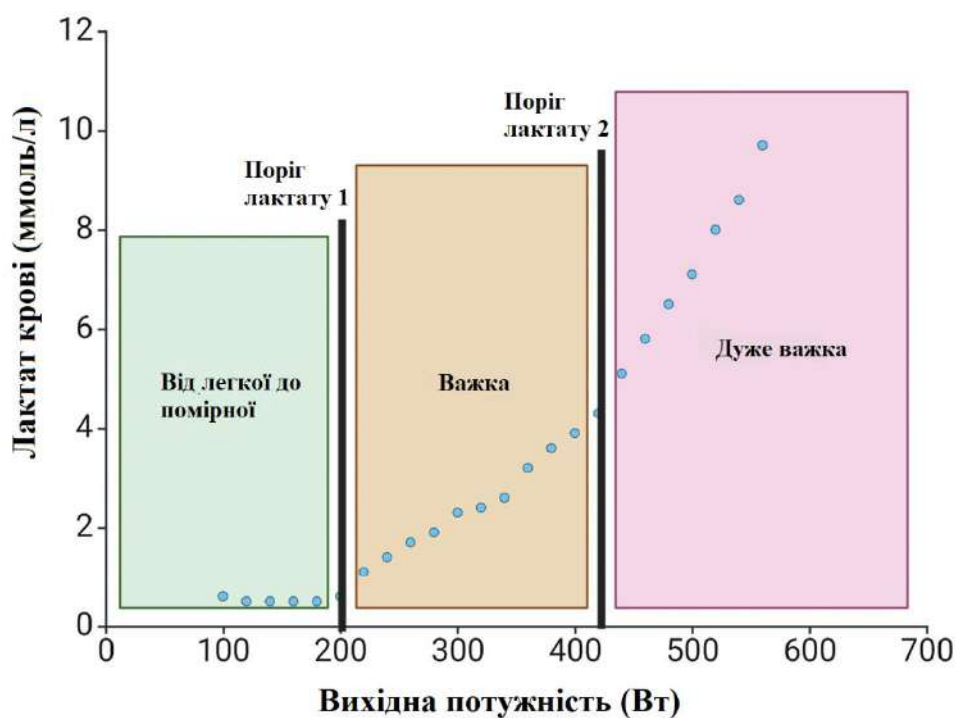
3.6. Застосування теорії на практиці. Зональні моделі розподілу інтенсивності тренувань

Оскільки запропонований «анаеробний» поріг корелює лише з незначним збільшенням лактату до 2 ммоль/л і насправді є темпом роботи, який можна підтримувати протягом тривалого часу, отже, він зовсім не анаеробний. Саме тому було запропоновано нову систему з двох порогів, подібних до порогів лактату, про які йшлося вище – *аеробного та анаеробного порогів*, а також започатковано напрямок думки щодо використання цієї системи для призначення фізичних вправ різної інтенсивності, що може загалом покращити спортивні результати. На цій основі інші дослідження в цій галузі, проведені в 1970-х роках, розвинули цю ідею в трифазну модель розподілу інтенсивності в градуйованих вправах, детально описуючи зміни в метаболізмі, м'язах, фізіології серцево-судинної та дихальної систем. Хоча номенклатура навколо порогів є досить нечіткою через відсутність стандартизації, але концепція трифазної моделі була перевірена часом і показала свою достатню точність для практичного використання та призначення вправ [25].

Важливим досягненням у науці про фізичні вправи та, загалом, у спорті стало впровадження періодизації тренувань на початку 20-го століття, яка до 1960-х років була добре розвинена. Цей метод тренувань добре поєднувався з ідеєю розподілу інтенсивності в 1980-х роках, і з цього виникли зональні моделі розподілу інтенсивності. Хоча ця концепція була прийнята раніше деякими тренерами з бігу, вона базувалася не на фізіологічних показниках, а

на темпі, швидкості або сприйнятому напруженні. Зональний розподіл точно відповідає моделі – три зони, де переходи позначені двома порогами, незалежно від того, чи використовується для їх визначення лактат чи газообмін (рис. 3.25.). Хоча існують моделі з кількістю зон до семи, тризонна модель найбільш надійно базується на виявлених фізіологічних явищах. Перша зона нижче першого порогу стосується легкої або помірної інтенсивності фізичних вправ, друга зона між двома порогами означає область високої інтенсивності, а третя зона вище другого порогу називається областю надвисокої інтенсивності. Зональний розподіл інтенсивності індивідуальний для кожного спортсмена та отримується під час градуйованого тесту з фізичним навантаженням, де, крім лактату, також вимірюються інші фізіологічні показники, такі як ЧСС, ЧД, VO_{2max} та вихідна потужність. Ці моделі розподілу інтенсивності стали дуже важливими в тренуваннях елітних спортсменів, особливо коли йдеться про види спорту на витривалість. Практично всі професійні спортсмени тренуються за певною моделлю, і три з них виділяються та найчастіше використовуються: пірамідальна, поляризована та порогова. Назви моделей позначають кількість тренувальних сесій, що виконуються на трьох рівнях інтенсивності. Пірамідальна модель включає великий відсоток тренувань, призначених для зони 1, менший - для зони 2, і найменший - для зони 3. Навпаки, поляризована модель передбачає тренування переважно між зонами 1 і 3 у співвідношенні 80:20 і жодного - для зони 2. Використання цих двох моделей стало більш популярним з 1990-х та 2000-х років, але новіша версія, що відповідає пороговій моделі, з'явилася за останні 15 років. Вона полягає у більшій кількості тренувань, присвячених зоні 2 між двома ПЛ, з тренувальними сесіями, що називаються «пороговими», які відомі необхідністю ретельного тестування лактату на полі. Цей метод став популярним головним чином завдяки досягненням братів Інгебрігтсен – чемпіонів Європи, світу та Олімпійських ігор з бігу на середні та довгі дистанції; однак, він рідко застосовується в цілому, навіть ними, оскільки несе велике тренувальне навантаження та ризик травм. Натомість, деякі елементи

тренувань та сесії включені в пірамідальну модель, такі як сесії «подвійного порогу» та активне тестування лактату під час цих конкретних сесій [25].



Переклад - Куценко Т.В.

Рис. 3.25. Области розподілу інтенсивності тренувань. Адаптовано за [25].

У науковій літературі немає однозначних висновків щодо найефективнішої моделі, якщо розглядати результати продуктивності. Існують суперечливі докази, що підтверджують використання поляризованої моделі, а також пірамідальної моделі, тоді як порогова модель, як згадувалося, використовується рідко, тому прямих доказів бракує. Тим не менш, наведені вище приклади спортсменів свідчать на користь використання ключової якості порогового підходу – інтервального тренування з лактатним керуванням як нової технології у видах спорту на витривалість.

Вимірювання лактату використовується як компонент оцінки максимальної анаеробної потужності, що є важливою якістю в видах спорту, де необхідний тривалий спринт. Конкретний показник, про який йде мова, називається максимальною швидкістю накопичення лактату або VLa_{max} , і він дає інформацію про здатність м'язів використовувати анаеробний гліколіз як

джерело ресинтезу АТФ. Він розраховується в спринтерському тесті, де максимальне навантаження виконується протягом короткого періоду часу, зазвичай від 10 до 30 секунд. Такий тест теоретично максимально стимулює здатність м'язових волокон використовувати гліколіз. Лактат, як основний продукт цього процесу, вимірюється до та після тесту, а отримані значення використовуються для розрахунку VLa_{max} . Було висловлено припущення, що високе значення VLa_{max} прогнозує кращі результати у спринті та бігу на короткі дистанції [25].

Усвідомлення ролі лактату в метаболізмі та фізичних вправах кардинально змінилася за останні роки. Це відкрило шлях для того, щоб його розглядали як цінний інструмент у арсеналі фахівців з фізичної науки та спортсменів, і зараз він широко використовується для тестування фізичних навантажень, призначення рецептів та оцінки продуктивності. Він також має нову цінність як маркер кількісної оцінки інтенсивності на полі, що є основою тренувань з використанням лактату [25].

3.7. Аеробна тренувальна зона

Аеробна тренувальна зона, також відома як Зона 2 або Зона 3 залежно від конкретної моделі – це діапазон частоти серцевих скорочень, у якому організм в основному покладається на кисень для вироблення енергії. Ця зона зазвичай знаходиться між 60% і 80% від максимальної ЧСС. Це рівень інтенсивності, за якого можна тренуватися протягом тривалішого часу, розвиваючи витривалість і спалюючи жир, і водночас маючи змогу вести розмову. У цій зоні ваш організм переважно використовує кисень для перетворення жирів і вуглеводів на енергію. Ви можете підтримувати фізичні навантаження в аеробній зоні довше порівняно із зонами вищої інтенсивності. Аеробні тренування в цій зоні допомагають покращити серцево-судинну систему, витривалість і можуть бути ефективними для спалювання жиру.

Для призначення тренувань можна використовувати 5 аеробних зон, які найкраще навантажуватимуть серцево-судинну та м'язову системи до бажаного ступеня (рис. 3.26.) [10]. Нижче наведено короткий опис усіх 5 аеробних тренувальних зон та їх основне призначення:

Зона 5 - VO_2 Max. Інтервальні зусилля (зазвичай 1-3 хв), що вимагають відпочинку або повільного активного відновлення. Це темп, у якому організм спалює весь доступний кисень для підживлення аеробної системи. Важливо пам'ятати, що бігуни можуть бігати швидше за цей темп, але якщо вони це роблять, то це завдяки анаеробному внеску – отже, трохи вище анаеробного порогу. У крові та м'язах, які працюють, створюється кисле середовище через накопичення іонів водню, що робить темп стійким лише протягом коротких періодів часу. Втома викликається серцево-судинною системою та анаеробними джерелами через нестійкий запит на O_2 .

Зона 4 - Поріг. Темп, що відповідає анаеробному порогу. Довші зусилля (зазвичай >5 хв зі стабільним відновленням після плавання) або безперервний біг загалом менше 30 хв. Це темп, коли організм використовує майже весь доступний O_2 для живлення аеробної системи, тобто є O_2 , доступний для буферизації кислот H^+ , які виробляються в м'язах, що працюють, анаеробною системою. Таким чином, H^+ буде присутній у крові та м'язах, що працюють, але, що важливо, він не накопичується. Цю зону часто називають «червоною лінією», оскільки будь-яке збільшення темпу вище порогу призведе до накопичення H^+ , і тому темп може стати нестійким протягом запланованого періоду часу тренування. Втома виникає у серцево-судинній системі через високий попит на O_2 .

Зона 3 - Темп. Це темп, який знаходиться між анаеробним та аеробним порогом (див. зону 2). Тривалі зусилля (зазвичай >8 хв) або безперервний біг загалом від 30 до 60 хв. Організм виробляє кислот H^+ , але через помірний попит аеробної системи на O_2 він може легко буферизуватися і тому не накопичуватися в крові або м'язах, що працюють. Темповий біг – це точка

з'єднання, де втoма виникатиме як з серцево-судинних (помірний попит на O₂), так і з м'язових (від тривалості бігу) джерел.



Рис. 3.26. П'ять аеробних зон, які найкраще навантажуватимуть серцево-судинну та м'язову системи до бажаного ступеня. Адаптовано за [10].

Зона 2 - Постійний темп. Темп, що відповідає аеробному порoгу. У постійному темпі організм тільки починає виробляти Н⁺, але вони майже миттєво буферизуються через низький попит аеробної системи на O₂. Рекомендується, щоб це був найшвидший темп для будь-якого безперервного пробігу (наприклад, легких або тривалих пробіжок). Якщо не перевищувати аеробний поріг, втoма буде м'язовою (або внаслідок голоду, якщо пробігти достатньо довго).

Зона 1 - Легка. Темп, що знаходиться нижче аеробного порoгу. Це має бути найповільніший темп, у якому можна бігати для будь-якого безперервного пробігу (наприклад, легкі пробіжки, пробіжки для відновлення плюс розминка та заминка). Оскільки людина знаходиться нижче свого аеробного порoгу,

вдома від роботи м'язів та голоду виникне лише тоді, коли пробігти достатньо довго. Якщо людина не може підтримувати свій легкий темп бігу, то це ознака того, що їй слід відпочити, щоб відновитися після стресу, який вона відчуває.

Індивідуальна аеробна зона серцевого ритму

Індивідуальна аеробна зона серцевого ритму – це частота серцевих скорочень від 70% до 80% від максимальної частоти серцевих скорочень (табл. 3.11.). Вправи в цій зоні є стійкими протягом тривалого часу, щонайменше 40 хвилин [19].

Табл. 3.11.

Розподіл на зони в залежності від рівня максимальної ЧСС під час фізичного напруження. Адаптовано за [19].

ЗОНА	% ВІД МАКСИМАЛЬНОЇ ЧСС	РІВЕНЬ НАПРУЖЕННЯ	МЕТА ТРЕНУВАННЯ
5	90–100%	Максимальний	Для тренуваних атлетів на дуже короткий час, розвиток швидких м'язових волокон для підвищення швидкості спринту
4	80–90%	Великий	Підвищення анаеробного порогу та максимальної працездатності для коротких зусиль
3	70–80%	Помірний	Поліпшення аеробної витривалості та м'язової сили
2	60–70%	Легкий	Формування базової витривалості, спалювання жиру, підтримка тривалих тренувань
1	50–60%	Дуже легкий	Розминка, заминка та активне відновлення
0	<50%	Відпочинок	Без суттєвого навантаження на організм

Переклад - Куценко Т.В.

Помірні аеробні активності включають швидку ходьбу, плавання та скошування газону (газонокосаркою). Рекомендовано щонайменше 150 хвилин на тиждень помірної активності або 75 хвилин на тиждень інтенсивної

аеробної активності. Збільшення тривалості помірної аеробної активності до 300 хвилин (п'яти годин) або більше, або 150 хвилин (2,5 години) інтенсивної аеробної активності має додаткові переваги для здоров'я більшості людей.

Аеробний пульс базується на максимальному пульсі для віку, статі та фізичної підготовки. Загальноприйнята формула для розрахунку максимального пульсу полягає у відніманні віку від 220. За цим методом максимальний пульс для 40-річної людини становить 180 ударів на хвилину (уд/хв). Однак це рівняння не враховує конкретні змінні, такі як стать, генетика, фізична підготовка тощо. Індивідуальна максимальна ЧСС та аеробна зона ЧСС знижуються з віком. Інші формули, які містять більше деталей (і більше математичних розрахунків), включають формулу Танаки (Tanaka) ($208 - 1,7 \times \text{вік}$) та формулу Гулаті (Gulati) ($206 - 0,88 \times \text{вік}$, лише для жінок), але ці формули також дають широкі узагальнення та не враховують перелічені вище змінні. Можна скористатися калькулятором зон частоти серцевих скорочень або діаграмами, подібними до тієї, що наведена тут, щоб знайти результати на основі особистих характеристик (табл. 3.12.). Інші фактори, які можуть впливати на частоту серцевих скорочень, включають:

Гідратацію

Температуру тіла

Емоції

Фізичну активність та навантаження

Сон

Ліки

Менструальний цикл

Температуру навколишнього середовища та погоду

Висоту над рівнем моря

Табл. 3.12.

Максимальна ЧСС під час фізичного навантаження в залежності від віку.
Адаптовано за [19].

ВІК	ПЕРЕДБАЧУВАНА МАКСИМАЛЬНА ЧСС	ЦІЛЬОВА АЕРОБНА ЧСС
20	200	140-160
25	195	137-156
30	190	133-152
35	185	130-148
40	180	126-144
45	175	123-140
50	170	119-136
55	165	116-132
60	160	112-128
65	155	109-124

Переклад - Купенко Т.В.

Анаеробні зони серцевого ритму

Анаеробні вправи передбачають короткі, інтенсивні сплески рухів та спалюють лише вуглеводи для отримання енергії. Хоча організм може споживати достатньо кисню для підтримки рівня активності під час аеробних вправ, анаеробні вправи змушують м'язи потребувати більше енергії, ніж кисень може забезпечити. Це означає, що м'язи починають розщеплювати глюкозу для вироблення молочної кислоти. *Цільова частота серцевих скорочень для анаеробних вправ становить від 80% до 90% від максимальної ЧСС.* Ці вправи зазвичай спрямовані на певні групи м'язів, такі як біцепси, трицепси, квадрицепси тощо. Ця зона серцевого ритму корисна в видах спорту, що не потребують витривалості, та в діяльності, що вимагає

потужності, таких як важка атлетика, спринт та інтервальний біг, а також високоінтенсивні інтервальні тренування. Програма тренувань або план тренувань, що включає аеробні та анаеробні компоненти, може допомогти наростити м'язову масу та спалювати жир швидше, ніж лише одне чи інше.

Визначення своєї аеробної зони:

1. Оцініть максимальну частоту серцевих скорочень (ЧСС_{макс}):

Проста оцінка полягає в тому, щоб відняти свій вік від 220.

2. Обчисліть межі зони:

Помножте свою оцінену ЧСС_{макс} на 0,6 (для нижньої межі зони) та 0,8 (для верхньої межі).

3. Використовуйте монітор серцевого ритму:

Такі пристрої, як смарт-годинники або фітнес-трекери, можуть допомогти контролювати ЧСС під час фізичних вправ.

Приклад:

Для 30-річної людини оцінена ЧСС_{макс} становитиме 190 уд/хв (220 - 30). Аеробна зона буде приблизно між 114 уд/хв (190 x 0,6) та 152 уд/хв (190 x 0,8).

Тренування в аеробній зоні:

Базове тренування:

Зона 2 (60-70% ЧСС_{макс}) часто називається базовим тренуванням, ідеальним для створення міцної основи аеробної фізичної форми.

Тренування на витривалість:

Зона 3 (70-80% мінімальної ЧСС) добре підходить для тренувань на витривалість, розширюючи межі, залишаючись при цьому залежним від кисню.

Довший період:

Можна займатися такими видами діяльності, як біг підтюпцем, їзда на велосипеді, плавання або швидка ходьба в цій зоні протягом тривалого часу.

«Переривчастий фітнес тест 30–15» (30–15 Intermittent Fitness Test (IFT)) набув популярності в останні роки як у дослідженнях, так і в спортивній практиці. Тест вимагає короткого часу для виконання (близько 20–30 хвилин) і

дозволяє тестувати великі групи спортсменів одночасно. Протокол тесту включає 30-секундні човникові пробіжки (між двома лініями, розташованими на відстані 40 м одна від одної), які чергуються з 15 секундами пасивного відновлення, що ініціюється та завершується звуковими сигналами. Початкова швидкість для цього тесту становить 8 км/год і збільшується на 0,5 км/год на кожному наступному 30-секундному етапі. Тест завершується, коли людина навмисно зупиняється через накопичену втому або коли їй не вдається досягти наступної 3-метрової зони (біля позначеної лінії) за звуковим сигналом 3 рази поспіль. Цей тест надійний для оцінки кардіореспіраторної підготовки як за показниками досягнення максимальної швидкості, так і пікової частоти серцевих скорочень [7].

