

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ
імені ІВАНА БОБЕРСЬКОГО**

КАФЕДРА АНАТОМІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ

“Фізіологія рухової активності різних груп населення”

ЛЕКЦІЯ № 3

Тема лекції: ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВТОМИ

План

1. Сучасне уявлення про втоми. Теорії втоми. Фази втоми. Біологічне значення втоми.
2. Роль змін функціонального стану ЦНС в розвитку втоми.
3. Роль змін функціонального стану нервово-м'язового апарату в розвитку втоми.
4. Роль змін у функціонуванні вегетативних систем організму у розвитку втоми.
5. Особливості розвитку втоми при напруженій м'язовій роботі різного характеру і потужності.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Навчальні та виховні цілі: дати студентам уявлення про теорії, механізми та фази розвитку втоми, описати зміни у функціонуванні різноманітних фізіологічних систем організму при втомі, описати ознаки розвитку втоми, охарактеризувати особливості розвитку втоми при роботі різного характеру і потужності.

Матеріальне забезпечення: мультимедійна презентація.

Склав: доц. Вовканич Л.С.

Затверджено на засіданні
кафедри анатомії і фізіології

" 15 " серпня 2024 р.

протокол № 1

Зав. кафедри _____ Вовканич Л.С.

Львів - 2024

1.Сучасне уявлення про втому, теорії втоми. Фази розвитку втоми.

Біологічне значення втоми.

В загальному розумінні втома визначається як сукупність змін у фізичному і психічному стані людини чи тварини, що розвивається в результаті діяльності і призводить до тимчасового зниження її ефективності. *Втома - це тимчасовий фізіологічний стан організму, що виникає в результаті розумової або фізичної діяльності і супроводжується зниженням працездатності, порушенням координації рухових і вегетативних функцій та суб'єктивним відчуттям втоми.* Суб'єктивне відчуття втоми називається *втомленістю*. Проблема втоми тісно пов'язана із питаннями фізичної працездатності, фізіологічних резервів організму. Вона особливо актуальна у СФ, фізіології трудової діяльності.

У дослідження проблеми втоми вагомий внесок внесли такі видатні фізіологи, як І.М.Сеченов, І.П.Павлов, Л.О.Ухтомський, А.А.Орбелі, Г.В.Фольборт та ін.

І.М.Сеченов обгрунтував нервову природу втоми. Згідно із його висновком: “джерело відчуття втоми всі поміщають звичайно у працюючі м'язи, я ж поміщаю його ... виключно в ЦНС”. Проте слід зазначити, що не можна шукати причину втоми лише у ЦНС, очевидно, що і периферичні механізми теж відіграють суттєву роль у розвитку цього процесу.

Г.Фольборт, спираючись на основні положення і методи І.П.Павлова довів, що в різних органах при інтенсивній або тривалій діяльності настають зміни, які в основному характеризуються послабленням функцій органу, зниженням ефективності його роботи.

М.Яковлев дав визначення втоми як стану організму, що виникає внаслідок напруженої або тривалої діяльності. Вона характеризується зниженням працездатності і суб'єктивно сприймається людиною як відчуття локальної або загальної втоми. Втома, зазначав М.Яковлев – це цілісна реакція організму, що розвивається за провідної і інтегруючої ролі ЦНС.

Механізми розвитку втоми пояснювали з точки зору різних теорій втоми. Існує дві основні групи теорій втоми, які поділяють механізми розвитку втоми

на *центральної і периферичні*. У першій групі теорій виникнення втоми пов'язували із діяльністю центральної нервової системи, зокрема кори великих півкуль головного мозку. У групі периферичних теорій основними механізмами розвитку втоми вважали процеси, що відбуваються у працюючих м'язах:

1. теорія “виснаження” енергетичних субстратів;
2. теорія “засмічення” м'язів продуктами неповного окислення енергетичних субстратів;
3. теорія “отруєння” в результаті накопичення “кенотоксинів” – продуктів розщеплення білків;
4. гіпоксична теорія “задушення” у результаті нестачі кисню у працюючих м'язах.

