ЛЕКЦІЯ Тема 12-13.
Біохімічні фактори стомлення та відновлення.

1. Які фізіологічні механізми розвитку втоми?

Втома - особливий вид функціонального стану людини, що тимчасово виникає під впливом тривалої або інтенсивної роботи і призводить до зниження її ефективності. Втома проявляється в зменшенні сили і витривалості м'язів, погіршенні координації рухів, в зростанні витрат енергії при виконанні однієї і тієї ж зовнішньої роботи, в уповільненні реакцій і швидкості переробки інформації, погіршенні пам'яті, скруті процесу зосередження і перемикання уваги і інші явища.
Першою ознакою виникнення втоми при фізичній роботі є порушення автоматизму робочих рухів, другим - порушення координації рухів, третім - збільшення напруги вегетативних функцій при одночасному зниженні ефективності роботи.

При виконанні будь-якої роботи відбуваються функціональні зміни в стані нервових центрів, які керують діяльністю м'язів і регулюючих їх вегетативне забезпечення. Чим інтенсивніше робота, тим ці зміни більш виражені. Найбільш схильні до стомлення нейрони рухової зони кори. Вважають, що зниження активності нейронів вищих моторних центрів відбувається внаслідок виникнення охоронного гальмування (І. П. Павлов), що розвивається в зв'язку з необхідністю активувати високочастотними імпульсами максимально можливе число спінальних мотонейронів м'язів, що скорочуються, а також в результаті інтенсивної зворотного пропріоцептивної імпульсації від рецепторів працюючих м'язів , суглобів і зв'язок, що досягає нейронів кори головного мозку.

При виконанні фізичних вправ великої тривалості причиною втоми є зміни в діяльності вегетативної нервової та ендокринної систем. Ці зміни призводять до порушення регуляції вегетативних функцій і

енергетичного забезпечення працюючих м'язів. Найбільш важливий наслідок порушень регуляції фізіологічних функцій при роботі - зниження доставки кисню до працюючих м'язів і погіршення ефективності енергообміну.

Причинами розвитку стомлення крім змін у центральній нервовій системі можуть служити процеси, що відбуваються в області нервово-м'язового синапсу, в зоні активації потенціалом дії скоротливих елементів м'язового волокна (можливо, внаслідок порушення процесів звільнення іонів кальцію з саркоплазматичного ретикулума), або в самих скорочувальних процесах.

Зміни в м'язах, що викликають розвиток стомлення. Істотну роль в розвитку втоми і зниження скорочувальної здатності м'язів грають процеси, що відбуваються в них самих. Існує принаймні три чинники, пов'язаних з енергетикою скорочення і здатних приводити до стомлення:

1) **виснаження** енергетичних ресурсів;
2) **накопичення** в м'язі продуктів метаболізму;
3) **дефіцит кисню** в працюючому м'язі.

Значення і частка кожного з цих трьох механізмів в розвитку стомлення неоднакові при виконанні різних вправ.

Виснаження енергетичних ресурсів. Реальне значення в розвитку втоми може мати виснаження внутрішньом'язових запасів фольсфагенів і вуглеводневих ресурсів (глікогену в працюючих м'язах і печінці). **Зниження запасів фосфагенів** відіграє найважливішу роль, в втомі при виконанні фізичних вправ з граничною тривалістю роботи від 10 с до 2-3 хв. При вправах, які тривають менше 10 с, запаси АТФ і КРФ зменшуються лише на 20-50%. Запаси м'язового глікогену за такий короткий час практично не змінюються. Отже, при такій короткій роботі виснаження запасів фосфагенів і вуглеводневих ресурсів не може бути провідною причиною втоми.

Під час проведення робіт, що тривають від 10 с до 2-3 хв, запаси АТФ в м'язі падають на 30-40%, а креатинфосфату - на 90%. Вміст глікогену зменшується лише на 5-15 **%.** Таким чином, при роботі тривалістю від 20 с до 1-3 хв виснаження внутрішньом'язових

запасів фольсфагенів є однією з важливих причин стомлення, що розвивається. Чим нижче потужність роботи (чим більше її гранична тривалість), тим менше знижуються запаси фосфагенов в активних м'язах. При тривалих аеробних навантаженнях зменшення запасів внутрішньом'язових фосфагенов настільки незначний, що не грає помітну роль у розвитку м'язового стомлення.

Накопичення в м'язах продуктів метаболізму. При виконанні вправ субмаксимальної потужності, т. Е. При граничній тривалості роботи від 20 с до 2-3 хв провідну роль в енергозабезпеченні працюючих м'язів грає гліколіз. У цих умовах концентрація молочної кислоти в крові може зростати в 10-20 і більше разів, а в самих працюючих м'язах навіть в сотні разів. З накопиченням молочної кислоти в м'язових клітинах підвищується концентрація водневих іонів і знижується pH. При значному зниженні pH відбувається зниження швидкості зв'язування іонів кальцію з тропоніном, завдяки цьому зменшується швидкість утворення актин-міозинових містків і, отже, знижується скорочувальна функція м'язів. Крім того, ключові ферменти гліколізу, такі як фосфорилаза і фосфофруктокінази, знижують свою активність при збільшенні кислотності. Це призводить до зменшення швидкості гліколізу, а значить, і швидкості енергопродукції, необхідної для підтримання необхідної потужності роботи.