Семи зональна модель розподілу інтенсивності тренувань на прикладі велосипедного спорту

У стані спокою нормальний рівень лактату в крові зазвичай коливається від 0,5 до 2,0 ммоль/л. Цей рівень може дещо коливатися залежно від таких факторів, як вік, рівень фізичної підготовки та індивідуальні особливості. Лактат постійно виробляється в організмі, навіть у стані спокою, але зазвичай виводиться зі швидкістю, яка підтримує низьку концентрацію в крові. Під час інтенсивного або максимального навантаження, такого як спринт, рівень лактату в крові може різко зрости, потенційно досягаючи 15-25 ммоль/л.

Під час помірних фізичних навантажень вироблення лактату збільшується, але організм все ще може ефективно його виводити, підтримуючи рівень лактату в крові відносно стабільним. Однак, зі збільшенням інтенсивності фізичних навантажень досягається точка, коли вироблення лактату перевищує його видалення. Ця точка відома як поріг лактату (ПЛ) або початок накопичення лактату в крові (ПНЛК).

Функціональна порогова потужність (ФПП) – це максимальна стійка аеробна потужність, яку людина може утримувати протягом тривалого періоду. Це не «середня» потужність. І для точності це має бути потужність у сталому

стані, отримана на «рівній» трасі. Головна мета в гонці на 40 км — підтримувати свою ФПП, максимальну потужність, яку можна утримувати протягом приблизно години, але трохи менше на довшій трасі, щоб уникнути «вибуху». Елітні чоловіки-гонщики можуть розвивати середню швидкість значно понад 47 км/год (29 миль/год), тоді як елітні жінки-гонщиці також досягали швидкості 40 км/год (25 миль/год) або вище.

Сім зон розподілу інтенсивності тренувань визначаються як [17]:

▼ 1 Активне Відновлення ~ > 55% ФПП

▼ 2 Темп на Витривалість ~ > 75% ФПП

▼ 3 Темп ~ > 90% ФПП

▼ 4 Розвиток лактату ~ > 105% ФПП

▼ 5 Розвиток $VO_2\max$ ~ > 120% ФПП

▼ 6 Анаеробна Здатність ~ > 150% ФПП

▼ 7 Нейром'язова ~ 150% ФПП +

1 ~ Активне відновлення – це найменш інтенсивна форма фізичних вправ, яку ми виконуємо, хоча це не фізичні вправи як такі, оскільки тренувального ефекту не повинно бути. Активне відновлення, як впливає з назви, використовується для пришвидшення процесу відновлення та дозволяє тренування проводитися пізніше.

2 ~ Темп на витривалість – типовий стабільний темп бігу, відчуття зусиль/втоми зазвичай низьке. Потрібна низька концентрація, регулярне дихання, розмова можлива. Так можна визначити, що це темп на витривалість!

3 ~ Темп «ланцюгової естафети» протягом усього часу та поза ним, помітне зусилля/відчуття втоми. Для підтримки зусиль потрібна концентрація, дихання ритмічне, розмова утруднена. Хоча більшість ланцюгових естафет є інтенсивними, слід працювати в цьому темпі, щоб отримати від нього максимальну перевагу.

4 ~ Розвиток лактату. У темпі, що відповідає темпу гоночного заїзду на 40 км (25 миль), відчуття зусиль/втоми комфортно важке. Висока концентрація, глибоке ритмічне дихання, розмова майже неможлива..

5 ~ Розвиток VO_2max . Зусилля стійке протягом 3-7 хвилин, сильне відчуття зусилля/втоми, майже некомфортне. Дуже висока концентрація, дихання на межі, розмова неможлива.

6 ~ Анаеробна ємність. Короткі зусилля від 30 секунд до 3 хвилин, відчуття сильного зусилля. Надзвичайна концентрація, високі поверхневі дихальні патерни, мислення неможливе.

7 ~ Нейром'язова. Дуже коротка, дуже висока інтенсивність, відчуття зусилля надзвичайне, але короточасне. Слаба концентрація, не усвідомлення дихання, біль, коли зупиняєшся! Зір стає утрудненим.

Надзвичайно важливо пам'ятати, що назви зон стосуються фізіологічної адаптації до тренувань, яка виникне в результаті їзди в цій зоні. Зона 5, VO_2max , не використовується для їзди на рівні VO_2max , оскільки максимальне споживання кисню знаходиться в кінці зони 6, де знаходиться максимальна аеробна потужність.

Ці зони можна порівняти з частотою серцевих скорочень, якщо віддавати перевагу цьому методу їх відстеження.

Виробництво енергії для їзди на велосипеді завжди є комбінацією аеробної (з киснем) та анаеробної (без кисню) енергії. Пам'ятаємо, що аеробна, як правило (але не виключно), живиться жиром, а анаеробна, як правило (але не виключно), живиться глікогеном. Зона 1 не є повністю аеробною, а зона 7 не є повністю анаеробною. Усі зони є комбінацією систем виробництва енергії.

Окислювальний стрес, викликаний фізичними вправами

Активні форми та вільні радикали – це нестабільні молекули, які окислюють інші молекули, щоб стати стабільними. Хоча вони відіграють важливу роль у нашому організмі, вони також можуть призвести до оксидативного стресу, що порушує різноманітні клітинні функції. Під час фізичних вправ активні форми можуть утворюватися переважно, але не виключно, за допомогою таких механізмів: витік електронів у мітохондріальному ланцюзі електрон-транспорту, ішемія/реперфузія та

активація ендотеліальної ксантинооксидази, запальна реакція та аутоокислення катехоламінів. За базальних умов скелетні м'язи виробляють супероксидні аніони та NO з низькою швидкістю. Однак під час скоротливої активності ця швидкість різко збільшується. Фактично, аеробні вправи пов'язані зі збільшенням поглинання кисню як усім тілом, так і особливо групою м'язів, які скорочуються. Під час аеробних вправ для всього тіла відбувається збільшення споживання кисню всім тілом у 10–15 разів та збільшення потоку кисню в активних м'язах більш ніж у 100 разів. Хоча прямі докази утворення активних форм кисню під час фізичних навантажень обмежені, головним чином через обмеження використовуваних методів, існує велика кількість літератури, яка непрямо підтверджує, що оксидативний стрес може виникати під час аеробних та анаеробних вправ. На рівень оксидативного стресу може впливати безліч факторів, таких як задіяні групи м'язів, режими скорочення, інтенсивність вправ, тривалість вправ та популяція учасників тренувань. Хронічні фізичні вправи також приводять до посилення антиоксидантного захисного механізму організму, що допомагає мінімізувати оксидативний стрес, який може виникнути після гострого періоду фізичних вправ. Нещодавні дослідження показують корисну роль активних форм, що утворюються під час періоду фізичних вправ, що приводить до важливих тренувальних адаптацій: ангиогенезу, біогенезу мітохондрій та гіпертрофії м'язів. Адаптації відбуваються залежно від механічного, а отже, і біохімічного, стимулу всередині м'яза. Це нова галузь досліджень, яка обіцяє важливі відкриття у сфері молекулярних та клітинних механізмів, що беруть участь у взаємозв'язку між оксидативним стресом та фізичними вправами [6].

Список літератури до теми «Енергетичний обмін»

1. Методичні вказівки до практикуму «Фізіологія праці» / Куценко Т.В., Макарчук М.Ю. – Київ, Фітосоціоцентр, 2010 – 30 с.

2. Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *Journal of nutrition and metabolism*, 2010, 905612. <https://doi.org/10.1155/2010/905612>
3. Brooks GA. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 1986; 18(3):360–8.
4. Buchheit M. The 30–15 intermittent fitness test: 10-year review. *Myorobie J.* 2010;1:1–9.
5. Dong, S., Qian, L., Cheng, Z., Chen, C., Wang, K., Hu, S., Zhang, X., & Wu, T. (2021). Lactate and Myocardial Energy Metabolism. *Frontiers in physiology*, 12, 715081. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.715081>
6. Gomes EC, Silva AN, de Oliveira MR. Oxidants, antioxidants, and the beneficial roles of exercise-induced production of reactive species. *Oxid Med Cell Longev.* 2012;2012:756132. doi:10.1155/2012/756132
7. Grgic J, Lazinica B, Pedisic Z. Test-retest reliability of the 30-15 Intermittent Fitness Test: A systematic review. *J Sport Health Sci.* 2021;10(4):413-418. doi:10.1016/j.jshs.2020.04.010
8. Hawkins, M. N., Raven, P. B., Snell, P. G., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2007). Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(1), 103–107. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64>
9. <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/7-8-work-energy-and-power-in-humans/>
10. <https://frontrunnersports.com.au/know-your-aerobic-training-zones/>
11. <https://grants.hhp.uh.edu/doconnor/pep6305/Section%2013.3.html>
12. <https://koohsports.wordpress.com/2017/04/03/energy-systems-and-sports/>
13. [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Conceptual_Physics/Body_Physics_-_Motion_to_Metabolism_\(Davis\)/10%3A_Powering_the_Body/10.09%3A_Efficiency_of_the_Human_Body#:~:text=Thermal%20energy%20generated%20during%20the,food%20energy%20into%20mechanical%20output.](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Conceptual_Physics/Body_Physics_-_Motion_to_Metabolism_(Davis)/10%3A_Powering_the_Body/10.09%3A_Efficiency_of_the_Human_Body#:~:text=Thermal%20energy%20generated%20during%20the,food%20energy%20into%20mechanical%20output.)

14. <https://pressbooks.calstate.edu/nutritionandfitness/chapter/estimating-energy-expenditure/>
15. <https://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/humannutrition/chapter/food-supplements-and-food-replacements/>
16. <https://us.humankinetics.com/blogs/excerpt/the-bodys-fuel-sources?srsId=AfmBOorvZTdKrRtSp1wl0utS3SXwoZ1DQat398hPQzXxr1wxLT-eIegh>
17. <https://www.flammerouge.je/factsheets/continuum.htm>
18. <https://www.indirectcalorimetry.net/understanding-indirect-calorimetry/>
19. <https://www.whoop.com/us/en/thelocker/aerobic-heart-rate-zone/>
20. Huertas, J. R., Casuso, R. A., Agustín, P. H., & Cogliati, S. (2019). Stay Fit, Stay Young: Mitochondria in Movement: The Role of Exercise in the New Mitochondrial Paradigm. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019, 7058350. <https://doi.org/10.1155/2019/7058350>
21. Hussain, Dr & Nasir, S & Ismail, Muhammad & Salam, Dr. Muhammad & Shah, Raza & Huda, Syed & Hafeez, Sara & Karachi, Pakistan & Kashmir, Jumm & Pakistan,. (2019). IOT Based Smart Energy Harvester Linked to Human Body Motions (ISEHLHM). 63.
22. Kenney W.L., Jack H. Wilmore J.H., Costill D.L. *Physiology of Sport and Exercise*, Sixth Edition With Web Study Guide, 2015. - 648 p.
23. Klaas R. Westerterp, Chapter 1 - Energy metabolism, Editor(s): Bernadette P. Marriott, Diane F. Birt, Virginia A. Stallings, Allison A. Yates, *Present Knowledge in Nutrition (Eleventh Edition)*, Academic Press, 2020, Pages 3-14, ISBN 9780323661621, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66162-1.00001-9>.
24. Li, X., Yang, Y., Zhang, B. *et al.* Lactate metabolism in human health and disease. *Sig Transduct Target Ther* **7**, 305 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01151-3>
25. Mandadzhiev N (2025) The contemporary role of lactate in exercise physiology and exercise prescription – a review of the literature. *Folia Medica* 67(1): e144693. <https://doi.org/10.3897/folmed.67.e144693>

26. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO (1990). "A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals". *The American Journal of Clinical Nutrition*. 51 (2): 241–247. doi:10.1093/ajcn/51.2.241. PMID 2305711.
27. Popson MS, Dimri M, Borger J. Biochemistry, Heat and Calories [Internet]. PubMed. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538294/>
28. Riddick, R.C., Kuo, A.D. Mechanical work accounts for most of the energetic cost in human running. *Sci Rep* 12, 645 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04215-6>
29. Ruggiero, C., Metter, E. J., Melenovsky, V., Cherubini, A., Najjar, S. S., Ble, A., Senin, U., Longo, D. L., & Ferrucci, L. (2008). High basal metabolic rate is a risk factor for mortality: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 63(7), 698–706. <https://doi.org/10.1093/gerona/63.7.698>
30. Sahlin, K., Harris, R. C., & Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 39(6), 551–558. <https://doi.org/10.3109/00365517909108833>
31. Straub R. H. (2014). Interaction of the endocrine system with inflammation: a function of energy and volume regulation. *Arthritis research & therapy*, 16(1), 203. <https://doi.org/10.1186/ar4484>

Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми
«Енергетичний обмін»

- 1. Скільки приблизно кілокалорій витрачає організм людини під час сну за годину?**
- A. 70
 - Б. 50
 - В. 100
 - Г. 150

2. Як називається мінімальний рівень енергетичних витрат, необхідний для підтримки життєдіяльності у стані спокою?

- А. Енергетичний запас
- Б. Основний обмін
- В. Максимальна витрата енергії
- Г. Адаптивний термогенез

3. Що таке основний обмін?

- А. Мінімальні витрати енергії в стані повного спокою
- Б. Енергія, що витрачається під час фізичного навантаження
- В. Енергія, що витрачається тільки мозком
- Г. Витрати енергії після прийому їжі

4. У якій формі енергія запасена в організмі людини?

- А. Тільки у вигляді білків
- Б. У вигляді АТФ, глікогену, жирів
- В. Лише у вигляді вуглеводів
- Г. У вигляді молочної кислоти

5. Який етап енергетичного обміну є анаеробним?

- А. Окисне фосфорилування
- Б. Цикл Кребса
- В. Гліколіз
- Г. β -окиснення жирних кислот

6. Яка речовина є кінцевим продуктом аеробного окиснення глюкози?

- А. Лактат
- Б. Піруват
- В. Вода і вуглекислий газ
- Г. Аміак

7. У якому органі відбувається найбільше утворення енергії в стані спокою?

- А. Серце
- Б. Скелетні м'язи
- В. Печінка
- Г. Головний мозок

8. Яке твердження правильне щодо ролі лактату?

- А. Це «мертвий» продукт, який не використовується
- Б. Це токсична сполука, що лише заважає роботі м'язів
- В. Це головний буфер крові
- Г. Це енергетичний і сигнальний метаболіт

9. Що означає різке зростання рівня лактату під час навантаження?

- А. Початок анаеробних процесів
- Б. Припинення гліколізу
- В. Падіння основного обміну
- Г. Збільшення запасів глікогену

10. Яка приблизна концентрація лактату в крові в стані спокою?

- А. 0,2–0,5 ммоль/л
 - Б. 0,5–1,5 ммоль/л
 - В. 2–4 ммоль/л
 - Г. 6–8 ммоль/л
-

Відповіді

1 (А), 2(Б), 3(А), 4 (Б), 5(В), 6(В), 7(В), 8(Г), 9(А), 10 (Б).

Ситуаційні задачі

Задача 1

Студент піднявся на 9-й поверх пішки. Після навантаження у нього з'явилося відчуття «печіння» в м'язах ніг.

Запитання:

Який основний процес забезпечив м'язи енергією в цей момент і що стало причиною печіння?

Задача 2

Спортсмен пробіг марафонську дистанцію. Після 25-го км він відчув втрату сил («енергетичний голод»).

Запитання:

Яке джерело енергії виснажилося і які речовини почали переважно окиснюватися?

Задача 3

Пацієнт, який дотримується суворої дієти без вуглеводів, скаржиться на слабкість і головний біль.

Запитання:

Які метаболічні процеси активуються в його організмі для забезпечення мозку енергією?

Задача 4

У людини після тривалого голодування виявлено зменшення маси тіла та запах ацетону з рота.

Запитання:

Які продукти енергетичного обміну є причиною цього запаху?

Задача 5

Після інтенсивного тренування у спортсмена спостерігається підвищене споживання кисню навіть у стані відпочинку.

Запитання:

Як називається це явище та для чого воно потрібне?

Задача 6

Студент виконував серію спринтерських забігів по 200 м. Після 3–4 повторів він відчув різке печіння у м'язах ніг і змушений був зупинитися.

Запитання: Який метаболічний процес зумовив це відчуття?

Задача 7

Під час вимірювання у бігуна концентрація лактату у крові після тренування становила 8 ммоль/л.

Запитання: Що це свідчить про інтенсивність виконаного навантаження?

Задача 8

У марафонця після 25 км знизилася швидкість бігу, проте аналіз показав незначне підвищення рівня лактату.

Запитання: Яке джерело енергії почало переважати?

Задача 9

У пацієнта, який тривалий час голодує, у крові виявлено підвищений рівень лактату, а також кетонових тіл.

Запитання: Яке значення має лактат у цих умовах?

Задача 10

Спортсмен після виснажливого тренування споживає кисень на підвищеному рівні протягом 30 хв у стані спокою.

Запитання: Яке значення має цей процес для лактату?

Відповіді.

1. Працював **анаеробний гліколіз**, кінцевим продуктом став **лактат (молочна кислота)**, накопичення якої викликало печіння.
2. Виснажився **глікоген** у печінці й м'язах, організм почав активніше використовувати **жири** як джерело енергії.
3. Активується **глюконеогенез** у печінці, а також утворення **кетонових тіл** з жирних кислот для забезпечення мозку енергією.
4. Запах зумовлений накопиченням **кетонових тіл** (ацетооцтова кислота, β -оксимасляна кислота, ацетон).
5. Це **кисневий борг** – додаткове споживання кисню, необхідне для окиснення лактату, ресинтезу АТФ і креатинфосфату, відновлення гомеостазу.
6. Анаеробний гліколіз з накопиченням лактату та іонів H^+ (метаболічний ацидоз).
7. Навантаження перевищило лактатний поріг, активно працювали анаеробні механізми енергозабезпечення.
8. Окиснення жирних кислот при відносно низькому рівні анаеробних процесів.
9. Він є субстратом для глюконеогенезу в печінці (цикл Корі), забезпечує підтримку рівня глюкози в крові.
10. Це погашення кисневого боргу: окиснення лактату до пірувату з подальшим включенням у цикл Кребса та утворенням АТФ.