Отримані на сьогодні експериментальні дані не дозволяють локалізувати причину виникнення втоми лише у якомусь одному органі чи системі органів, в тому числі і у нервовій системі. Оскільки у м'язовій діяльності беруть участь ряд систем організму, то зниження продуктивності роботи може бути викликане погіршенням функціонування багатьох систем. Окрім того, у залежності від характеру і інтенсивності роботи втома може виникати за різного співвідношення тих чи інших механізмів її розвитку. Слід також пам'ятати, що погіршення функцій того чи іншого органу може бути *первинним* чи *вторинним*. Первинні порушення спостерігаються за умови, що погіршення функціонування органу обумовлене змінами у ньому самому. Вторинне погіршення функцій спостерігається зумовлене погіршенням функціонування інших систем, наприклад кровопостачання чи регуляції.

В процесі напруженої м'язової діяльності втома може бути до певної міри подолана за рахунок активації нервових і гуморальних механізмів, що забезпечують надходження кисню до працюючих органів.

В процесі розвитку втоми прийнято виділяти кілька періодів (або фаз):

- прихована або компенсована втома;
- виражена (явна), декомпенсована втома;
- відмова від роботи;
- смерть від втоми.

У період *компенсованої* втоми немає повної компенсації діяльності функціональних систем організму, проте завдяки зміни характеру їх функціонування цей період *не супроводжується зниженням працездатності*. Така компенсація короткочасна, після чого працездатність знижується, втома стає явною.

У фазі *явної* або *декомпенсованої* втоми можемо спостерігати зниження працездатності спортсмена.

У разі настання значних змін у працюючому організмі спостерігається *відмова від роботи*.

У випадку, коли роботу з тих чи інших причин неможливо зупинити на передній стадії розвитку втоми, зміни в організмі можуть перевищити критичний рівень, результатом чого стає *смерть від втоми*.

Втома, що виникає у процесі м'язової чи розумової діяльності є фізіологічним явищем, корисним для організму. Робота до втоми є важливим фактором розвитку тренуваності, особливо якщо вона пов'язана із розвитком витривалості. Фізіологічний зміст цього явища полягає у тому, що тренування до втоми супроводжується адаптацією спортсмена до підвищених навантажень. Проте слід зазначити, що у випадку припинення вправ до втоми тренуваність не зростає, а при перевтомі – може спостерігатись погіршення функціонального стану організму спортсмена. Тому слід точно дозувати тривалість вправ, враховуючи при цьому їхній характер і інтенсивність.

Розвиток втоми залежить від цілого ряду факторів, зокрема від віку, тренуваності, функціонального стану спортсмена. Так, зокрема діти молодшого і середнього шкільного віку характеризуються швидкою втомлюваністю та недостатнім свідомим контролем розвитку втоми. У підлітковому віці діти здатні відчувати ознаки втоми у процесі її розвитку, а з 18-19 р. – ще до початку зовнішнього прояву його ознак. Підвищена втомлюваність характерна для людей старших вікових груп.

2. Роль функціональних змін у ЦНС у розвитку втоми.

При виконання будь-якої вправи відбуваються зміни у функціональному стані нервових центрів, що здійснюють управління руховою діяльністю та регуляцію вегетативних систем, що її забезпечують. При цьому найбільш чутливими до втоми є коркові нервові центри. Проявами втоми ЦНС є порушення у координації функцій організму (рухових та вегетативних), виникнення відчуття втоми. Згідно теорії І.П.Павлова, втома нервових центрів є наслідком позамежного, охоронного гальмування, що виникає внаслідок інтенсивної чи тривалої активності.

Діяльність ЦНС у процесі розвитку втоми може погіршуватись як первинно, так і вторинно. При інтенсивній розумовій діяльності, при емоційних навантаженнях, у випадку страху перед суперником чи змаганнями зміни у ЦНС є первинними механізмами розвитку втоми. У той же час діяльність нервових центрів може погіршуватись вторинно при збільшенні концентрації у крові продуктів метаболізму (молочна кислота, сечова кислота, аміак і ін.), зменшенні концентрації глюкози, виникненні гіпоксії, зміні концентрації гормонів і ін. Результатом такого погіршення функціонування ЦНС є погіршення програмування і координування рухових і вегетативних функцій, що веде до зниження ефективності роботи і виникнення відчуття втоми.