4. ВИДИ І ФОРМИ ПРАЦІ

4.1. Основні поняття

Навантаження, робота і напруження

Дія зовнішнього навантаження чинить різний вплив на різних людей. Роботу, виконану даним індивідом на подолання цього навантаження, можна виміряти потужністю, а напруження, яке виникає - шляхом оцінки різних фізіологічних функцій.

Навантаження буває **нервово-психічне і фізичне**. Нервово-психічне часто можна лише словесно описати. Фізичне можна виміряти точними фізичними величинами.

Фактори, які визначають напруження

Ступінь, з якою фізіологічні функції повинні перебудовуватися з тим щоб, організм впорався з даним навантаженням, залежить в основному від двох незалежних факторів.

Працездатність. Це здатність організму реагувати на навантаження і виконувати таким чином якусь роботу. Працездатність залежить від стану здоров'я, тренуваності і схильності до даної роботи, тобто таланту. На працездатність впливає в кожному окремому випадку оточуюче середовище, наприклад, клімат, час доби, шум і загальний стан нервової системи.

Межа працездатності — це фізіологічне поняття, що означає максимальний рівень інтенсивності або тривалості роботи, за якого організм ще здатний підтримувати ефективну трудову діяльність без загрози для здоров'я, але вже з ознаками погіршення функціонального стану (рис. 4.1.). Стан попередження перевтоми характеризується тим, що працездатність ще зберігається, але вже спостерігається зниження точності, швидкості, уваги чи координації. Фізіологічна межа працездатності викликається вичерпанням енергетичних ресурсів (наприклад, глікогену), порушенням терморегуляції, надмірною втомою м'язів. Психологічна межа працездатності отримується внаслідок

нервово-психічного напруження, монотонності, емоційного виснаження. При перевтомі виникає порушення координації рухів, помилки, може виникнути ризик для здоров'я. Якщо роботу не припинити, може виникнути фізіологічний зрив – порушення регуляторних функцій, виснаження організму, загроза для здоров'я і життя. У фізіології праці межу працездатності враховують при нормуванні праці, плануванні змінності, проведенні активного відпочинку, організації режимів праці та відпочинку.



Рис. 4.1. Межа працездатності та фактори, що на неї впливають.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) визначається як відношення величини зовнішньої, тобто фізичної роботи, до величини загального обміну речовин для даної роботи. *Чим нижчий ККД, тим більшим є напруження.* ККД є показником ефективності роботи м'язів і відображає частку енергії, що

безпосередньо витрачається на виконання механічної роботи. Для скелетних м'язів цей показник становить у середньому 25–30 %, тобто лише чверть усієї хімічної енергії, яка виділяється при розщепленні поживних речовин, використовується для скорочення. Решта 70–75 % енергії перетворюється у тепло, що пояснює підвищення температури тіла під час інтенсивної фізичної діяльності. Це тепло не є «даремною» витратою, оскільки воно відіграє важливу роль у процесах терморегуляції організму, допомагаючи підтримувати сталість внутрішнього середовища та попереджати перегрів або переохолодження..

Види праці (за характером навантаження)

Фізична праця. Переважно задіяні м'язи, рухова активність. Основне навантаження на опорно-руховий апарат, серцево-судинну та дихальну системи. Приклад: будівельник, вантажник, сільськогосподарський працівник.

Розумова праця. Домінують психічні процеси, увага, пам'ять, мислення. Високе навантаження на центральну нервову систему (ЦНС). Приклад: вчитель, програміст, науковець, диспетчер.

Змішана праця. Поєднання фізичної та розумової активності. Вимагає координації, рішень, уваги, іноді – складних рухів. Приклад: лікар, водій, машиніст, майстер на виробництві.

В залежності від характеру навантаження – робота фізична чи розумова – часто важко розмежувати. Фізичну роботу можна виразити в фізичних величинах, розумова робота часто не вимірна. Проте напруження при виконанні такої роботи можна оцінити за зміною фізіологічних показників.

Фізична робота за статичністю та динамікою (табл. 4.1.).

Динамічна робота виконується тоді, коли в фізичному розумінні відбувається подолання опору на певній відстані. Робота може бути виміряна фізичними величинами: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$. При позитивній динамічній

фізичній роботі м'язи діють як рушій, а при негативній динамічній роботі (наприклад, спускання з гори) – як гальмо.

Статична робота виконується при ізометричному скорочення м'язів. У фізичному розумінні це не робота (вантаж нікуди не переміщується), проте організм реагує фізіологічним виявом напруження, яке відповідає навантаженню (організм витрачає енергію на м'язове напруження). Робота в даному випадку відповідає множенню сили на час.

Табл. 4.1.

Типи роботи за статичністю та динамічністю

Тип	Опис
Статична праця	Утримання пози без активного руху (навантаження на постуральні м'язи). Приклад: хірург під час операції.
Динамічна праця	Пов'язана з рухами, циклічні скорочення м'язів. Приклад: робота кур'єра, вантажника.

Розумова робота включає **мислительний** і **емоційний** компоненти. **Мислительний компонент** переважає, коли робота стосується перш за все інтелектуальних здібностей: задачі, що потребують концентрації уваги, обдумування, а також виявлення і обробки сигналів, відслідковування за приладами чи подіями (наприклад, контроль якості продукції або керування автомобілем). **Емоційний компонент** переважає, коли робота пов'язана конкретними реакціями автономної нервової системи і знаходить відображення у настрої людини: наприклад, відчуття радості, гніву, печалі і безнадійності, знервованість у зв'язку з незнайомою обстановкою, роздратування, викликане шумом.

4.2. Форми праці

Трудова діяльність відрізняється від активності тварин тим, що в ній взаємодія з природою здійснюється шляхом її перетворення. Біологічне в людині підкоряється соціальному, включається в соціальне, зберігаючи

відносну самостійність (добовий ритм, швидкість реакції, м'язова сила і таке інше) і свої характерні константи життєдіяльності (гомеостаз). В той же час, подразники соціальної природи мають виключно велику ефективність. Дисгармонія між темпами і ритмом розвитку соціального і біологічного в праці і виробництві викликає специфічні проблеми фізіології і гігієни праці.

Поділ на різні **форми праці** деякою мірою повторює розвиток різних типів суспільства, починаючи від первіснообщинного ладу і закінчуючи інформаційним або постіндустріальним суспільством. Суспільства можна класифікувати за різними критеріями, але найбільш поширеною є класифікація типів суспільств за способом здобуття засобів до існування: суспільство мисливців і збирачів, аграрне суспільство, індустріальне суспільство та постіндустріальне суспільство.

Суспільство мисливців і збирачів характеризується низьким рівнем розвитку технологій, залежністю від природи, відсутністю сталої території та малим розміром груп. **Аграрне суспільство** виникло з розвитком землеробства та скотарства. Характеризується осілим способом життя, появою надлишків продуктів, соціальною стратифікацією та розвитком ремесел. **Індустріальне суспільство** виникло після Першої промислової революції. Головним типом діяльності стає промислове виробництво. Відбуваються зміни у соціальній структурі, зростає роль капіталу, з'являються міста. **Постіндустріальне суспільство:** основу економіки становить виробництво послуг. Зростає роль знань, освіти, інформаційних технологій. Соціальна структура змінюється, професійна диференціація стає важливішою за класову.

4.2.1. Форми праці (за умовами виконання)

З фізіологічної точки зору праця людини класифікується за домінуючим типом навантаження на організм, характером функціональної діяльності, а також рівнем участі нервової та м'язової систем у процесі виконання завдань. Основними формами є фізична, розумова, механізована, автоматизована та

конвеєрна праця. Кожна з них має свою специфіку впливу на організм, різний рівень енергозатрат, характер втоми, а також потребу в регуляції навантаження і відпочинку.

Форми праці, які потребують значної м'язової діяльності. Фізична праця передбачає активну участь опорно-рухового апарату, інтенсивну роботу м'язів, серцево-судинної та дихальної систем. Така праця потребує частих перерв та організації активного відпочинку. **Ручна праця** – без використання машин, усе виконується власноруч. Високе динамічне фізичне навантаження. Приклад: тесляр, прибиральник.

Механізована праця Частину фізичних дій виконують машини, людина лише керує процесом. Зниження фізичного навантаження, підвищення ролі уваги та спостереження. Приклад: оператор верстата, машиніст крана.

Автоматизована праця Людина контролює автоматичні системи, не втручаючись у процес. Основне навантаження – сенсорне та інтелектуальне. Приклад: оператор АСУ (автоматизованої системи управління).

Конвеєрна (ритмізована) праця Повторювані дії в чітко заданому темпі. Часто монотонна, із низькою варіативністю рухів. Приклад: працівник на лінії збирання.

Розумова праця. Цей вид праці потребує високої когнітивної активності й часто супроводжується мінімальною руховою активністю, що має свої фізіологічні наслідки. **Творчі професії** — це вид розумової праці, що вимагає високої активності центральної нервової системи, емоційної залученості, нестандартного мислення та індивідуального підходу.

Форми праці, які потребують значної м'язової діяльності. Такі форми праці характеризуються підвищеними енергетичними витратами від 4000 до 6000 ккал за зміну і вище. Землекопи, лісоруби, ручне косіння і молотьба, деякі види обслуговування внутрішнього заводського транспорту, деякі конвеєри. У процесі важкої м'язової праці до роботи залучається більшість скелетних м'язів тулуба та кінцівок, що забезпечує значне фізичне навантаження та сприяє розвитку і високому рівню тренуваності серцево-судинної, дихальної

та м'язової систем. Водночас така форма праці має істотні недоліки: вона відзначається низькою соціальною ефективністю та призводить до однобічного розвитку м'язового апарату. За енерговитрат близько 8 ккал за хвилину фізіологічно обґрунтованим є режим, за якого час на відпочинок становить не менше 50 % від загальної тривалості робочого періоду. З огляду на це, важка м'язова праця не повинна широко застосовуватися у сучасному виробництві й може розглядатися лише як допустима в окремих випадках, пов'язаних із короткочасними та специфічними видами діяльності.

Ручна праця — це вид фізичної праці, у якій основні трудові операції виконуються переважно руками без або з мінімальним використанням механізмів. Така праця зберігає своє значення в багатьох галузях — від сільського господарства до легкої промисловості, ремонтних робіт і сфери обслуговування (табл. 4.2.).

Табл. 4.2.

Фізіологічні характеристики ручної праці

Критерій	Пояснення
Активність м'язової системи	Переважно залучаються м'язи верхніх кінцівок, плечового поясу, спини; при тривалій роботі — і м'язи корпусу.
Тип м'язової роботи	Переважає динамічна робота, але часто є елементи статичного навантаження (утримування інструментів, деталей тощо).
Координація рухів	Необхідна точність, ритмічність і узгодженість рухів рук, пальців, зорового контролю, іноді слухової регуляції.
Навантаження на ЦНС	Пов'язане з постійною зосередженістю, необхідністю контролю дій, візуальної оцінки, іноді швидкого реагування.
Енергозатрати	В середньому 2800–3600 ккал/доба, залежно від інтенсивності, маси об'єктів, тривалості роботи.
Основні аналізатори	Зоровий, тактильний, пропріорецептивний.
Провідний тип втоми	М'язова (локальна або загальна), сенсомоторна, при тривалій роботі — психоемоційна.

Можливими негативними наслідками ручної праці є місцева м'язова втома — особливо при роботі з дрібними деталями або тривалій фіксації положення, порушення кровообігу в руках, кистях, спазм м'язів (особливо при роботі в незручній позі), травматизм — ризик поранень, порізів, опіків, ударів,

монотонність рухів — призводить до зниження уваги і працездатності, зношення суглобів — особливо при нераціональній організації робочого місця.

Фізіологічні рекомендації для організації ручної праці полягають в організації раціонального робочого місця (висота столу, розташування інструментів), зміні робочої пози (чергування стоячого і сидячого положення), мікропаузх кожні 40–60 хвилин для розминки, освітленні — достатньому, без тіней, що сприяє зменшенню зорового навантаження. Використання ергономічних інструментів знижує навантаження на дрібні м'язи кисті. Корисним є застосування активного відпочинку — фізичні вправи на розвантаження рук, плечового пояса.

Ручна праця, хоч і є однією з найдавніших форм трудової діяльності, має складну фізіологічну структуру. Вона вимагає ретельної організації умов, гігієни праці, запобігання надмірному навантаженню на м'язи рук та зоровий аналізатор. При правильному підході її ефективність може бути високою, а негативні наслідки — мінімізованими.

Сільськогосподарська праця є однією з найскладніших за своїми умовами, адже вона поєднує фізичне навантаження, вплив зовнішнього середовища, тривалий робочий день, сезонність, варіативність видів діяльності та трудові ризики. З фізіологічної точки зору вона є багатокомпонентною і вимагає від організму високої адаптації (табл. 4.3.). Можливі наслідки для організму: перевтома через тривалу працю без повноцінного відпочинку, порушення опорно-рухового апарату — зношення суглобів, викривлення хребта, м'язово-скелетні болі, вплив кліматичних факторів — теплові удари, переохолодження, зневоднення, травми і мікротравми — порізи, опіки, подряпини, отруєння пестицидами, контакт з алергенами — пилок, пліснява, хімікати. Фізіологічні рекомендації полягають у дотриманні раціонального режиму праці і відпочинку, особливо в сезонні піки. Необхідними є профілактика зневоднення і перегріву (вода, тінь, легкий одяг), захисні засоби при роботі з технікою та хімікатами.

Фізіологічні особливості сільськогосподарської праці

Критерій	Особливості
Тип праці	Переважно ручна або механізована фізична праця, часто з елементами розумової діяльності (керування технікою, контроль процесів).
М'язова активність	Інтенсивна, залучає великі м'язові групи (руки, спина, ноги); часто — тривале статичне або ритмічне навантаження.
Енергозатрати	Високі: 3200–4500 ккал/доба, залежно від характеру роботи (оранка, збирання врожаю, догляд за тваринами тощо).
Умови праці	Відкритий простір, змінна температура, вологість, вітер, пил, контакт із ґрунтом, рослинами, хімікатами.
Сезонність	Періоди максимального навантаження (весна-літо-осінь) чергуються з відносно спокійними (зима).
Поза	Часто незручна, нахилена, з тривалим перебуванням в одному положенні.
Рівень шуму, вібрацій	Високий при роботі з технікою; впливає на нервову систему та слуховий аналізатор.
Психоемоційне навантаження	Середнє або високе: пов'язане з відповідальністю за живі об'єкти, сезонними строками, погодними ризиками.
Темп і ритм праці	Змінний, часто нерівномірний , залежить від погодних і біологічних факторів.

Важлива правильна організація робочого місця для зменшення напруження (зручне положення, чергування дій), контроль за станом здоров'я працівників, медогляди, активний відпочинок і відновлювальні заходи після завершення важких сезонів. Сільськогосподарська праця — складна за характером і потребує високої функціональної мобілізації всіх систем організму. Її ефективне та безпечне виконання можливе лише за умов дотримання гігієни праці, фізіологічно обґрунтованого режиму навантажень і організації відпочинку.

Фізіологічні особливості праці військовослужбовців. Праця військовослужбовців є однією з найнапруженіших за своїм фізіологічним, психоемоційним і когнітивним навантаженням. Вона поєднує високу фізичну активність, стресові фактори, небезпечні умови, систему підпорядкування і

дисципліни, що висуває особливі вимоги до адаптаційних можливостей організму (табл. 4.4.).

Табл. 4.4.

Фізіологічні особливості праці військовослужбовців

Критерій	Особливості
Тип праці	Комбінована: фізична, розумова, оперативна, бойова, адміністративна.
Фізичне навантаження	Високе: рух у повному екіпіруванні, тривалі марші, заняття з бойової підготовки.
Психоемоційне навантаження	Надзвичайно високе — пов'язане з ризиком для життя, очікуванням небезпеки, швидким прийняттям рішень.
Когнітивне навантаження	Орієнтування в ситуації, прийняття рішень, виконання команд, керування бойовими системами.
Енергозатрати	4000–6000 ккал/доба під час активних дій; у мирний час – близько 3000–3500 ккал.
Умови праці	Часто — екстремальні: холод, спека, шум, вібрація, нестача сну, харчування, води.
Вид втоми	Комплексна: м'язова, психоемоційна, сенсорна, когнітивна.
Режим праці	Нерегулярний, часто змінний, можливі нічні зміни, чергування активності і вимушеного спокою.
Дисципліна і підпорядкування	Висока: має значний вплив на волюву та нервово-психічну сферу.

Фізіологічні ризики: перевтома і виснаження через інтенсивні й тривалі навантаження, стрес і ПТСР (посттравматичний стресовий розлад) як наслідки хронічного або гострого стресу в бойових умовах, травми — механічні, акустичні, теплові, хімічні, порушення сну — нестача або фрагментарність сну у бойовій ситуації, дегідратація і гіпоглікемія при тривалих фізичних навантаженнях без харчування, імунодефіцитні стани через хронічну втому та стрес.

Фізіологічні вимоги до військовослужбовців: високий рівень загальної фізичної підготовки, розвинені механізми стресостійкості, здатність до швидкого прийняття рішень, висока функціональна стійкість нервової, серцево-судинної, дихальної та опорно-рухової систем, навички саморегуляції

— управління диханням, увагою, емоціями; навички ефективного відновлення у польових умовах.

Праця військовослужбовців є мультифакторною, стресогенною і високоенергозатратною. Її особливості вимагають цілеспрямованого фізіологічного та психологічного тренування, регулярного медичного контролю, а також розробки ефективних систем відновлення, адаптації та стрес-менеджменту.

Фізіологічні особливості праці шахтарів. Праця шахтарів — одна з найінтенсивніших і найнебезпечніших серед усіх професій. Вона поєднує високе фізичне навантаження, екстремальні умови зовнішнього середовища, ризик травматизму та значну психоемоційну напругу, що створює підвищені вимоги до організму (табл. 4.5.).

Табл. 4.5.

Фізіологічні особливості праці шахтарів

Критерій	Особливості
Тип праці	Інтенсивна фізична праця з використанням інструментів і машин у обмеженому просторі.
М'язове навантаження	Залучаються всі основні м'язові групи: руки, спина, ноги; часто у згинальній або напруженій позі.
Тип м'язової роботи	Динамічна та статична, з чергуванням важких і рутинних дій.
Енергозатрати	Дуже високі: 3800–5000 ккал/доба, залежно від виду робіт (прохідницькі, очисні тощо).
Кліматичні умови	Підвищена температура і вологість, погана вентиляція, нестача кисню, пилове забруднення.
Психоемоційне навантаження	Пов'язане з ризиком аварій, обвалів, підвищеним шумом, ізоляцією під землею.
Аналізатори, що перевантажені	Зоровий (погане освітлення), вестибулярний (робота у нестабільних позах), дихальний (нестача O ₂ , пил).
Позова активність	Часто вимушено зігнута, обмежена рухливість, робота у тісних просторах.
Темп праці	Високий, нерівномірний, залежить від виробничого завдання і зміни.

Основні ризики для здоров'я. Професійні захворювання: пневмоконіоз, силікоз — через вугільний та кам'яний пил, вібраційна хвороба — при роботі

з важким обладнанням, тепловий стрес, гіпоксія. Травматизм через обвали, порушення роботи техніки, електротравми. М'язово-скелетні порушення: хронічні болі у спині, суглобах; артрози. Психофізіологічні порушення: тривожність, пригнічення, синдром хронічної втоми.

Фізіологічні рекомендації: раціональна організація змінної роботи — чергування важких і легших завдань, покращення вентиляції, освітлення, температурного режиму в шахтах, регулярні медичні огляди, особливо функцій дихання, серцево-судинної системи. Надзвичайно важливим є застосування засобів індивідуального захисту: респіраторів, протипилових масок, спецодягу. Необхідно дотримуватись режиму праці і відпочинку з урахуванням енерговитрат і умов праці, організовувати для шахтарів психофізіологічну підтримку, включно з навчанням технікам саморегуляції. Праця шахтарів є однією з найбільш енерговитратних, шкідливих і небезпечних. Вона вимагає ретельної медико-фізіологічної оцінки, високої професійної підготовки та постійного контролю за умовами праці. Гігієна, профілактика і фізіологічне регулювання навантаження — ключові умови збереження здоров'я працівників гірничої галузі.

Механізовані форми праці. Енергетичні втрати вже менші і становлять 3000-4000 ккал на добу. Механічна робота є меншою, і має інше застосування м'язового компонента. Також ця форма праці характеризується ускладненням програми дій, зменшення ролі крупних проксимальних і збільшенням ролі більш дрібних дистальних груп м'язів, що пов'язане із більшою швидкістю і точністю рухів, які вимагаються при здійсненні такої роботи, оскільки дистальні м'язи мають більше ступенів свободи, а отже, більшу різноманітність рухів. Прикладами є багато професій у всіх галузях виробництва. Наприклад, токарь по металу, слюсар, шліфувальник, фрезерувальник та ін.. Перевагою даної форми праці є те, що вона потребує попереднього планування, а отже, накопичення спеціальних знань і рухових умінь. У цьому виді трудової діяльності зростає частка розумової роботи, зумовлена необхідністю обслуговування складних конструкцій обладнання,

умінням читати креслення та користуватися технічною документацією. Водночас праця характеризується низкою несприятливих факторів, серед яких провідними є монотонність виконуваних операцій, значне навантаження на дрібні м'язові групи та вимушене збереження робочої пози протягом тривалого часу. Сукупність цих чинників може призводити до підвищеної стомлюваності, зниження продуктивності та появи негативних фізіологічних і психоемоційних наслідків.

Форми праці, пов'язані з напівавтоматичним виробництвом, відзначаються тим, що людина практично повністю виключається з процесу обробки предметів праці, оскільки основні операції виконуються механізмами. Завдання робітника зводяться переважно до простих дій із обслуговування машин та агрегатів, подачі вихідного матеріалу чи контролю за роботою устаткування. Прикладом може бути штампування деталей або виробів на напівавтоматах. Енерговитрати під час такої діяльності становлять у середньому 1,9–3,1 ккал/хв. Робота характеризується швидкими та точними, але одноманітними рухами, збереженням вимушеної пози, невисокими вимогами до кваліфікації працівника. У результаті людина у цій системі фактично перетворюється на «придаток» до обладнання. З фізіологічної точки зору такий тип трудової діяльності отримує негативну оцінку, адже поєднання монотонності, статичного навантаження і низького рівня залученості призводить до зниження працездатності та несприятливо впливає на здоров'я працівника

Автоматизована форма праці передбачає значне зменшення безпосередньої участі людини у процесі виробництва, адже основні операції виконуються автоматичними лініями. Основною професією цього типу діяльності є наладчик, який відповідає за налагодження, ремонт і контроль за функціонуванням обладнання. Така робота потребує високого рівня кваліфікації, адже працівник повинен глибоко знати конструкцію та принципи роботи агрегатів, швидко орієнтуватися у складних виробничих ситуаціях, ухвалювати правильні рішення та здійснювати точні робочі рухи. Водночас

значну частку робочого часу може займати так званий оперативний спокій — періоди, коли працівник не виконує активних рухів, але перебуває у стані готовності до втручання в роботу системи.

Оперативний спокій — це термін, що використовується у фізіології праці для позначення стану працівника під час короткочасного зниження або повної зупинки основної трудової діяльності, коли організм зберігає підвищену готовність до негайного відновлення роботи. Оперативний спокій не є повноцінним відпочинком, оскільки мозок і нервова система залишаються в стані активного очікування. Фізіологічна напруга зберігається, хоча може бути зниженою. Часовий проміжок — зазвичай короткий: хвилини або навіть секунди. Спостерігається у сферах, де потрібна миттєва реакція — авіація, диспетчерські служби, охорона, медицина, військові спеціальності тощо. Фізіологічні особливості оперативного спокою: активність ЦНС (центральної нервової системи) зберігається, м'язовий тонус трохи знижений, але не до рівня повного розслаблення, кардіореспіраторні параметри (ЧСС, дихання) знижуються незначно, психоемоційна концентрація — зберігається або навіть посилюється. Приклади: льотчик очікує дозволу на зліт, хірург у паузі перед наступним етапом операції, диспетчер чекає сигналу про зміну параметрів. Оперативний спокій необхідно враховувати при нормуванні праці та плануванні режимів праці і відпочинку. Після тривалого перебування в стані оперативного спокою потрібне спеціальне відновлення, оскільки перевантаження оперативним спокоєм (без активного відпочинку) може призвести до психоемоційного виснаження.

Сучасний розвиток виробництва та підвищення якості життя тісно пов'язані з широким упровадженням автоматизації, комп'ютеризації та роботизації. З кожним роком дедалі більше завдань як у промисловості, так і в побуті виконують автоматичні пристрої та машини, що суттєво полегшує працю людини. Автоматизація розглядається як один із ключових напрямів прогресу техніки і технологій, адже вона забезпечує звільнення працівника не лише від необхідності витратити значні фізичні зусилля на виконання

виробничих операцій, а й від потреби постійного оперативного керування обладнанням і технологічними процесами. У таких умовах виробничу діяльність людини дедалі більше перебирають на себе машини-автомати, комп'ютери та роботи, що формує основу для створення нових, ефективніших і безпечніших систем праці.

Функціонування будь-якого автомата ґрунтується на виконанні програми — певної послідовності дій, яку задає людина. У деяких випадках програма закладена безпосередньо в конструкцію пристрою, як, наприклад, у механічних годинниках, терморегуляторах прасок, запобіжниках чи автоматичних вимикачах електричного струму. В інших ситуаціях, зокрема у машинах-автоматах, що виконують конкретні виробничі завдання, програма вводить ззовні за допомогою спеціальних носіїв інформації. Робота автоматизованих механізмів забезпечується елементами автоматики — складовими автоматичних систем керування, де кожен блок має своє функціональне призначення і відповідає за реалізацію певних процесів. Завдяки цьому здійснюється широкий спектр дій: від передавання сигналів для автоматичного ввімкнення освітлення чи сигналізації, до виконання технологічних операцій з обробки деталей виробів або автоматичного відкривання й закривання водопровідних кранів.

Гнучка виробнича система (ГВС) представляє собою комплекс технологічного та допоміжного устаткування, інтегрованого єдиною системою автоматичного керування з комп'ютера для виконання різноманітних технологічних операцій. Використання ГВС, разом із автоматизацією, комп'ютеризацією та роботизацією виробничих процесів, дозволяє виготовляти більшу кількість продукції високої якості при мінімальних фізичних затратах працівника та забезпечує безпечні умови праці. У сучасних підприємствах головним завданням є впровадження автоматизованих систем і новітніх технологій виробництва з використанням промислових роботів і комп'ютерної техніки.

Сьогодні розроблено роботи, які можна інтегрувати практично в будь-яке робоче середовище. Вони здатні виконувати різні завдання, включно з обстеженням мінних полів, проведенням розвідки, роботою у зонах із радіоактивним забрудненням та заміщенням рук людини, тим самим підвищуючи безпеку та ефективність трудової діяльності.

Групові форми праці, зокрема конвеєрні, передбачають подрібнення виробничого процесу на невеликі операції, які виконуються групою робітників. Основною особливістю такої форми організації праці є синхронізація окремих ділянок виробництва, що дозволяє забезпечити безперервність і ритмічність технологічного процесу. Водночас при нераціональному проектуванні та організації конвеєрної роботи вона може супроводжуватися низкою негативних чинників: монотонністю дій, гіподинамією, тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі, спрощенням операцій та втратою смислового навантаження для працівника, що у підсумку знижує продуктивність і впливає на фізіологічний стан робітників.

Суттєвою їх рисою є система передачі виробу по ходу його обробки від одного робітника до іншого. Найбільш поширеною є транспортерна стрічка. Конвеєрне виробництво — це організація праці, коли об'єкти (деталі, вироби) переміщуються по конвеєру від одного робочого місця до іншого, а кожен працівник виконує окрему, вузькоспеціалізовану операцію. Таку систему вперше масово запровадив Генрі Форд на автомобільних заводах. Синхронність роботи пов'язана з поняттям *«такт роботи конвеєра»* — *це той час, що дається працівнику для виконання чергової операції, і він є мірою монотонності роботи*. Чим менший цей інтервал, тим монотонність робота, і тим простіший і більш автоматизований зміст операції. Негативними наслідками для здоров'я можуть бути хронічна втома, перевтома, підвищений ризик розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату (остеохондроз, тунельні синдроми), психоемоційне виснаження через відсутність варіативності роботи, зростання ризику нещасних випадків через втрату концентрації. Монотонність і жорсткий ритм не можуть підтримуватися

тривалий час, так як працездатність людини змінюється, а отже, необхідними є зміна ритму роботи та укрупнення операцій там, де допущена надмірна подрібненість. Потрібна раціоналізація робочих місць: ергономічне обладнання, правильне розташування інструментів; введення мікропауз кожні 1–2 години для активного відпочинку; чергування операцій (ротація), щоб зменшити монотонність, контроль темпу конвеєра з урахуванням можливостей працівників.

Форми праці з дистанційним керуванням виникли в процесі автоматизації виробництва. Це види трудової діяльності, в яких працівник керує технологічними процесами, об'єктами або механізмами на відстані, не вступаючи з ними в безпосередній фізичний контакт. Управління здійснюється за допомогою панелей керування, джойстиків, пультів, комп'ютерних систем тощо.

Пульти потребують частих активних дій людини. Безперервна увага отримує розрядку в діях і мовно-рухових актах. Людина – оперативна ланка в системі управління (кранівник, шофер, тракторист роботи, оператор дрона).

Пульти потребують нечастих дій людини. Працівник перебуває переважно в стані готовності. Предмет праці зникає з поля зору працівника, замінюється закодованими сигналами. Просте (наприклад, стрілка манометра) і складне кодування (диспетчер на виробництві, транспорті).

При дистанційному або автоматизованому управлінні виробничим процесом усі події та операції реєструються електронними приладами, кодуються і у вигляді сигналів надходять на пульти управління. Там оператор сприймає, аналізує отриману інформацію, приймає рішення та передає відповідні команди через органи управління, такі як важелі, кнопки чи тумблери. З фізіологічного погляду робота операторів відзначається монотонністю, високим нервово-емоційним напруженням, гіподинамією та постійним навантаженням на сенсорні аналізатори (табл. 4.6.). Вона вимагає значних ресурсів уваги, пам'яті, швидкості сприймання та обробки інформації. Ступінь прояву цих несприятливих факторів залежить від форми організації

дистанційного управління, ефективності системи сигналізації та управління, а також від технічних характеристик електронного обладнання, що використовується.

Удосконалення форм дистанційного управління спрямоване на мінімізацію участі людини як оперативної ланки шляхом впровадження систем саморегуляції та робототехнічних засобів. У стандартних умовах оператор залучається до процесу лише у виняткових випадках, коли необхідно усунути несправності або внести корективи в роботу окремих етапів технологічного процесу. Такий підхід дозволяє значно знизити фізіологічне та психічне навантаження на працівника, підвищити безпеку виробництва та забезпечити стабільність роботи автоматизованих систем.

Табл. 4.6.

Основні психофізіологічні характеристики роботи диспетчера

Параметр	Особливості
Характер праці	Розумова, сенсомоторна, з високою концентрацією уваги
Тривалість активності	Робота може бути тривалою, але з низькою м'язовою активністю
Вимоги до уваги	Постійна, стійка увага, переключення та контроль кількох каналів інформації
Тип навантаження	Психоемоційне та зорове; можливе сенсорне перевантаження
Темп роботи	Нерівномірний — чергуються фази очікування і миттєвої реакції
Оперативний спокій	Часто присутній як фаза готовності до дії

Можливі негативні наслідки: нервово-психічне перевантаження, синдром "вигорання", зорове стомлення, порушення сну і біоритмів (особливо при роботі в нічну зміну), м'язова гіподинамія, високий ризик помилок у разі втоми або тривалого очікування.

Рекомендації для профілактики стомлення: раціональна організація робочого місця (ергономіка), регулярні мікропаузи для зниження напруги, чергування видів діяльності (наприклад, моніторинг → короткий аналіз → запис), тренування уваги, пам'яті, сенсомоторних реакцій, створення

оптимального мікроклімату, освітлення, відсутність шуму, психологічна підтримка персоналу.

До **інтелектуальних професій** належать як спеціалісти сфери матеріального виробництва (інженерно-технічні працівники, обліковці тощо), так і працівники поза виробництвом — у науці, мистецтві та сфері прикладних знань. Розумову працю відзначають низькі енергетичні витрати (1,91–1,96 ккал/хв), мінімальна м'язова активність та, як правило, відсутність чіткого обмеження у часі робочого стану. Вона характеризується складністю та мінливістю програм дій, обробкою великого обсягу інформації та підвищеними вимогами до уваги, пам'яті й емоційної сфери. Основне навантаження припадає на мозок, особливо на кору великих півкуль головного мозку. Під час розумової праці активно задіяні різні психічні процеси: сприймання інформації, аналіз і порівняння, прийняття рішень, планування дій, концентрація уваги, запам'ятовування та відтворення знань, а також регуляція емоційних реакцій і мотивації. Супроводжується високим емоційним напруженням, відповідальністю, іноді — стресовими факторами. Праця часто статична, із тривалим сидінням, незначними рухами (наприклад, робота з комп'ютером). **Основними негативними характеристиками** інтелектуальної праці є підвищене нервово-емоційне напруження, гіподинамія, перевантаження сенсорних аналізаторів та психічних процесів. Такі фактори можуть призводити до зниження працездатності, появи стомлюваності, зниження концентрації уваги та ефективності розумової діяльності, а при тривалому впливі — до професійного стресу та порушень здоров'я. **Заходами фізіологічної підтримки** можуть бути: раціональна організація праці (робоче місце, освітлення, положення тіла); регламентовані перерви кожні 1,5–2 години; активний відпочинок (руханка, свіже повітря); психологічне розвантаження (релаксація, зміна виду діяльності); раціон харчування — стабільний рівень глюкози, відсутність перевантаження.

Всередині розумових форм праці можлива класифікація за рівнем складності яка варіює від постійних програм дій, яким притаманна стереотипність (наприклад, телефоністка, обліковці) до змінних програм дій (формування нових програм з елементами стереотипності, творчість). Наприклад, талановитий вчений, талановитий конструктор. Не обов'язково лише творчі так звані спеціальності. Будь-який дослідник, який на своєму місці робочому проявляє творчість — це є нова програма дій. Може виникнути питання — що краще: стереотипність чи творчість, креативність? Потрібний баланс і того і іншого. Звичайно, коли на робочому місці нічого нового не відбувається, весь час одне й те саме, то це може викликати навіть депресію у людини. Принаймні, знижується цікавість до такої роботи. А з іншого боку, якщо на робочому місці весь час змінюються правила роботи, виникає напруга, пов'язана з тим, що весь час щось нове потрібно робити, то це напружує мозок людини, викликає знервованість, втому. Тому добре, коли є баланс одного і іншого. Потрібні елементи стереотипності в трудовій діяльності, потрібні і елементи креативності. Принаймні, такі умови, які б вимагали створення нових програм дій.

Фізіологічні особливості творчих професій. Творчі професії — це вид розумової праці, що вимагає високої активності центральної нервової системи, емоційної залученості, нестандартного мислення та індивідуального підходу. Прикладами є художники, музиканти, письменники, дизайнери, актори, архітектори, науковці, інженери-розробники. Робота переважно розумова, з елементами емоційної, сенсорної і, у деяких випадках, фізичної активності (наприклад, у художника або музиканта). Має нерегламентований характер: натхнення, ідеї та активна діяльність часто не вписуються у стандартний робочий графік.

Особливості нервової діяльності полягають в тому, що до роботи залучена переважно діяльність кори великих півкуль, особливо лобових часток, які відповідають за творчість, уяву, планування, оцінку новизни. Висока активність асоціативних зон мозку полягає у створенні нових зв'язків

між вже наявними знаннями. Вища нервова діяльність характеризується підвищеною емоційною чутливістю, швидкою зміною збудження й гальмування, схильністю до інтроверсії або глибокої зосередженості.

У митців підвищена сенсорна чутливість (до кольору, звуку, простору). Високий ризик сенсорного перенапруження, особливо при роботі за екраном, з музикою, деталями. Психоемоційне навантаження проявляється в інтенсивній емоційній роботі, глибокому зануренні у процес. Часто спостерігається психоемоційне виснаження, творчі кризи, невдоволення собою. Робота характеризується нерівномірністю працездатності (спалахи активності та періоди апатії).

Режим праці часто нерегулярний, нестабільний, залежить від натхнення. Може порушувати сон, харчування, циркадні ритми. Часто виникає гіподинамія через тривале сидіння (у письменників, художників, дизайнерів). Втома не завжди проявляється фізично — частіше у вигляді зниження креативності, відчуття “спустошення”, порушення сну, психоемоційної нестабільності

Позитивні сторони (при правильній організації праці) – високий рівень задоволення від роботи, мотивація до самореалізації, позитивний вплив на психічне здоров'я при балансі творчості та відпочинку.