Усі органи, тканини і системи організму здатні протистояти втомі. Проте особлива роль у цьому відношенні належить нервовій системі, яка, програмуючи рухові і вегетативні функції, може змінювати форми координації, замінюючи втомлені органи (м'язові волокна), підвищуючи ступінь мобілізації ресурсів у працюючих органах і тканинах і т. д. Внаслідок цього значно віддаляється момент виникнення втоми і зниження працездатності.

Втома нервової системи може бути виявлена рядом проб. Так, при втомі спостерігається зростання часу реакції на подразник, погіршення координації рухів, погіршення здатності до підтримання пози тіла, наростання амплітуди тремору кінцівок, зростання критичної частоти злиття спалахів. *Об'єктивними ознаками* втоми ЦНС може бути також порушення міжцентральных зв'язків у корі головного мозку, ослаблення умовних рефлексів, погашення погано

засвоєних рухових навиків із одночасним розгальмовуванням старих, більш закріплених навиків.

3. Роль змін функціонального стану нервово-м'язового апарату у розвитку втоми.

Втома може бути пов'язана і із змінами у виконавчому апараті – м'язах. Втома м'язів також може розвиватись первинно і вторинно. Первинна (периферична) втома може бути наслідком змін у власне скоротливому апараті м'яза, або у нервово-м'язових синапсах, чи у системі електромеханічного спряження м'язових волокон. Вторинно функціонування м'яза може погіршуватись внаслідок погіршення регуляції її діяльності з боку ЦНС.

Ще у минулому столітті були сформовані основні групи теорій периферичної втоми – виснаження енергетичних ресурсів, забруднення, отруєння, гіпоксична. На сьогодні з'ясовано, що роль цих механізмів неоднакова при виконанні вправ різної потужності та характеру.

У випадку анаеробних вправ важливу роль у розвитку втоми відіграє *зменшення запасів високоенергетичних фосфатів у м'язах*. Так, у вправах максимальної потужності на момент відмови від роботи вміст АТФ у м'язах зменшується на 30-50%, а креатинфосфату – на 80-90%. Під час вправ у зоні субмаксимальної та частково великої потужності, внаслідок анаеробного гліколізу спостерігається *накопичення значної кількості лактату, зміни рН*. Це призводить до *зменшення швидкості енергопродукції*. У вправах помірної потужності одним із провідних механізмів розвитку периферичної втоми є *вичерпування запасів глікогену у м'язах (на 80%)*, що погіршує енергопостачання м'язів.

При виникненні втоми знижуються сила і швидкість скорочення м'язів, зтягується фаза розслаблення, зростають пороги збудливості, знижується коефіцієнт корисної дії м'язів. Під час втоми зменшуються амплітуда тону м'язів, збільшується тонус спокою. При сильній втомі може розвинутих неповне розслаблення м'язів – *контрактура*. Може спостерігатись зниження збудливості, лабільності, швидкості розслаблення м'язів.

4. Роль змін у функціонуванні вегетативних систем організму у розвитку втоми.

Втома може бути пов'язана також із змінами у діяльності вегетативної нервової системи, залоз внутрішньої секреції. Роль залоз внутрішньої секреції особливо велика при тривалому виконанні фізичних вправ. Зокрема, при циклічній роботі великої потужності відбувається зменшення вмісту у крові гормонів окремих залоз, зокрема кори наднирників. Зміни у діяльності ендокринної системи можуть призвести до порушення регуляції вегетативних функцій, погіршення енергетичного забезпечення м'язової діяльності і ін.

Причиною втоми може бути погіршення функціонування систем вегетативного забезпечення, перш за все – серцево-судинної системи. Зокрема, спостерігається зменшення ефективності роботи серця, перерозподіл крові від працюючих м'язів у шкіру з метою запобігти гіпертермії та ін. Головні наслідки таких змін – зниження киснево-транспортних можливостей організму працюючої людини.