Профілактика перевантаження – потрібно дотримуватись режиму праці й відпочинку, попри гнучкий графік, мати достатню фізичну активність (прогулянки, зарядка), психоемоційну розрядку (техніки релаксації, переключення діяльності). Також важливе чергування творчої та рутинної роботи

Творча праця — це унікальне поєднання когнітивного навантаження, емоційної глибини та сенсорної чутливості. Її фізіологічна особливість — велика індивідуальна варіативність реакцій і потреба у гнучкому підході до організації праці та відновлення.

Узагальнений опис основних типів і форм праці представлено в табл. 4.7.-4.8.

Табл. 4.7.

Узагальнені характеристики основних типів (фізична, розумова) і форм (механізована, автоматизована, конвеєрна) праці

Критерій	Фізична праця	Розумова праця	Механізована праця	Автоматизована праця	Конвеєрна праця
Основне навантаження	М'язова система, серцево-судинна, дихальна	Нервова система, сенсорні органи, психоемоційна сфера	Помірне м'язове + сенсорне	Сенсорна, контрольна	Сенсомоторна, увага
Рівень енергозатрат	Високий (до 3500–4500 ккал/добу)	Помірний (до 2500–2800 ккал/добу)	Знижений (2700–3200 ккал)	Низький (2200–2700 ккал)	Середній (2800–3200 ккал)
Характер роботи	Динамічний, ритмічний або монотонний	Сидяча, нерухома поза, напруження зору та уваги	Чергування етапів роботи і пауз	Моніторинг, контроль, рідко втручання	Повторювані операції у сталому ритмі
Напруження аналізаторів	Пропріорецептори, зоровий контроль	Зоровий, слуховий, інтелектуальний	Зоровий, моторний	Зоровий, слуховий	Зоровий, тактильний, моторний
Небезпека перевантаження	М'язова втома, порушення опорно-рухового апарата, перегрів	Психоемоційне виснаження, синдром "вигорання"	Психофізіологічна монотонія	Висока психоемоційна напруга	Високе сенсомоторне навантаження
Необхідність активного відпочинку	Висока — для розвантаження м'язів	Висока — для перемикавання уваги, фізичного розвантаження	Помірна	Висока	Висока
Ризик порушень здоров'я	Травми, варикоз, серцево-судинні перевантаження	Психоневрози, погіршення зору, гіподинамія	Порушення постави, нервове виснаження	Стрес, зниження уваги, втрата мотивації	Хронічна втома, стрес через ритм

Фізична праця – вимагає розвиненого опорно-рухового апарату, адаптації серцево-судинної системи. Небезпечна при відсутності адекватного відпочинку. Домінують м'язові навантаження, часто пов'язана з ризиком травм.

Розумова праця – дає менші фізичні навантаження, але несе серйозне психоемоційне напруження, вимагає інтенсивної роботи мозку та потребує чіткої гігієни праці.

Творча праця передбачає інтелектуальну свободу, але супроводжується емоційною напругою та потребує психологічної підтримки. Має емоційне та інтелектуальне навантаження, менш регламентована.

Табл. 4.8.

Узагальнені характеристики основних типів (фізична, розумова) і форм (операторська, творча) праці

Параметр / Вид праці	Фізична	Розумова	Операторська (дистанційне керування)	Творча
Тип навантаження	М'язова	Психічна, інтелектуальна	Сенсомоторна, психоемоційна	Психоемоційна, інтелектуальна
Вимоги до ЦНС	Координація рухів	Концентрація, пам'ять	Увага, швидкість реакції	Уява, мислення, натхнення
Зорове навантаження	Низьке – середнє	Високе	Дуже високе	Середнє – високе
М'язове навантаження	Високе	Низьке	Низьке (локальне)	Мінімальне
Темп і ритм праці	Змінний	Залежить від завдання	Жорстко регламентований зовнішнім ритмом	Нерівномірний, індивідуальний
Оперативний спокій	Майже відсутній	Можливий	Часто присутній	Наявний, але гнучкий
Монотонність	Помірна	Варіюється	Висока	Низька
Основні ризики	Травматизм, перенавантаження	Перевтома, стрес	Вигорання, помилки, втома очей	Психоемоційне виснаження
Профілактика стомлення	Перерви, зміна навантаження	Чергування видів діяльності	Мікропаузи, тренінги уваги	Творчі паузи, емоційне розвантаження

Механізована праця – частково знижує фізичні навантаження, але часто викликає одноманітність і втрату залучення.

Автоматизована праця – зменшує фізичну втому, але підвищує напругу уваги, викликає ризик емоційного вигорання.

Операторська праця, зокрема дистанційне керування, поєднує сенсомоторні та когнітивні навантаження, характеризується високим рівнем зорової напруги, часто відбувається в умовах оперативного спокою.

Конвеєрна праця – має високий рівень монотонності та сенсомоторної втоми; потребує чіткої організації відпочинку та ротації завдань.

Фізіологічний підхід до праці дозволяє оптимізувати її умови, підвищити ефективність, запобігти перевтомі та професійним захворюванням. Важливо враховувати тип і форму праці при розробці графіків, тривалості змін, організації відпочинку. Особливу увагу слід приділяти профілактиці втоми, організації мікропауз, психогігієнічним заходам.

Список літератури до теми «Види і форми праці»

1. Гандзюк М.П., Желібо Е.П., Халімовський Л.О. Основи охорони праці: Підруч. Для студ вищих навч. закладів – К.: Каравела.–2005.
2. Гігієна праці: Підручник /А.М.Шевченко, О.П.Яворовський, Г.О.Гончарук та ін.: За ред.проф. А.М.Шевченка. – К., Інфотекс, 2000.- С. 26-91.
3. Крушельницька Я. В. Фізіологія і психологія праці: Підручник. — К.: КНЕУ, 2003. —367 с.
4. Луць Ю.П., Бакуновський О.М. Лук'янцева Г.В., Куценко Т.В., Федорчук С.В., Точність реакції на рухомий об'єкт та варіабельність серцевого ритму кіберспортсменів. Вісник Черкаського університету: Серія Біологічні науки. № 1 (2024). – С. 93-111. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-93-111
5. Макаренко М.В., Лизогуб В.С. Онтогенез психофізіологічних функцій людини. - Черкаси: Вертикаль, 2011.

6. Оцінювання психофізіологічних станів у спорті: монографія /Коробейніков Г., Приступа Є., Коробейнікова Л., Бріскін Ю. – Л. : ЛДУФК, 2013. – 312 с.

7. Yukhymenko, L., & Makarchuk, M. (2018). The evaluation of the functional system of "brain-heart" during the processing of information in students by the method of differential scales. ScienceRise: Biological Science, 0(4(13), 12–19. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.140857>

Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Види і форми праці»

1. Який рівень енергозатрат характерний для сільськогосподарської праці?

- А) 1800–2200 ккал/доба
- Б) 2200–2800 ккал/доба
- В) 3200–4500 ккал/доба
- Г) Менше 1800 ккал/доба

2. Який тип м'язової діяльності переважає при сільськогосподарській праці?

- А) Переважно ізометричний
- Б) Динамічний з елементами статичного навантаження
- В) Лише статичний
- Г) Переважно пасивний

3. Який середній рівень енергозатрат у військовослужбовців під час активних дій?

- А) 1800–2200 ккал/доба
- Б) 2500–3000 ккал/доба
- В) 3000–3500 ккал/доба
- Г) 4000–6000 ккал/доба

4. Що є прикладом статичної праці?

- А. Робота кур'єра
- Б. Робота хірурга під час операції
- В. Плавання
- Г. Прибирання приміщення

5. Хто з працівників найімовірніше виконує динамічну працю?

- А. Диспетчер
- Б. Хірург
- В. Кур'єр
- Г. Токар на ЧПУ

6. Яка форма праці вимагає найбільшої сенсорної уваги?

- А. Ручна
- Б. Автоматизована

- В. Механізована
- Г. Статична

7. Яка форма праці характеризується постійним повторенням однотипних дій у фіксованому ритмі?

- А. Ручна
- Б. Автоматизована
- В. Конвеєрна
- Г. Інтелектуальна

8. Який тип втоми найчастіше виникає при ручній праці?

- А. Розумова втома
- Б. Локальна м'язова втома
- В. Втома слухового аналізатора
- Г. Загальна гіпоксія мозку

9. При якій формі праці витрати енергії є найменшими?

- А. Автоматизована
- Б. Ручна
- В. Змішана
- Г. Механізована

10. Що з наведеного є прикладом змішаної праці?

- А. Сон
- Б. Водіння автомобіля
- В. Робота програміста
- Г. Підйом вантажів

Відповіді

1 (В), 2(Б), 3(Г), 4 (Б), 5(В), 6(Б), 7(В), 8(Б), 9(А), 10 (Б).

5. ФАЗИ ТРУДОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Працездатність — це здатність людини виконувати певну діяльність із необхідною ефективністю, якістю та витривалістю. Вона є динамічним показником, що змінюється впродовж робочого періоду. Під час безперервної праці в межах зміни або робочого циклу, причому незалежно від типу і форми праці, виділяють три основні фази працездатності: фаза впрацювання (входження в роботу), фаза стійкої високої працездатності, фаза зниження працездатності (втома) (рис. 5.1.).

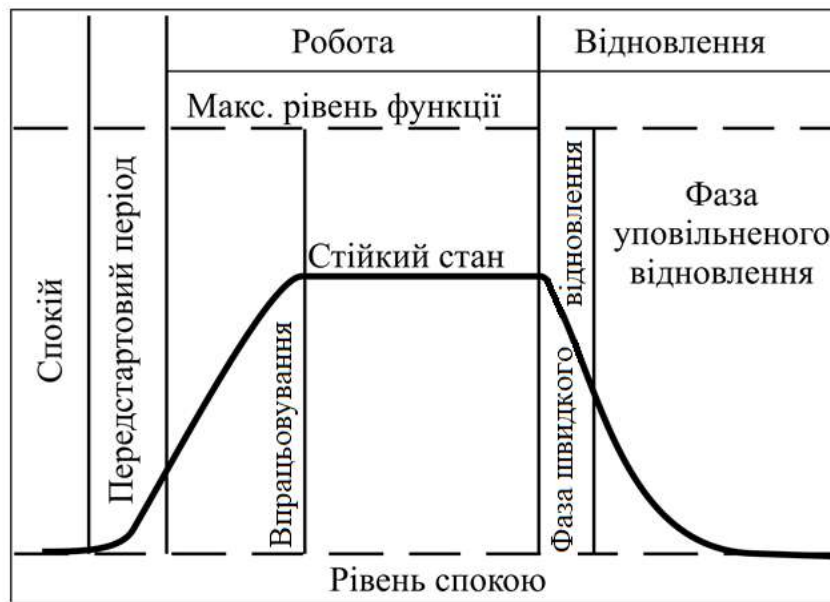


Рис. 5.1. Схема зміни фізіологічних функцій перед початком, під час роботи і після ритмічної роботи середньої аеробної потужності

Працездатність має циклічний характер (рис. 5.2.).

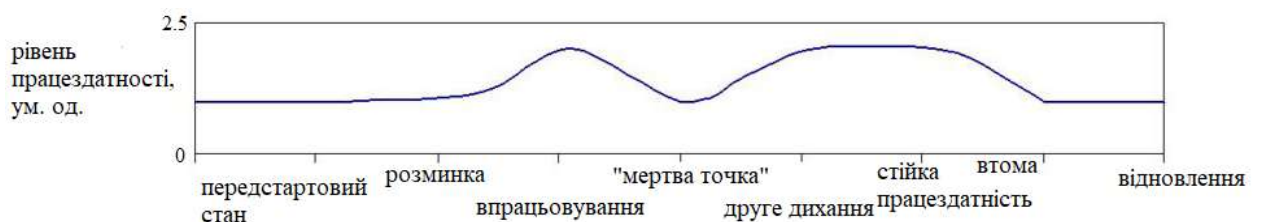


Рис. 5.2. Фази працездатності

Знання фаз допомагає оптимізувати розподіл навантаження, уникати перевтоми. Правильне чергування праці та відпочинку дозволяє зберігати високу ефективність праці (табл.5.1.).

Табл. 5.1.

Практичне значення фаз працездатності

Застосування	Приклад
Організація праці	Планування важких завдань на період стійкої працездатності
Розробка змінного графіку	Передбачення часу для розминки та відпочинку
Оптимізація навчального процесу	Активні форми роботи в середині заняття
Спорт	Розминка перед змаганням = фаза впрацювання

5.1. Передстартовий, передробочий стан.

Протягом останніх годин перед роботою в організмі виникають і поступово посилюється зміни — це так званий період передстартовий, або передробочий стан. Останні хвилини перед стартом називаються «стартовий стан», під час якого зміни особливо сильні. Перед великими і відповідальними змаганнями стан змінюється у спортсмена вже за декілька днів, а то і тижнів, і він називається «стан перед змаганням». Організм як би переходить на робочий рівень ще до початку діяльності і зазвичай це сприяє успішному виконанню роботи, оскільки підвищується активність і збудливість організму.

Передстартові зміни функцій організму за своєю природою є умовно-рефлекторними реакціями, які готують організм до майбутньої роботи та прискорюють процес адаптації до навантаження. Ці зміни зумовлені активізацією симпатoadреналової системи, про що свідчить підвищення концентрації норадреналіну та адреналіну в крові ще до початку виконання фізичної чи розумової діяльності. Такі реакції забезпечують мобілізацію енергетичних ресурсів і підвищення працездатності організму на старті роботи.

Інтенсивність передстартових змін.

Передстартові зміни в лабораторних умовах менші, ніж в реальних. У кваліфікованих спортсменів зміни більші, ніж у початківців, але вони краще приурочені до початку змагань. Рівень змін різний перед виконанням різних фізичних вправ. Наприклад, ЧСС тим вища, чим коротша дистанція бігу. Відмінності відображають більшу чи меншу специфічність передстартових зсувів, які відповідають їх зсувам під час роботи. Передстартові зміни виражені і у видах спорту з мінімальним м'язовим компонентом (наприклад, шахи). Те ж саме спостерігається і у працівників розумової сфери діяльності. Зміни під час впрацювання можуть бути більшими, ніж під час самої діяльності.

Механізми передстартових змін

Основний механізм – збудження нервової системи і поступання в кров гормонів, перш за все гормонів наднирників. «Випереджальне відображення дійсності» за П.К. Анохіним, «попереджувальна іннервація» за М.І. Виноградовим (див. підрозділ 1.2.). У робітника вона проявляється при безпосередньому очікуванні трудової діяльності, навіть звичної, що виконується щодня. Фізіологічна сутність цього передробочого стану виявляється у підготовці організму до дії, у створенні найкращих, найвигідніших (оптимальних) умов наступної активності. Істотно важливо, щоб виразність «попереджувальної іннервації» найбільш повно відповідала обсягу та характеру майбутньої діяльності, оскільки її недостатність ускладнює входження в роботу, а надмірність веде до передчасного стомлення.

Реакція людського організму у передбаченні незнайомої, дуже відповідальної та небезпечної діяльності названа «рефлексом насторожування чи підготовки». Відрізняється вона тим, що попередня фізіологічна підготовка організму до дії супроводжується одночасними проявами пасивно-оборонного рефлексу, спричиненого усвідомленням небезпеки. Поряд із загальним підвищенням активності нервової діяльності в корі мозку посилюються і

гальмівні процеси. Співвідношення цих процесів обумовлене індивідуальними особливостями людини та характером очікуваних подій. Емоційні стани, що супроводжують очікування небезпечної діяльності, дуже різноманітні, починаючи від легких ступенів збудження з переживанням невпевненості, сумніву чи тривоги, аж до вираженої загальмованості, пригніченості та страху.

До прикладу, обстежуючи парашутистів на старті, дослідники виявили наступні найбільш типові тимчасові зміни в нервовій системі та в роботі внутрішніх органів:

1. Порушення координації рухів та статичної рівноваги з помітним підвищенням сухожильних рефлексів. Поява деяких незвичайних рефлексів, викликаних зменшенням гальмівного впливу кори головного мозку на підкіркові відділи.

2. Зміна чутливості (найчастіше підвищення), з одного боку, та схильності до утворення різних оманливих сприйнятів – з іншого.

3. Ряд вегетативних реакцій: зміни ритму та характеру серцебиття, судиннорухових та секреторних проявів (розширені зіниці, нудота, часті позиви на сечовипускання та ін.).

Умовно-рефлекторний компонент в механізмах передстартових змін. В дослідженнях передстартовий стан припинявся після повідомлення про відміну участі спортсмена у змаганні. В роботі з незначним м'язовим компонентом передстартові реакції розгортаються приблизно так само, як і перед м'язовою роботою, тобто ефекторна частина (вплив на еферентну частину автономної нервової системи) приблизно однакова в обох випадках.

Компонент орієнтувального рефлексу в механізмі передстартових змін. Орієнтувальний рефлекс наявний в період формування кожного умовно-рефлекторного акту. В передстартовому стані він теж часто виникає.

Значення емоцій, пов'язаних з майбутньою діяльністю людини.

В передстартовому стані емоційне збудження проявляється іноді навіть сильніше, ніж під час наступної діяльності. Якщо при цьому залучення

м'язового компоненту обмежене, то не настає розрядка емоційного напруження, і воно довго не припиняється. Але при цьому посилюються автономні компоненти через їх індукційні відношення з руховими.

Значення емоційного збудження.

Більше збудження часто сприяє підвищенню працездатності. (у кваліфікованих спортсменів). У новачків і не кваліфікованих спортсменів сильне емоційне збудження може призвести до зниження працездатності.

Залежно від характеру змін фізіологічних функцій та емоційного стану працівника або спортсмена виділяють три типи передробочих (передстартових) станів:

- **Стан готовності** характеризується помірним емоційним збудженням, що забезпечує оптимальну мобілізацію організму та високий спортивний або трудовий результат.
- **Стартова лихоманка** супроводжується підвищеним збудженням центральної нервової системи; у цьому стані працездатність може як зростати, так і знижуватися в залежності від індивідуальних особливостей організму.
- **Стартова апатія** відзначається переважанням гальмівних процесів у ЦНС, що зазвичай призводить до зниження ефективності діяльності та погіршення результатів.