В стані гострої втоми у спортсменів спостерігається різке почастишання або зменшення частоти пульсу, спад діастолічного АТ до нуля, атипова відповідь на функціональні проби. У стані гострої втоми спостерігаються зміни ЕКГ – зменшення висоти зубця Т, збільшення тривалості електричної систоли, погіршення передсердно-шлуночкової провідності, екстрасистоля. Ці зміни є результатом недостатнього коронарного кровопостачання, гіпоксії міокарду, дифузних змін у серці. Змінюються і дані ряду функціональних проб. Так, середній артеріальний тиск зростає на 20-30 мм. рт. ст., зростає коефіцієнт економічності кровообігу, погіршуються результати ортостатичної проби, коефіцієнт витривалості зменшується. Перетренування супроводжується змінами показників дихальної системи. Цей стан супроводжується зменшенням ЖЕЛ, скороченням часу у пробі Штанге та Генчи, високою частотою дихання при одночасному зменшенні легеневої вентиляції..

Суттєвих змін в умовах втоми зазнає і ряд біохімічних параметрів. Так, кількість креатину може зростати від 2,6-3,3 мг% до 6,4 мг%, сечовини – від 19-22 мг% до 40 мг%, молочної кислоти – від 0,33-0,78 до 17,5 ммоль/л, рН може знижуватись до 6,9-6,8, може спостерігатись зникнення окремих фракцій імуноглобулінів, що призводить до погіршення імунітету. У крові зменшується напруження кисню, спостерігається еритропенія, анемія, лейкоцитоз.

5. Особливості розвитку втоми при м'язовій роботі різного характеру і потужності.

Втома при напруженій діяльності – це складний процес, який включає всі рівні функціонування організму (від субклітинного до клітинного, органного, системного і рівня реакцій цілісного організму), тому механізм її розвитку та зовнішні ознаки будуть залежати від характеру взаємодії різних систем організму, від кількості і маси найбільш активно функціонуючих елементів, від інтенсивності і тривалості навантаження. Отже, для різних фізичних вправ характерна специфічна комбінація провідних систем (*локалізація* втоми), і механізмів (*механізми* втоми), що викликають втому. При цьому міра завантаженості провідних систем по відношенню до їх максимальних можливостей і визначають максимальну тривалість вправи.

При виконанні вправ анаеробного характеру у зоні *максимальної потужності* найбільш важливу роль в розвитку втоми відіграють процеси, що відбуваються у ЦНС і нервово-м'язовому апараті. Під час виконання таких вправ вищі нервові центри здійснюють активацію максимально можливого числа мотонейронів працюючих м'язів і забезпечити максимально високу частоту їх імпульсації. Така інтенсивна робота коркових центрів може тривати лише кілька секунд. Тому однією з причин втоми *стає розвиток гальмування і зменшення рухливості нервових процесів*. Особливо швидко зменшується частота імпульсів швидких мотонейронів. Під час такої роботи відбувається також швидке *вичерпування* у працюючих м'язах *запасів високоенергетичних фосфатів, особливо креатинфосфату*. Таке виснаження може бути одним із

провідних механізмів втоми. Окрім того, спостерігається *зростання концентрації АДФ*, що призводить до інгібування взаємодії актину і міозину. Спостерігається зміна функціональних властивостей самих м'язів – *зниження збудливості, лабільності, швидкості розслаблення*. За час виконання вправ максимальної анаеробної потужності концентрація лактату у м'язах зростає незначно, оскільки процеси анаеробного енергозабезпечення не встигають активуватись у повній мірі. Системи вегетативного забезпечення не відіграють суттєвої ролі у виконанні вправ у цій зоні потужності, оскільки повільне впрацювання не дозволяє їм вийти на максимальний рівень функціонування. Тому вони не відіграють значної ролі у розвитку втоми.