Коли результати погіршуються, незважаючи на високий рівень окремих показників, це означає, що координація функцій уже порушується. Збудження, викликане умовами змагань, частіше сприяє покращенню результатів у більш тривалих і більш простих за координацією видах вправ. У підлітків і жінок частіше, ніж у чоловіків, спостерігається погіршення результатів змагань внаслідок надмірного емоційного збудження.

Заходи зміни рівня збудження

- Поступове привчання до умов змагань.
- Організація поведінки спортсмена в останні дні і години перед змаганнями.

- Розминка (якщо вправи схожі – збудження зростатиме, якщо ні - знижуватиметься).
- Масаж.
- Стереотипний розпорядок дня. Рекордні результати досягаються тільки при врівноваженому стані нервової системи.

В трудовій діяльності.

Важливу роль відіграє емоційний фон, створення якого є завданнями інженерної психології і промислової естетики. Враховуються емоційні реакції, якщо їх інтенсивність і вираженість відхиляються від звичайного рівня. При обмеженні зовнішніх подразників робота може стати монотонною, емоційний фон буде знижений. При особливо відповідальній роботі емоційний фон напружений. Реакції людини можуть бути навіть на межі норми і патології.

Зміни стану організму під час розминки. Розминка (або виробнича гімнастика) — це комплекс загальних і спеціальних вправ, що виконуються перед тренуванням, змаганням або фізичною працею і сприяють прискоренню адаптаційних процесів та підвищенню працездатності організму.

Фізіологічні ефекти розминки включають:

- **Підвищення збудливості і активності** сенсорних, моторних та вегетативних центрів;
- **Активізацію ендокринної системи**, що забезпечує ефективну регуляцію вегетативних і моторних функцій під час подальшої роботи;
- **Підвищення температури тіла**, особливо м'язів, які виконують роботу, що приводить до:
 - збільшення активності ферментів і швидкості біохімічних реакцій у м'язових волокнах;
 - підвищення збудливості та лабільності м'язів;
 - збільшення швидкості скорочення м'язів.

Розминка значно покращує роботу систем, що забезпечують транспорт кисню до м'язів, які працюють. В результаті підвищується легенева

вентиляція, збільшується швидкість дифузії кисню з альвеол у кров, зростає хвилиний об'єм крові (ХОК), розширюються артеріальні судини скелетних м'язів, посилюється венозне повернення, а підвищення температури тіла стимулює інтенсивність дисоціації оксигемоглобіну у тканинах, що поліпшує кисневу забезпеченість м'язів.

Розминка буває **загальною** та **спеціальною**.

- **Загальна розминка** включає вправи, які підвищують збудливість центральної нервової системи, температуру тіла та активують систему транспорту кисню.
- **Спеціальна розминка** за структурою максимально наближена до характеру майбутньої діяльності і готує організм до конкретних фізичних або професійних навантажень.

5.2. Основний робочий період

5.2.1. Впрацьовування

Поступове нарощування працездатності на початку виконання роботи або спортивних вправ називають впрацьовуванням. У цей період відбувається адаптація нейрогуморальних механізмів, які регулюють рухи, формуються стереотипи рухових дій, а вегетативні функції перебудовуються під підвищене навантаження. Водночас покращується координація рухів і підвищується ефективність використання енергії, що проявляється у зменшенні витрат організму на виконання тієї самої роботи або вправ.

Швидкість активації фізіологічних систем під час впрацьовування різниться, тобто спостерігається гетерохронізм у налаштуванні окремих функцій організму. Руховий апарат, завдяки високій збудливості та лабільності, швидше пристосовується до нового робочого рівня, ніж вегетативні системи. Наприклад, під час інтенсивного бігу максимальна швидкість руху досягається вже за 5–6 секунд, тоді як розширення артеріальних судин м'язів відбувається

за 60–90 секунд, а частота серцевих скорочень (ЧСС), систолічний об'єм (СО) та хвилинний об'єм крові (ХОК) досягають максимуму лише через 1,5–2 хвилини. Навіть при роботі на максимальній аеробній потужності необхідний рівень споживання кисню формується лише через 2–3 хвилини. Через поступове збільшення транспорту кисню на початку роботи м'язові скорочення відбуваються переважно в анаеробних умовах (див. підрозділи 3.3., 3.4.). Різницю між потребою організму в кисні під час впрацювання та його фактичним надходженням називають кисневим дефіцитом (рис. 5.3.). При легких навантаженнях цей дефіцит компенсується ще під час роботи, тоді як під час субмаксимальних і максимальних фізичних вправ його ліквідація відбувається після завершення роботи і входить до складу загального кисневого боргу.

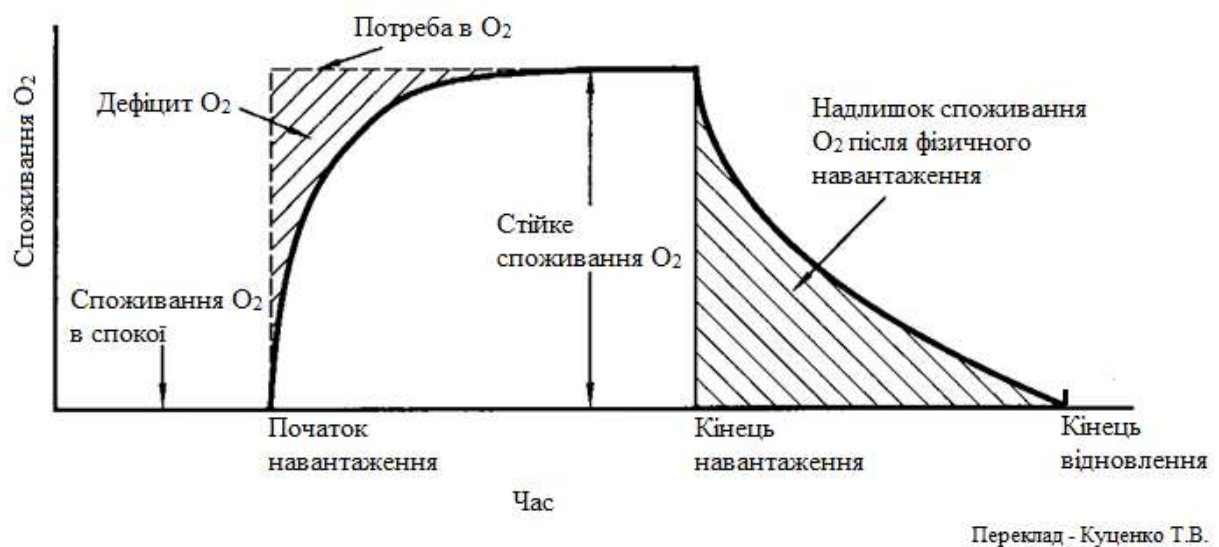


Рис. 5.3. Потреба в кисні під час виконання фізичного навантаження і під час відновлення. Адаптовано за [9].

Спортсмену при бігу на стометрівку потрібно 7 літрів кисню, а встигає він вдихнути лише 0,3-0,5 літра. Незважаючи на частоту дихання, що збільшилася, почастишання серцевої діяльності, організм за такий короткий час забезпечити потребу в кисні не може і тому перемикається на безкисневе

дихання (анаеробне), працюючи в "борг", який відшкодовується через якийсь час після припинення навантаження задишкою та серцебиттям.

Це цікаво. Під час 100-метрового спринту (близько 10 с) деякі елітні спринтери вирішують мінімізувати або навіть тимчасово затримувати дихання під час забігу з кількох причин: **Максимальна вихідна потужність:** Дихання може вносити незначні перерви в ритм і час спринту. Затримуючи дихання, бігуни можуть підтримувати більш обтічний і потужний рух, що дозволяє їм зосередитися на своїй вибуховій швидкості без відволікання на координацію дихання. **Використання кисню:** Під час коротких, інтенсивних зусиль, таких як 100-метровий спринт, організм в основному покладається на анаеробні енергетичні системи, які не потребують кисню. Бігуни можуть мати достатньо накопиченої енергії в м'язах, щоб підтримувати зусилля без негайної потреби в споживанні кисню. **Зменшення опору:** Затримка дихання може привести до більш компактного та аеродинамічного положення тіла. Це може зменшити опір повітря, дозволяючи спринтеру рухатися ефективніше в повітрі. **Ментальна зосередженість:** Зосередження на підтримці міцного положення корпусу та тіла без відволікання на дихання може підвищити концентрацію та ясність розуму, що є вирішальним у спринті з високими ставками. Хоча не всі спринтери обирають цей підхід, ті, хто його обирає, можуть виявити, що він допомагає їм досягти найкращих результатів у такому короткому та інтенсивному забігу. Однак важливо зазначити, що контроль дихання різниться у різних спортсменів, і деякі все ще можуть включати в свою техніку спринтерського бігу моделі дихання, які їм підходять [7].

Швидкість зміни фізіологічних функцій під час впрацювання залежить від **інтенсивності або потужності виконуваної роботи:** чим вищі навантаження, тим швидше активізуються серцево-судинна та дихальна системи. Тривалість фази впрацювання коливається від кількох хвилин до 20–30 хвилин залежно від типу діяльності. За однакових умов і потужності

вправ впрацювання відбувається швидше у людей з **вищим рівнем тренуваності**, оскільки їх організм ефективніше адаптується до навантаження. Під час цієї фази темп виконання роботи повільніший, продуктивність нижча, тому важливо уникати надмірного навантаження на цьому етапі. У людей похилого віку впрацювання сповільнене.

Стан «початкового зусилля»

Стан "початкового зусилля" під час впрацювання - це перший етап адаптації організму до м'язової діяльності, що характеризується динамікою міжцентральної взаємодії у корі мозку. У цей період спостерігаються явища, що вказують на перебудову нервових та нейрогуморальних механізмів, які керують рухами та вегетативними процесами.

Стан початкового зусилля відображає динаміку міжцентральної взаємодії у корі головного мозку: початок роботи вимагає перебудови нервових центрів, які керують рухами, і це відбивається у змінах у корі мозку.

На початку впрацювання подовжуються латентні періоди реакцій і зменшується сила як умовних, так і безумовних рефлексів. Зміни нормалізуються ще до кінця періоду впрацювання, причому соматичні швидше, ніж вегетативні.

Стан початкового зусилля - це результат сильного домінування збудження в коркових рухових центрах і системах нервових зв'язків моторної кори. Відбувається подолання інерції спокою і зміна позно-тонічної діяльності скелетних м'язів фазно-тетанічною, формування стереотипу робочих рухів. Початкове зусилля спостерігається не лише при першому виконанні незвичної роботи.

Гальмування проявляється і під час «спурта» - різкого короткострокового посилення роботи. У спорті спурт - це короткочасне, але різке прискорення, яке використовується у багатьох видах спорту, таких як біг, плавання, велоспорт та інші. Мета спурту - обійти суперника, збільшити відрив або досягти кращого результату на фініші. У боксі спурт - це тактичний

прийом, коли боксер, після періоду пасивних дій, раптово збільшує інтенсивність атаки. Це може бути серія ударів, комбінація рухів, або просто різкий перехід у більш активний стиль. Завданням спурту є застати суперника зненацька, порушити його захист і отримати перевагу.

Отже, для впрацьовування характерні стан початкового зусилля та інертне розгортання вегетативних функцій. Це початковий етап, після якого слідує період стійкої або оптимальної працездатності. У період початкового зусилля можуть спостерігатися певні особливості, пов'язані з розбудовою нервових та нейрогуморальних механізмів. Впрацьовування – це процес адаптації організму до фізичного навантаження, і початкове зусилля – його перша фаза. Таким чином, стан "початкового зусилля" - це важливий етап у процесі впрацьовування, що відображає початкову перебудову організму для виконання м'язової (або розумової) роботи.

Початкове зусилля — це перехідний стан, який виникає на початку праці, коли організм ще не адаптувався до нового рівня навантаження. Цей стан: характеризується тимчасовим зниженням ефективності та координації; супроводжується суб'єктивним відчуттям труднощів, напруження; змінюється фазою впрацьовування і стабілізації функціональних систем (табл. 5.2.).

Табл. 5.2.

Фізіологічні особливості стану початкового зусилля

Компонент	Зміни при початковому зусиллі
Серцево-судинна система	Частота серцевих скорочень зростає, але ще не стабільна
Дихання	Частота дихання підвищується, але дихальний об'єм ще не оптимальний
М'язи	М'язи ще не досягли повного тону, рухи менш точні
Нервова система	Координація ще не налагоджена, зростає психічне напруження
Обмін речовин	Поступове переключення з базального рівня на підвищене споживання енергії

Прояви на поведінковому рівні: уповільнення реакції, низька точність рухів, суб'єктивне відчуття втоми, хоча організм ще не втомлений, бажання припинити роботу або "відпочити" на самому початку.

Тривалість цього стану залежить від типу праці, рівня підготовки, стану здоров'я, емоційного стану. Зазвичай він триває від кількох хвилин до 20–30 хвилин.

Для подолання стану початкового зусилля застосовують низку заходів: розминка/розігрів (фізичний чи розумовий); поступове нарощування навантаження; чітке планування початку роботи (розминкові завдання); мотивація та налаштування на працю; використання активного відпочинку перед початком основного навантаження

Стан початкового зусилля — це нормальний і тимчасовий стан, який потрібно враховувати при організації фізичної або розумової праці. Його грамотне подолання підвищує ефективність праці та зменшує ризик травм, стресу, помилок.

"Мертва точка" у фізіології праці чи спорту — це тимчасовий стан різкого зниження працездатності, який виникає на початку фізичної або інтенсивної м'язової діяльності, особливо при недостатній розминці чи низькій попередній підготовленості організму.

У 1891 році німецький лікар Георг Кольб (George Kolb) вивчав веслярів під час запливу на 2000 метрів, намагаючись з'ясувати особливості так званої «мертвої точки». Він писав: «Наприкінці другої хвилини настає момент, коли людина перестає діяти з максимальною напругою у повсякденному житті... Наслідки задишки дуже помітні, дихання стає глибоким і дуже частим, як і серцева діяльність... Весляр продовжує веслувати, і цей «поріг», як веслярі називають цю видиму невдачу, подолано» [10].

Отже, «мертва точка» — це стан організму, який виникає під час інтенсивного фізичного навантаження, зазвичай через 3–10 хвилин після початку напруженої м'язової роботи. Йому властиві неприємні відчуття: задишка, стискання в грудях, запаморочення, пульсація судин у голові та сильне бажання припинити виконання вправи чи роботи. При тривалій роботі великої, субмаксимальної, іноді помірної (середньої) інтенсивності може спостерігатися особливий стан втоми, що супроводжується різким спадом

працездатності. «Мертва точка» може розглядатися як стан гострого стресу, спричиненого фізичною роботою. Вона викликана невідповідністю між високою потребою організму в кисні та енергії і ще не достатньо активованими механізмами енергозабезпечення та регуляції (рис. 5.4.).



Рис. 5.4. Інфографіка «мертвої точки» та «другого дихання».

Ознаки стану «мертвої точки»: часте поверхневе дихання; великий вентиляційний еквівалент кисню; висока ЧСС; зниження рН крові; значне потовиділення. Цей стан пов'язаний із погіршенням низки психічних функцій: знижується ясність сприйняття, з'являються ілюзії, особливо у сфері м'язово-рухових сприйняття, слабшають пам'ять (особливо процеси відтворення), мислення. Порушується увага: зменшується її обсяг, втрачається здатність розподілу, різко знижується її стійкість. Уповільнюється швидкість реакцій та збільшується кількість помилкових відповідей.

Причина настання «мертвої точки» полягає в тому, що на початку тренувального заняття серцево-судинна система потребує певного часу, щоб вийти на рівень функціонування, достатній для адекватного постачання киснем працюючих м'язів. Якщо початкова інтенсивність занадто висока, виникає невідповідність між потребами м'язів у кисні та здатністю серцево-судинної системи його забезпечити. В результаті з самого початку в м'язах накопичуються продукти розпаду, головним чином молочна кислота, що й викликає неприємні відчуття та зниження працездатності.

Отже, спостерігається затримка включення аеробних процесів: спочатку енергія забезпечується переважно анаеробним гліколізом → накопичення молочної кислоти → зрушення кислотно-лужного балансу. Запізнілою є мобілізація серцево-судинної системи: ЧСС і ударний об'єм ще не досягли оптимальних значень для забезпечення м'язів киснем. Спостерігається невідповідність роботи дихальної системи: вентиляція легень не відповідає зростаючій потребі у газообміні. Психофізіологічний фактор також вносить свій вклад: організм «налаштовується» на робочий ритм, а нервова система ще не оптимізувала регуляцію. ***Щоб уникнути стану «мертвої точки», інтенсивність тренувального заняття слід збільшувати поступово.***

Якщо ж «мертва точка» все-таки настає, її можна подолати за допомогою значних вольових зусиль. При подальшому продовженні фізичної роботи цей стан змінюється відчуттям раптового полегшення, яке проявляється нормалізацією дихання. Цей перехід називають «другим диханням». Поява «другого дихання» свідчить про те, що організм адаптувався до фізичного навантаження і здатний забезпечувати м'язи, які працюють, необхідною енергією.

Показано, що утруднення вдиху («перехоплення дихання»), що спостерігається при виникненні мертвої точки, відбувається внаслідок звуження щілини між голосовими зв'язками, що зменшує об'єм повітря, що проходить при прискореному диханні через цю щілину, і знижує тим самим подразнення рецепторів, розташованих у зв'язках.

Друге дихання (Second wind) – це явище у видах спорту на витривалість, таких як марафони або біг по шосе, коли спортсмен, який задихається і занадто втомився, щоб продовжувати (що відомо як «ударення об стіну»), знаходить сили, щоб продовжувати з максимальними результатами з меншими зусиллями. Відчуття може бути схожим на відчуття «задоволення бігуна», проте найбільш очевидна відмінність полягає в тому, що задоволення бігуна виникає після закінчення забігу.

При м'язових глікогенозах наявна вроджена помилка вуглеводного обміну порушує або утворення, або використання м'язового глікогену. Хвороба Мак-Ардла, або глікогеноз V типу, - це спадкове захворювання, що характеризується непереносимістю фізичного навантаження через порушення розщеплення глікогену в м'язах. Це призводить до швидкої м'язової втоми, болю та судом під час фізичних вправ. Таким чином, людям з м'язовими глікогенозами не потрібно виконувати тривалі фізичні вправи, щоб відчути «ударення об стіну». Натомість ознаки непереносимості фізичних навантажень, такі як неадекватна реакція прискореного серцевого ритму на фізичні навантаження, спостерігаються з самого початку активності, а при деяких м'язових глікогенозах можна досягти другого дихання приблизно через 10 хвилин від початку аеробної активності, такої як ходьба.

У досвідчених спортсменів «ударення об стіну» зазвичай пов'язане з виснаженням запасів глікогену в організмі, а «друге дихання» виникає, коли жирні кислоти стають переважним джерелом енергії. Затримка між «ударенням об стіну» та виникненням «другого дихання» пов'язана з низькою швидкістю, з якою жирні кислоти достатньо виробляють АТФ (енергію); для цього потрібно приблизно 10 хвилин, тоді як м'язовий глікоген включається значно швидше – близько 30 секунд. Деякі вчені вважають, що «друге дихання» є результатом того, що організм знаходить належний баланс кисню для протидії накопиченню молочної кислоти в м'язах. Інші стверджують, що «друге дихання» зумовлене виробленням ендорфінів.

Важке дихання під час фізичних вправ також забезпечує охолодження тіла. Через деякий час вени та капіляри розширюються, і охолодження відбувається більше через шкіру, тому потрібно менше важкого дихання. Підвищення температури шкіри можна відчутти одночасно з появою «другого дихання».

Задokumentовані випадки «другого дихання» сягають щонайменше 100 років тому, коли це вважалося загальноприйнятим фактом фізичних вправ. Це явище стало використовуватися як метафора для продовження з оновленою енергією після точки, яка вважалася розквітом сил, чи то в інших видах спорту, кар'єрі чи житті загалом.

«Друге дихання» - це ознака дуже погано підготовленого організму до навантаження, що відбувається. У добре підготовлених спортсменів ефект «другого дихання» не настає. І саме тому, що вони добре підготовлені. Навпаки, у людей з поганою підготовленістю м'язів до навантаження, що проводиться (зазвичай аеробного характеру), «друге дихання», по суті, є єдиним порятунком для продовження виконання роботи.

Під час роботи з максимальною або субмаксимальною потужністю «друге дихання» може не настати. Одна з причин цього – брак часу: спортсмен закінчує дистанцію раніше, ніж можуть увімкнутися захисні, резервні можливості. Інша причина – велика інтенсивність роботи, яка не дає нервовим центрам перепочинку.

Запобіжні заходи «мертвої точки» пов'язані з усуненням факторів, що її викликають - це підвищення рівня тренуваності, ретельна розминка, правильна розкладка сил на дистанції (занадто швидкий початок, особливо у новачків, може призвести до виникнення «мертвої точки»). На тренуваннях особливу увагу слід звертати на вольове подолання «мертвої точки». Зниження інтенсивності діяльності – це крайня міра, небажана як на змаганнях, так і на тренуваннях. Людина повинна навчитися терпіти гіпоксію та неприємні відчуття, які їй супутні.

«Мертва точка» часто спостерігається у робітників фізичної праці під час початку зміни або у спортсменів під час старту. Важливо планувати розминкові періоди та раціонально організувати працю, щоб уникати перевантаження систем організму на старті роботи. У виробничій ергономіці рекомендують поступовий вхід у робочий режим з легшими завданнями в перші хвилини.

Розминка та заминка (warm-up and cool-down routines) мають вирішальне значення для оптимізації результатів тренувань та запобігання травмам [5]. Розминки готують тіло до фізичної активності, збільшуючи кровоток, підвищуючи температуру м'язів та покращуючи гнучкість, тоді як заминка допомагає тілу поступово повернутися до стану спокою, зменшуючи біль у м'язах та запобігаючи раптовому падінню частоти серцевих скорочень.

Важливість розминки полягає в покращенні продуктивності роботи. Правильна розминка збільшує кровоток до м'язів, забезпечуючи їх більшою кількістю кисню та поживних речовин, що покращує їхню функцію та забезпечує кращу продуктивність. Розминка також веде до профілактики травм, підвищуючи еластичність м'язів та рухливість суглобів, зменшуючи ризик розтягнень, вивихів та інших травм. Розминки активують нейронні шляхи, роблячи рухи плавнішими та ефективнішими, що особливо важливо для видів діяльності, що потребують координації та спритності. Розминка підвищує температуру тіла, що може покращити метаболічну ефективність та підвищити здатність організму використовувати енергію під час фізичних вправ.

Заминка – це завершальний етап тренування, під час якого відбувається поступове зниження інтенсивності фізичного навантаження, відновлення серцевого ритму та розслаблення м'язів. Вона допомагає організму плавно перейти від напруженого стану до спокійного, запобігаючи можливим негативним наслідкам різкого припинення тренування.

Під час заминки відбувається поступове зниження ЧСС, артеріальний тиск поступово повертається до норми, що запобігає запамороченню, легкому

запамороченню та потенційній непритомності, які можуть виникати при різких зупинках навантаження. Вправи для заминки, особливо розтяжка, допомагають розслабити м'язи, зменшити біль у м'язах і сприяють відновленню. Заминка дозволяє організму поступово переходити від підвищеного метаболічного стану до стану спокою, сприяючи загальному відновленню.

Отже, добре сплановані розминка та заминка є важливими компонентами будь-якої програми тренувань, що сприяє підвищенню продуктивності, запобіганню травмам та ефективному відновленню. Пропуск цих фаз може призвести до зниження продуктивності роботи, підвищеного ризику травм та тривалого болю у м'язах.

5.2.2. Стан стійкої працездатності

Після закінчення періоду впрацювання при тривалій аеробній роботі виникає стан стійкої працездатності. В період стійкої працездатності завершений процес формування стереотипу робочих рухів та процес розгортання вегетативних функцій, які забезпечують потреби організму в період його активної діяльності.

Зовні стан стійкої працездатності проявляється в ефективній руховій діяльності, наприклад, в оптимальній силі, швидкості і точності рухів, а також в більш-менш стійкому рівні автономних функцій – величини хвилинного об'єму дихання і споживання кисню, хвилинного об'єму крові (ХОК), рівня терморегуляції та інших фізіологічних функцій. Фаза стійкої високої працездатності триває основну частину робочого періоду. Фізіологічна суть полягає в тому, що організм досягає оптимальної координації роботи фізіологічних систем. Активізуються механізми енергоефективності, стабілізується серцево-судинна і нервова діяльність. Ознаками досягнення стійкого стану є максимальна продуктивність і точність, суб'єктивне відчуття «робочого ритму», найкраща якість виконання завдань. Кора великих півкуль

на основі слідових реакцій попереднього досвіду програмує не лише рухову діяльність людини, але і її автономне забезпечення.

Робоче збудження

В стані стійкої працездатності при тривалій м'язовій роботі спостерігається посилення рефлекторних реакцій внаслідок підвищення збудливості і збудження ЦНС – це так званий стан робочого збудження в період м'язової діяльності.

Цей стан обумовлений низкою факторів:

1. Іррадіацією збудження із рухових центрів.
2. Рефлекторною стимуляцією мозку (через сітчасту формацію) з боку рецепторних полів різних сенсорних систем.
3. Посилення обмінних процесів веде до підсилення впливу метаболітів (при динамічній фізичній роботі посилення автономних реакцій значно більші, ніж при статичній).

Робоче збудження більш виражене:

1. При новій, незвичній роботі.
2. Роботі в умовах емоційного підйому.
3. В ускладненій зовнішній обстановці чи за екстремальних умов.

Розрізняють **справжній та несправжній стійкий стан** фізіологічних функцій під час роботи. **Справжній стійкий стан** характеризується високою узгодженістю роботи рухового апарату та автономних систем, що забезпечують його діяльність. При цьому функції серцево-судинної та дихальної систем не досягають граничних величин, а ресинтез макроергічних фосфорних сполук відбувається переважно за рахунок аеробних окислювальних реакцій. Споживання кисню зазвичай залишається нижче максимально можливого рівня, а накопичення молочної кислоти в м'язах мінімальне, що сприяє збереженню нормального кислотно-лужного балансу в рідких середовищах організму.

При роботі максимальної і субмаксимальної потужності період стійкого стану відсутній, так як під час такого виконання роботи відбувається поступове наростання ЧСС, CO, ХОК і, відповідно, споживання кисню. При **несправжньому стійкому стані** потреба м'язів у кисні перевищує його фактичне надходження: споживання кисню наближається до максимально можливої величини або дорівнює їй, але задовольнити повністю кисневий запит організму не вдається. У результаті поступово формується та наростає кисневий борг. Щоб компенсувати нестачу кисню, збільшуються легенева вентиляція, частота серцевих скорочень (ЧСС) та хвилинний об'єм крові (ХОК), досягаючи максимально можливих величин. Недостатнє забезпечення киснем спричиняє посилення анаеробних процесів у м'язах, що призводить до підвищення концентрації молочної кислоти в м'язах і крові та зсуву рН крові в бік закислення. Таким чином, при несправжньому стійкому стані відносна стабільність фізіологічних функцій підтримується неадекватно: їх рівні не відповідають потребам організму для забезпечення необхідної потужності роботи, а подальше посилення функцій неможливе.

5.3. Фаза зниження працездатності (втома)

Фаза зниження працездатності (втома). Її тривалість залежить від тривалості і характеру роботи. Фізіологічна суть полягає у виснаженні резервів, зниженні збудливості нервових центрів, накопиченні метаболітів, гіпоксії, порушенні координації. Втома — це особливий функціональний стан організму, що тимчасово виникає під впливом тривалої або інтенсивної роботи і призводить до зниження її ефективності. Вона проявляється у зменшенні сили та витривалості м'язів, погіршенні координації рухів, зростанні енергетичних витрат при виконанні тієї ж самої роботи, уповільненні реакцій та зниженні швидкості обробки інформації, погіршенні пам'яті, здатності зосереджувати увагу і перемикати її, а також у ряді інших функціональних порушень, що знижують продуктивність діяльності.

Стан розвитку втоми часто супроводжується дратівливістю або апатією. При цьому у працівника може виникнути відчуття стомленості як суб'єктивне відображення втоми, що виникла об'єктивно. Однак стомленість не завжди відповідає виникненню втоми ні за часом, ні за силою вираження. На цьому етапі важливо організувати відпочинок або зміну виду діяльності.

Втому, поширене явище, що характеризується зниженою фізичною або розумовою працездатністю, можна пояснити різними теоріями. Ці теорії можна загалом розділити на **фізіологічні, психологічні та комбіновані підходи**. Фізіологічні теорії зосереджуються на фізичній реакції організму на навантаження, тоді як психологічні теорії підкреслюють психічні та мотиваційні аспекти втоми. Комбіновані теорії інтегрують як фізіологічні, так і психологічні фактори.

1. Фізіологічні теорії:

- *Периферична втома.* Ця теорія припускає, що втома виникає через зміни в самих м'язах, що працюють: виснаження запасів енергії (наприклад, глікогену), нестача кисню при роботі, накопичення побічних продуктів метаболізму (наприклад, молочної кислоти) або порушення функції м'язових волокон.
- *Центральна втома.* Ця теорія передбачає, що втома виникає в центральній нервовій системі, зокрема в головному та спинному мозку, що може зменшувати сигнали, що надсилаються до м'язів, що призводить до зниження вироблення сили.
- *Серцево-судинна втома.* Ця теорія зосереджується на обмеженнях серцево-судинної системи, таких як зниження кровотоку та доставки кисню до працюючих м'язів, як причині втоми.
- *Гормональні теорії втоми.* Ці теорії припускають, що втома може бути пов'язана з коливаннями гормонів, таких як кортизол та адреналін, які відіграють роль у регуляції енергії та реакції на стрес.

2. Психологічні теорії:

- *Мотиваційні теорії втоми.* Ці теорії підкреслюють роль мотивації та сили волі у відчутті втоми. Вони припускають, що на втому може впливати сприйняття людиною зусиль, її цілі та її бажання продовжувати працювати.
- *Психо-біологічні моделі втоми.* Ці моделі інтегрують фізіологічні та психологічні фактори, що свідчить про те, що втома виникає внаслідок складної взаємодії між фізичним станом організму та психічним станом людини.
- *Теорії виснаження ресурсів.* Ці теорії стверджують, що втома виникає, коли розумові ресурси, такі як увага та когнітивний контроль, виснажуються через тривалі розумові зусилля.
- *Алостатична теорія самоефективності втоми.* Ця теорія зосереджується на сприйнятті людиною своєї здатності регулювати свій фізіологічний та психологічний стан у відповідь на виклики, і на тому, як це сприйняття впливає на її відчуття втоми [6].

3. Комбіновані теорії:

- *Теорія кумулятивного пошкодження від втоми.* Ця теорія припускає, що пошкодження від втоми накопичуються з часом, що зрештою призводить до руйнування. У контексті людської втоми це означає, що повторний вплив стресових факторів може призвести до накопичення втоми та зниження працездатності.
- *Теорії активації втоми.* Ці теорії базуються на концепції ретикулярної формації в стовбурі мозку, яка бере участь у регуляції збудження та пильності. Вони припускають, що втома може бути пов'язана зі змінами в активності цієї системи.

Люди можуть по-різному сприймати втому та реагувати на неї. Такі фактори, як вік, рівень фізичної підготовки, якість сну та загальний стан здоров'я, можуть впливати на схильність людини до втоми. Причини та прояви втоми можуть відрізнятися залежно від конкретного завдання чи ситуації. Розуміння різних теорій втоми може допомогти окремим особам та

організаціям краще керувати втомою та оптимізувати продуктивність. Звертаючи увагу як на фізичні, так і на психологічні фактори, що сприяють втомі, можна розробити ефективні стратегії профілактики та відновлення.

Фактори розвитку втоми

1. В процесі м'язової роботи йде постійна зворотна імпульсація з боку пропріорецепторів м'язів, які працюють, внаслідок чого змінюється функціональний стан нервової системи і рухового апарату.
2. При м'язових скороченнях наявні виражені зміни хімізму м'язової тканини, які додатково посилюють аферентацію до ЦНС.
3. При тривалій роботі продукти метаболізму поступають в кров, що веде до зсувів у внутрішньому середовищі організму, діючи на рецептори судинних рефлексогенних зон і, можливо, безпосередньо на ЦНС.
4. Збудливість нейронів ЦНС змінюється в процесі м'язової роботи, адже цим клітинам притаманна найменша функціональна витривалість і найбільша здатність до виснаження.
5. При м'язовій діяльності міняються функції багатьох систем, в тому числі і залоз внутрішньої секреції, особливо системи гіпофіза і наднирників. Початкове посилення їх діяльності стимулює працездатність, а потім може змінюватись вичерпанням функціональних ресурсів і зниженням можливості продовжувати м'язову роботу.

У контексті фізичних вправ втому найкраще визначити як зменшення вироблення сили під час скорочення м'язів, незважаючи на постійні або зростаючі зусилля. Поповнення АТФ під час інтенсивних фізичних вправ є результатом скоординованої метаболічної реакції, в якій усі енергетичні системи роблять свій внесок у різному ступені залежно від взаємодії між інтенсивністю та тривалістю фізичних вправ, а отже, пропорційного внеску різних рухових одиниць скелетних м'язів. Такі відносні внески також значною мірою визначають участь специфічних метаболічних подій та подій центральної нервової системи, які сприяють втомі [3].

Провідний характер втоми при різних видах м'язової діяльності

Короткотривала робота максимальної інтенсивності. Відбувається падіння функціональної лабільності нервових процесів і розвиток гальмування в ЦНС. Робота м'язів здійснюється в анаеробних умовах, додаткова аферентація діє через хеморецептори м'язів. Виходу продуктів обміну в кров за цей короткий час майже не відбувається і вплив автономних зсувів відсутній. Приклад – короткий спринт.

Робота субмаксимальної інтенсивності. Така робота триває від 45-50 секунд до 3-4 хвилин. Наприклад, спринт.

1. Сильне і більш тривале збудження рухових центрів.
2. Виражена недостатність забезпечення автономних функцій дихання і кровообігу. Спостерігається гіпоксія (недостатнє постачання кисню до тканин організму) і гіпоксемія (зниження парціального тиску (вмісту) кисню у крові)). Кисневий борг стрімко наростає до максимально можливих величин (19-20 л), а організм функціонує в умовах значного накопичення продуктів метаболізму, зокрема молочної кислоти.
3. В скелетних м'язах вже відбуваються виражені зміни фізико-хімічного стану (у бігуна чи пловця м'язи «погано слухаються!»).

Робота великої інтенсивності. Наприклад, довгий спринт. М'язова робота від 10 до 30 хвилин. Під час такої роботи розвивається несправжній стійкий стан. Протягом роботи наростає кисневий борг.

1. Знижується функціональна витривалість клітин ЦНС.
2. Напружуються регуляторні механізми всієї нейроендокринної системи.
3. Знижується скоротлива здатність м'язів, порушується місцевий кровообіг в м'язах.

Отже, при даному виді роботи провідне значення в розвитку втоми має порушення постійності складу внутрішнього середовища організму. Все це відбувається в умовах збільшення ХОК, а серце виступає в якості органу, який лімітує межу подібної м'язової роботи.

Робота помірної інтенсивності. Приклад – наддовгі дистанції в бігу, плаванні, велосипедному і лижному спорі. За такої роботи виникає справжній стан стійкої працездатності, і при цьому відбуваються великі сумарні енергетичні затрати. Кисневий запит становить всього 2,5 -3.5 л/хв, тобто знаходиться в межах забезпечення системами дихання і кровообігу. Однак сумарна потреба м'язів у кисні дуже велика (марафонська дистанція – 500 л, лижний біг на 50 км – 700-800л).

Від спортсменів вимагається підвищений розвиток функціональних систем і їх тонка злагоджена координація.

1. Необхідне досягнення високої стійкості нервових центрів до тривалої дії імпульсів від м'язів, які працюють, за умов зростання гіпоглікемії. Прийом вуглеводів – ефективний спосіб боротьби з втомою. Нормативний рівень цукру в крові натщесерце становить 70-99 мг/дл (3.9-5.5 ммоль/л) для здорової людини, а через 2 години після прийому їжі – менше 140 мг/дл (менше 7.8 ммоль/л). Рівень глюкози в крові між 70–180 мг/дл (3,9–10 ммоль/л) зазвичай вважається достатнім для фізичної активності. Ось приклад моніторингу рівня глюкози в крові спортсменів під час ультрамарафону на 160 км [8]. Середня концентрація глюкози відрізнялася від початку до кінця забігу (від $104 \pm 15,0$ до $164 \pm 30,5$ SD мг/дл). Загальна кількість споживання вуглеводів під час забігу коливалася від 0,27 до 1,14 г/кг/год. Загальні енергетичні витрати ультрамарафону на 160 км сягають близько 13000 ккал.

2. Виснаження функції нейроендокринної системи.

3. Порушення терморегуляції організму внаслідок перегріву.