При виконанні анаеробної роботи *субмаксимальної потужності* ресинтез фосфагенів здійснюється досить швидко, і тому у кінці роботи не виявлено помітного їх зменшення. Головна причина втоми при виконанні таких вправ – *інтенсивний гліколіз, накопичення лактату у м'язах і крові та викликане цим зниження рН у міоцитах і крові*. Ці зміни викликають зменшення швидкості глікогенолізу і є причиною первинного погіршення функцій м'язів. У той же час спостерігається як первинне, так і вторинне погіршення функціонування ЦНС. Так, потужна аферентна імпульсація призводить до *пригнічення діяльності нервових центрів*. У той же час певна нестача кисню, накопичення у крові лактату та зниження її рН здійснюють негативний вплив на ЦНС. За даними ряду авторів, у цій зоні потужності також погіршується нервово-м'язова передача збудження. При анаеробній роботі субмаксимальної потужності додатковим фактором, що лімітує працездатність, служать функціональні можливості ксиневоотранспортної системи.

Вправи аеробного характеру *великої потужності* вимагають значної активації функціонування органів серцево-судинної системи. Таким чином, важливу рол у розвитку втоми відіграє недостатність кардіореспіраторної системи, яка повинна протягом тривалого часу підтримувати інтенсивне надходження кисню до працюючих м'язів. У цій зоні потужності спостерігається повільне зростання кисневого боргу. Енергозабезпечення працюючих м'язів у цьому випадку здійснюється за рахунок аеробних процесів

окислення глікогену м'язів і глюкози крові. Головним механізмом розвитку втоми при виконанні таких вправ є *виснаження запасів глікогену у працюючих м'язах і печінці*. Певну роль в розвитку втоми відіграє також *робоча гіпертермія*, тобто підвищення температури тіла у процесі роботи. Спостерігається також *зниження вмісту у крові гормонів ряду залоз*, в т.ч. наднирників. Погіршення функціонування ЦНС може бути обумовлене монотонністю дії імпульсів.

Вправи аеробного характеру *малої потужності* в значній мірі характеризуються тією ж локалізацією і механізмами розвитку втоми, що і вправи субмаксимальної потужності. Проте для таких вправ характерна *менша швидкість розвитку* цих процесів, *більша мобілізацією жирів* та *більше накопичення у крові продуктів обміну*, що можуть бути одним із важливих факторів розвитку втоми. Такі вправи супроводжуються також гіпертермією, дегідратацією, змінами водно-сольового складу внутрішнього середовища, втомою нервових центрів внаслідок монотонної роботи. Під час цієї роботи спостерігається також *зниження вмісту ряду гормонів*, зокрема мінералкортикоїдів, катехоламінів, гормонів щитоподібної залози. .

При *ациклічних вправах* можемо спостерігати різні види втоми. У всіх *спортивних іграх* внаслідок необхідності безперервної зміни програми рухових дій та необхідності вирішення складних тактичних завдань спостерігається *втома вищих відділів ЦНС*. Це призводить до зниження швидкості і координації рухів, погіршення функціонування деяких аналізаторів. В таких видах спорту, як хокей, футбол, наявні також механізми розвитку втоми, *характерні для циклічних вправ субмаксимальної потужності*, тобто накопичення значного кисневого боргу.

У таких видах спорту, як *гімнастика та важка атлетика* відбувається перш за все *зміна функціонального стану м'язів*. Знижується їх збудливість, зменшується сила, змінюється тонус, в'язкість, здатність до скорочення та розслаблення. При статичних зусиллях із значним напруженням однією із причин виникнення втоми є *зниження сили внаслідок виключення діяльності деяких найменш витривалих м'язових РО*.