Значення втоми

Загальний закон розвитку втоми при різних видах діяльності: при різних формах і характері м'язової роботи людини процес втоми розвивається по-різному, тобто механізм розвитку втоми завжди конкретний для даних умов м'язової діяльності.

Втома – особливий фізіологічний стан людини, який проявляється в дискоординації функцій організму, що працює, і в тимчасовому зниженні його працездатності, які настають в результаті м'язової діяльності.

Біологічне значення втоми – розвиток гальмування, захист від перенапруження і виснаження. **Без втоми не буде і тренування, оскільки організм під час відновлення компенсує затрачені ресурси з надлишком.**

Виділяють 2 фази втоми:

1. Прихована втома, яку можна подолати. Зовні ефективність роботи не знижується.
2. Нездоланна, «явна» втома. Зовні ефект роботи помітно знижується.

Втому, викликану руховим або когнітивним завданням, пропонується визначати як психофізіологічний стан, що характеризується зниженням рухової або когнітивної продуктивності (тобто відповідно руховою або когнітивною втомою) та/або підвищеним сприйняттям втоми (тобто сприйнятою руховою або когнітивною втомою). Втома від виконання робіт та сприйнята втома, а також їхні детермінанти є взаємозалежними та не повинні розглядатися окремо. Отже, не існує єдиного фактора, який би в першу чергу визначав втому від виконання робіт та сприйняту втому у відповідь на рухові та когнітивні завдання (табл. 5.3.). Натомість, відносна вага кожного детермінанта та їхня взаємодія залежать від гомеостазу організму (наприклад, неспання, температура тіла) та кількох модулюючих факторів (наприклад, вік, стать, захворювання, характеристики завдання). Тому для розкриття психофізіології втоми, викликані руховими та когнітивними завданнями, необхідна комбінована оцінка показників втоми від виконання робіт та сприйнятої втоми, а також її (нейро)фізіологічних корелятивів. Це допоможе краще зрозуміти взаємодію між різними вимірами втоми та їхній вплив на працездатність людини, що необхідно для розробки ефективних втручань для підвищення толерантності до фізичних навантажень та працездатності людини у здорових та клінічних популяціях [4].

Структура втоми, викликаной руховим та/або когнітивним завданням, з її взаємозалежними вимірами та відповідними детермінантами. Адаптовано за [4].

Стан втоми			
Втома моторної (рухової) продуктивності	Сприйнята моторна втома	Втома когнітивної продуктивності	Сприйнята когнітивна втома
<p>Активация м'язів</p> <ul style="list-style-type: none"> - довільна активация - коркові мотонейрони - спинномозкові мотонейрони - аферентний зворотний зв'язок - патерни активации -нервово-м'язова передача - ? <p>Скоротлива функція</p> <ul style="list-style-type: none"> - збудливість сарколеми - кінетика Ca²⁺ - поперечні містки - здатність генерувати силу -кровоток -обмін речовин і метаболіти - ? 	<p>Психофізіологічний стан</p> <ul style="list-style-type: none"> - сприйняття зусиль - сприйняття болю/дискомфорту - мотивація - емоційна валентність - збудження - саморегуляція та самоконтроль - виконавчі функції - настрої - очікування - зворотний зв'язок про виконання - сприйняття часу - ? 	<p>Цілісність ЦНС</p> <ul style="list-style-type: none"> - активність мозку - нейромедіатор - метаболіти - ? 	<p>Психофізіологічний стан</p> <ul style="list-style-type: none"> - сприйняття зусиль - мотивація - емоційна валентність - збудження - саморегуляція та самоконтроль - виконавчі функції - увага - інтерес - контрольованість - настрої - стрес - тривожність - фрустрація - нудьга - очікування - ?
Гомеостаз організму			
<ul style="list-style-type: none"> - бадьорість - температура тіла - рівень глюкози в крові - гідратація 		<ul style="list-style-type: none"> - нейромедіатор насичення киснем - метаболічний стан - ? 	
Фактори модулювання			
<ul style="list-style-type: none"> - вік - стать - захворювання - характеристики завдання (тип, інтенсивність/навантаження, тривалість) - тощо 			

Локалізація та механізми розвитку втоми.

До теперішнього часу немає повної ясності про *локалізацію стомлення*, тобто про ті конкретні морфологічні структури і фізіологічні системи, функціональні зміни в яких визначають розвиток стану стомлення, а також про *механізми стомлення*, тобто про ті конкретні зміни в діяльності основних функціональних систем, які в кінцевому підсумку зумовлюють розвиток втоми і зниження працездатності. Необхідно завжди пам'ятати, що стомлення - це дуже складне явище, яке викликається змінами в різних системах.

Першою ознакою виникнення втоми під час фізичної роботи є порушення автоматизму робочих рухів, другою — порушення координації рухів, а третьою — зростання напруги вегетативних функцій при одночасному зниженні ефективності виконуваної роботи.

Значення регулюючих систем в розвитку втоми

Під час виконання будь-якої роботи відбуваються функціональні зміни в стані нервових центрів, які контролюють діяльність м'язів, та в їх автономному забезпеченні. Інтенсивніша робота викликає більш виражені зміни. Найбільш схильні до стомлення при виконанні фізичної роботи нейрони рухової зони кори головного мозку. Зниження активності нейронів вищих моторних центрів пояснюють явищем охоронного гальмування (І. П. Павлов), що виникає через необхідність активувати високочастотними імпульсами максимально можливу кількість спінальних мотонейронів м'язів, які працюють, а також через інтенсивну зворотну пропріорецептивну імпульсацію від рецепторів м'язів, суглобів і зв'язок, яка надходить до нейронів кори головного мозку.

При виконанні розумової роботи втома в першу чергу виникатиме в центрах, які контролюють вищі виконавчі функції - в першу чергу в центральній виконавчій нейромережі та дорзальній нейромережі уваги [2].

При виконанні тривалих фізичних вправ втома виникає внаслідок змін у діяльності автономної нервової та ендокринної систем. Ці зміни призводять до

порушення регуляції вегетативних функцій і енергетичного забезпечення м'язів, які працюють. Найважливішим наслідком таких порушень є зниження доставки кисню до м'язів та погіршення ефективності енергообміну, що зменшує продуктивність роботи організму.

5.4. Відновний період після роботи.

У відновний період відбуваються фазні коливання працездатності людини.

Динаміка змін у ЦНС протягом відновного періоду.

1. Після закінчення короткотривалої і не надмірної роботи зазвичай спостерігається прискорення і посилення рефлекторних реакцій. Це стан післяробочого, або залишкового збудження. У тренуваних людей при виконанні звичної роботи це збудження може або скорочуватись, або бути зовсім відсутнім, тобто збудження чітко приурочене до періоду роботи. Наявність збудження пояснюється поступовим затуханням робочої домінанти, її інертністю.

2. Фаза післяробочого, або відновного, гальмування. Характеризується послабленням рефлексів, що пояснюється послідовною негативною індукцією в раніше збуджених центрах. Тривалість цієї фази залежить від важкості роботи і тренуваності людини. Ця фаза може наступити без першої, якщо робота була дуже важкою.

3. Фаза відновної збудливості ЦНС, або фаза підвищеної збудливості. Іноді може бути 2-3 хвили підвищеної збудливості під час відновлення. В основі лежить суперкомпенсація організму у відповідь на роботу і витрачені ресурси організму.

4. Звичний рівень рефлекторних реакцій.

Гетерохронність процесів відновлення в різних функціональних системах організму.

Різні системи вертаються до вихідного рівня з різною швидкістю. Це утруднює оцінку тривалості відновного періоду. Пропонують оцінювати тривалість відновного періоду за тією функцією, яка нормалізується найпізніше. Особливо виражений гетерохронізм відновлення різних функцій у більш пізні строки відновного періоду. Пізній період може бути віддалений від роботи одним чи кількома днями.

Режим повторних навантажень

Фізіологічна характеристика післяробочого періоду важлива з практичної точки зору – для визначення оптимальної тривалості інтервалів між вправами. Оптимальний інтервал часу характеризується збереженням підвищеної збудливості ЦНС, а автономні зсуви вертаються до вихідного рівня, хоча повного відновлення ще не відбулось. Якщо інтервали збільшити, то можна отримати зниження результату повторної роботи внаслідок зниженої збудливості ЦНС.

Відновний період як конструктивний період

Відновний період не є періодом, коли відбувається лише відновлення вихідного стану спокою, оскільки за таких умов зникла б можливість вдосконалення організму шляхом вправ і тренувань.

Слідові реакції після виконання роботи не зникають повністю, а залишаються підсумовуються і закріплюються у вигляді прогресивного стану тренуваності організму людини. Це відбувається завдяки:

- інертності нервових процесів.
- суперкомпенсації в процесах обміну речовин.

Внаслідок цього відбувається зміни функціональні і морфологічні, які ведуть до прогресивного збільшення рівня тренуваності і підвищення працездатності.

Активний відпочинок

Краще відновлення працездатності стомлених м'язів відбувається під час відпочинку, пов'язаного з діяльністю інших м'язових груп.

Отже, не лише спокій може бути відпочинком після роботи. Дуже важливою є роль нервових центрів у розвитку втоми і «заряджанні енергією нервових центрів» в результаті роботи м'язів, які до того не працювали (Сеченов, 1903). Сеченов сконструював дворучний ергограф (1903), який реєстрував м'язові рухи, наближені до трудових дій, і результати показали, що стомлені м'язи швидше відновлюються під час активного відпочинку (шляхом порівняння відновлення руки через активний та пасивний відпочинок). Згодом з'явилося поняття «активний відпочинок» чи «феномен Сеченова».

Механізми зміни працездатності при активному відпочинку. Феномен Сеченова може проявлятися як у формі дії, яка стимулює, так і тієї, що пригнічує (за умови виснажливої роботи). Активізація відпочинку стомлених м'язів можлива в умовах виключеного кровотоку. Сеченівський ефект розвивається миттєво, лише від одного руху інших м'язів. Це вказує на значення нервових механізмів у прояві цього феномена. Найбільше визнання має індукційна теорія активного відпочинку. Під впливом роботи не втомлених м'язів чи інших впливів на якість із органів чуттів в ЦНС виникає нове джерело збудження. При певній інтенсивності роботи чи іншого подразника, який діє, через індукційні взаємовідносини поглиблюється процес гальмування в нервових центрах стомлених м'язів, і тим самим прискорюється їх відновлення. Також виникає послідовна позитивна індукція, яка полегшує початковий період роботи після активного відпочинку. Підтвердженням є те, що найбільш ефективна робота виконується м'язами, які знаходяться в реципрокних відношеннях з втомленими м'язами.

Посилення, розслаблення та зникнення ефекту працездатності після активного відпочинку залежать від ступеня втоми, що розвивається при м'язовій дії. Поступове посилення ефекту Сеченова в перший період динамічної роботи може бути пояснено посиленням гальмування в нервових

центрах через зростання втоми при подальшій роботі. У разі сильнішої втоми посилене гальмування набуває більш вираженого характеру за рахунок одночасної негативної індукції, що виникає під час активного відпочинку [11]. Переконливим доказом ролі зміни стану нервових центрів у розвитку втоми в цілому організмі є досліди з навіюванням. Так, досліджуваний може довго піднімати важку гирю, якщо йому переконати, що в руці знаходиться легкий кошик. Навпаки, якщо нав'язати досліджуваному, що піднімає легкий кошик, що йому дана важка гиря, швидко розвивається втома. При цьому зміна пульсу, дихання та газообміну перебуває у відповідності не з реальною роботою, що здійснюється людиною, а з тією, яка їй нав'язана.

Феномен Орбелі-Гінецинського було відкрито 1923 р. У досліджах на нервово-м'язовому препараті рухові волокна подразнювалися електростимулятором. Ізольований м'яз відповідав скороченням на кожне з ритмічно повторюваних подразнень, і на стрічці кімографа реєструвалася типова крива м'язового скорочення. У міру стомлення амплітуда кривої знижувалася. Після подразнення симпатичних нервів відбувалося збільшення амплітуди скорочень м'язів, і на кімограмі відзначалася нова хвиля підвищеної активності. Пізніше феномен був підтверджений і на м'язах ссавців за умов нормального кровопостачання. Вважається, що симпатична нервова система бере участь у регулюванні м'язового тонуусу та обміну речовин у м'язах, і її стимуляція може покращувати кровопостачання та метаболізм, що сприяє відновленню скоротливої здатності м'язів. Подальші дослідження дозволили виявити спільність впливу симпатичної нервової системи та ретикулярної формації головного мозку на відновлення працездатності м'язів.

Список літератури до теми «Фази трудової діяльності»

1. Єжова О. О. Спортивна фізіологія у схемах і таблицях: посібник для студентів інститутів фізичної культури. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2013. – 164 с.

2. Фізіологія центральної нервової системи: підручник / М. Ю. Макаруч, Т. В. Куценко. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011. – 335 с.
3. Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *Journal of nutrition and metabolism*, 2010, 905612. <https://doi.org/10.1155/2010/905612>
4. Behrens M, Gube M, Chaabene H, et al. Fatigue and Human Performance: An Updated Framework. *Sports Med.* 2023;53(1):7-31. doi:10.1007/s40279-022-01748-2
5. Fadzali, Farah. (2020). The Importance of Warm Up and Cool Down Article.
6. Greenhouse-Tucknott, A., Butterworth, J.B., Wrightson, J.G. *et al.* Toward the unity of pathological and exertional fatigue: A predictive processing model. *Cogn Affect Behav Neurosci* **22**, 215–228 (2022). <https://doi.org/10.3758/s13415-021-00958-x>
7. <https://www.quora.com/Why-do-some-runners-choose-not-to-breathe-during-a-100-meter-sprint-What-sort-of-advantage-does-this-give>
8. Ishihara K, Uchiyama N, Kizaki S, Mori E, Nonaka T, Oneda H. Application of Continuous Glucose Monitoring for Assessment of Individual Carbohydrate Requirement during Ultramarathon Race. *Nutrients.* 2020;12(4):1121. Published 2020 Apr 17. doi:10.3390/nu12041121
9. Kenney W.L., Jack H. Wilmore J.H., Costill D.L. *Physiology of Sport and Exercise, Sixth Edition With Web Study Guide*, 2015. - 648 p.
10. Kolb George, *Physiology of Sport: Contributions towards the Physiology of a Maximum of Muscular Exertion, especially Modern Sports, as Rowing, Athletics, Gymnastics, Cycling, Swimming, etc.* , trans. George Kolb, 2nd edn (London, 1893); first publ as George Kolb, *Beiträge zur Physiologie mazimalen Muskelarbeit, besonders des modernen Sports* (Berlin, 1888).
11. Trakhtenberg, I.M., Savitsky, I.V. Experimental data on Sechenov's phenomenon during dynamic work. *Bull Exp Biol Med* 43, 26–28 (1957). <https://doi.org/10.1007/BF00791015>

Тестові завдання для самоконтролю засвоєння теми «Фази трудової діяльності»

1. Яка фаза працездатності характеризується максимальним рівнем продуктивності та координації дій?

- А. Фаза впрацювання
- Б. Фаза стійкої високої працездатності
- В. Фаза втоми
- Г. Період відпочинку

2. Скільки триває фаза впрацювання у середньому?

- А. 1–2 години
- Б. 5–10 секунд
- В. Від кількох хвилин до 20–30 хвилин
- Г. Весь робочий день

3. Що характеризує стан початкового зусилля у фізіології праці?

- А. Повна адаптація організму до навантаження
- Б. Стабілізація функціональних систем
- В. Тимчасове зниження ефективності роботи на початку діяльності
- Г. Фаза активного відпочинку

4. Які відчуття найчастіше супроводжують стан початкового зусилля?

- А. Відчуття втоми, напруження, бажання припинити роботу
- Б. Легкість і енергійність
- В. Відчуття приємного навантаження
- Г. Сонливість та апатія

5. Яка фізіологічна система найшвидше реагує на початок роботи під час стану початкового зусилля?

- А. Сечовидільна система
- Б. Травна система
- В. Імунна система
- Г. Серцево-судинна система

Відповіді

1 (Б), 2(В), 3(В), 4 (А), 5(Г).

Ситуаційні задачі

1. Робочий день на заводі

Працівники одного з цехів починають зміну о 7:00. Начальник планує дати складне та відповідальне завдання з 7:10 до 7:40.

Запитання:

Чи є це оптимальним рішенням з точки зору фаз працездатності? Якщо ні — в який час краще планувати таке завдання і чому?

2. Навчальна лекція у ВНЗ

Пара починається о 10:00. Викладач починає одразу з ускладненого теоретичного матеріалу, не використовуючи прикладів, активностей або підготовчих питань.

Запитання:

Яку фазу працездатності проходять студенти на початку заняття? Як можна змінити підхід до викладання на початку заняття?

3. Спортсмен перед стартом

Спортсмен вийшов на змагання, не провівши розминку. У першій половині дистанції він відчував скутість рухів, утруднене дихання, серцебиття.

Запитання:

Яку фазу він пропустив і які фізіологічні наслідки це мало?

4. Організація перерви в офісі

Офісні працівники працюють із 9:00 до 17:00. Адміністрація планує єдину перерву об 11:00.

Запитання:

З якою фазою працездатності співвідноситься цей час і чи ефективна така організація?

5. Школяр готується до іспиту

Учень вирішив підготуватись до іспиту вночі, розпочавши підготовку о 22:00. Він відчув втому через 30 хвилин, але продовжував працювати до 2:00.

Запитання:

Як порушення добового ритму впливає на фази працездатності і ефективність запам'ятовування?

Відповіді.

1. Ні, це не оптимально. Період 7:10–7:40 — це фаза впрацювання, коли працездатність ще не досягла максимуму. Складне завдання доцільно планувати на середину зміни — період стійкої працездатності (наприклад, з 8:00 до 10:30).
2. Це фаза впрацювання. Доцільно розпочинати заняття з повторення, прикладів, активізації уваги, і лише потім переходити до складного матеріалу, коли почнеться фаза високої працездатності.
3. Він пропустив фазу впрацювання (розігріву). Організм не встиг адаптуватися до навантаження, що призвело до неефективної роботи серцево-судинної та дихальної систем на старті.
4. Об 11:00 ще триває фаза високої працездатності. Перерва в цей час може знизити ефективність праці. Краще організувати перерву трохи пізніше — перед початком фази зниження працездатності (наприклад, 12:30–13:00).
5. Фізіологічні фази працездатності пов'язані з біоритмами. Вночі працездатність знижена, тому учень працював у стані втоми, що погіршило запам'ятовування. Найефективніша підготовка — в ранкові або денні години.