Під час виконання статичної роботи зміни в організмі характеризуються рядом особливостей. Зокрема, під час статичної роботи м'язи працюють у ізометричному режимі, тобто розвивають напруження, не змінюючи своєї довжини. Окрім того, відсутнє розслаблення м'язів. При цьому кількість задіяних рухових одиниць визначає важкість статичної роботи. Найлегшою статичною роботою є підтримання сталої пози тіла за умов відсутності додаткових навантажень. Під час такої роботи від пропріорецепторів м'язів у ЦНС надходить невеликий потік аферентних імпульсів, а у м'язах відсутнє виснаження енергетичних ресурсів та накопичення продуктів обміну. Така робота виконується за участю повільних рухових одиниць і може тривати значний час. Показано, що якщо сила скорочень становить менше, ніж 20% від МСС, робота може виконуватись тривалий час. Максимальні статичні зусилля виконуються у режимі тетанічного скорочення за умов активації практично всіх рухових одиниць даного м'язу. При цьому у нервові центри від м'язів надходить надзвичайно потужна аферентна імпульсація, що призводить до швидкого розвитку охоронного гальмування. У зв'язку із збільшенням внутрішньом'язового тиску та перетискання капілярів відбувається погіршення кровопостачання м'язів. Таким чином, статична робота виконується практично у анаеробних умовах, що призводить до накопичення у м'язах молочної кислоти. Оскільки максимальні статичні зусилля виконуються за участю швидких рухових одиниць, що не здатні до тривалих скорочень, час утримання таких зусиль невеликий (секунди).

Статичну роботу за кількістю задіяних у ній м'язів можна поділити на *локальну, регіональну і глобальну*. Під час глобальної статичної роботи (підйом штанги, виконання стійки на руках, вправи “хрест” і ін.) спостерігається явище натужування (видих при закритій голосовій щілині), що веде до значного зростання тиску у грудній та черевній порожнині. Наслідком цього є затримка або утруднення дихання, погіршений венозний притік до серця, частий пульс із малим наповненням.

Після завершення глобальної статичної роботи може спостерігатись активація вегетативних функцій (феномен Ліндгарда-Верещагіна) – збільшення

частоти пульсу і систолічного об'єму, поглиблення та зростання частоти дихання. Це збільшення є наслідком зникнення гальмівних впливів з боку рухових центрів на центри регуляції вегетативних функцій.

Причиною втоми під час глобальних важких статичних зусиль є як гальмування активності рухових центрів, так і виснаження енергетичних ресурсів у м'язах. У порівнянні з динамічною роботою під час статичних зусиль вегетативні зрушення виражені дещо менше.

Література:

1. Вілмор Дж.Х. Фізіологія спорту / Дж.Х. Вілмор, Д.Л. Костіл – К.: Олімпійська література, 2003. – 655 с.
2. Вовканич Л.С. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту: навч. посібник для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр" / Вовканич Л.С., Бергтраум Д.І. – Л.: ЛДУФК, 2013. – Ч. 2. – 196 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/10059>
3. Яремко Є. О. Фізіологія фізичного виховання і спорту : навч. посіб. для практ. занять / Є. О. Яремко, Л. С. Вовканич - Львів : ЛДУФК, 2014. - 192 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/7190>
4. Яремко Є.О. Спортивна фізіологія / Є.О.Яремко – Львів, "Сполом", 2006. – 159 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9319>
5. Вовканич Л.С. Методичні вказівки до оцінки стану здоров'я школярів (антропометричні та фізіологічні методи) / Л.С.Вовканич, М.Я.Гриньків – Львів, 2003. – 13 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua:8080/bitstream/34606048/6545/1/%D0%9C%20%D0%BE%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83%20%D0%B7%D0%B4%D0%BE%D1%80.pdf>
6. Фізіологія спорту : навч. посіб. / А. І. Босенко, Н. А. Орлик, М. С. Топчій. — Одеса : видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2017. — 68 с.
7. Exercise physiology / John P. Porcari, Cedric X. Bryant, Fabio Comana. – Davis Company. – 2015 – 905 p.
8. Exercise physiology : integrating theory and application / William J. Kraemer, Steven J. Fleck, Michael R. Deschenes. – 488 p.
9. Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual Tests, procedures and data Third Edition Volume Two: Physiology / Edited by Roger Eston and Thomas Reilly Routledge – 2009. – 342 p.
10. Recovery for performance in sport / Christophe Hausswirth, Iñigo Mujika, editors; The National Institute of Sport for Expertise and Performance (INSEP) 2013 Human Kinetics – 280 p.
11. Sport and Exercise Physiology Testing Guidelines: Volume I - Sport Testing / Winter, E. M., Jones, A. M., Davison, R. C. R., Bromley, P. D., & Mercer, T. H.: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide. – Routledge., 2007 – 342 p.