Важливе значення в розвитку стомлення має **температура працюючих м'язів.** Ефекти впливу підвищеної температури істотно розрізняються в залежності від виду роботи. Так, зокрема, підвищення температури ядра тіла збільшує час (при однаковій потужності) короткою, інтенсивної роботи на тредбане або велоергометрі. Причинами цього є посилення кровопостачання активних м'язів і підвищення активності ферментів енергетичного метаболізму.
І навпаки, збільшення температури тіла при тривало виконуваній роботі прискорює розвиток втоми і знижує працездатність людини. Причиною цього є те, що зі збільшенням температури тіла вище 38-39 ° С надлишок тепла повинен надходити до шкіри і віддаватися в навколишнє середовище. Носій тепла в даному випадку - кров. Чим

вище піднімається температура тіла, тим більша кількість шкірних судин розширюється і тим, отже, більшу кількість крові шкіра відбирає у працюючих м'язів. Оскільки значна частина крові перерозподіляється в судини шкіри, що працюють м'язи недоотримують необхідне для їх аеробного енергетичного метаболізму кількість кисню. В результаті цього для поповнення запасів АТФ в процесі гліколізу утворюється більше молочної кислоти.
Таким чином, при значному підвищенні температури тіла зменшення кровопостачання працюючих м'язів і збільшення продукції молочної кислоти є одними з основних причин, що прискорюють розвиток стомлення при тривалій аеробного роботі.

2.Прояви втоми в різних системах організму.

Стадії втоми

Залежно від функціональних зрушень в організмі працюючих під впливом трудових навантажень розрізняють чотири ступеня втоми.
Втома першого ступеня *(маловиражена)*, або фаза початкових порушень реакцій, мало чим відрізняється від вихідного функціонального стану. Симптомами такої втоми є помилки при виконанні точних рухів з незначними м'язовими зусиллями в зв'язку з невідповідністю силових дій з боку працівника. При цьому робота з помірними і максимальними зусиллями виконується без істотних змін.
Втома другого ступеня *(помірна)* характеризується незначним зниженням працездатності і витривалості, загальна працездатність близька до вихідного рівня. Зрушення виявляються в збільшенні кількості помилок при виконанні дій, які вимагають незначних або максимальних м'язових зусиль. При цьому перші виконуються з

надмірними зусиллями, а другі — з меншими порівняно з вихідними значеннями.

Втома третього ступеня *(виражена)* характеризується відчутним зменшенням працездатності і витривалості рухового апарату. Час реакцій збільшується, швидкість оптимальних і максимальних робочих реакцій сповільнюється, м'язова сила при виконанні максимальних зусиль зменшується. Мінімальні м'язові зусилля виконуються з надмірною силою в 2—2,5 раза, тобто мають місце чітко виражені парадоксальні реакції. Загальна працездатність зменшується.

Втома четвертого ступеня *(сильновиражена)* супроводжується ультрапарадоксальними реакціями. Всі позитивні сигнали працівником не сприймаються, а негативні викликають позитивні реакції, що призводить до помилок, аварій тощо.

Для оцінки втоми використовується величина зміни в кінці робочого дня таких показників, як витривалість відносно стандартного м'язового зусилля, об'єм короткотривалої пам'яті, час простої і складної зоровомоторних реакцій, час переключення уваги, критична частота злиття мерехтінь. В стані маловираженої і помірної втоми трудова діяльність можлива, оскільки вона підвищує тренованість організму і може продовжуватися протягом третини робочого часу. При вираженій і сильновираженій втомі працездатність знижується, фізіологічна ціна роботи значно підвищується, а відновлювальні процеси протягом 16—24 годин після роботи можуть бути недостатніми, в зв'язку з чим несприятливі зрушення в організмі кумулюються. Якщо ці зрушення не проходять і за вихідні дні, то розвивається так звана хронічна втома, яку можна вважати перевтомою.

Взагалі час відновлення нормального стану організму працівника під час відпочинку свідчить про ступінь розвитку втоми. Якщо відновлювальний період становить не більше 10—15 хвилин, то ступінь втоми незначний, при тривалості відновлювального періоду не менш як півгодини має місце середній рівень втоми. При вираженій і сильновираженій втомі відновлювальні процеси затягуються до наступного робочого дня, що є ознакою накопичення втоми.

У процесі розвитку втоми у м'язах, які виконували роботу, вичерпуються запаси енергетичних субстратів (АТФ, КФ, глікогену), накопичуються продукти розпаду (молочна кислота, кетонові тіла). Також, порушується регуляція процесів, пов'язаних із енергетичним забезпеченням м'язового скорочення, з'являються зміни у роботі систем легеневого дихання і кровообігу.

Різновиди втоми (за В.М. Волковим, 1977)

Види	Вияв утоми	Стан спортсмена
1	2	3
Легка	Стан, який розвивається навіть після незначної за обсягом й інтенсивності м'язової роботи	Є стан утоми, працездатність як правило не знижується
Гостра	Стан, який розвивається при надмірному однократному фізичному навантаженні	З'являються слабкість, різко знижується працездатність і м'язова сила, з'являються атипові реакції серцево-судинної системи на функціональні проби. Обличчя бліде, тахікардія, підвищення максимального артеріального тиску на 40–60 мм рт. ст., різке зниження мінімального значення тиску, збільшення кількості лейкоцитів та білка у сечі, на ЕКГ – порушення обмінних процесів серця
Перенапруження	Гострий стан, який розвивається після виконання надмірного тренувального чи змагального навантаження на фоні зниженого функціонального стану організму	Загальна слабкість, в'ялість, запаморочення, порушення координації рухів, серцебиття, зміни артеріального тиску, збільшення печінки (больовий печінковий синдром), атипова реакція серцево-судинної системи на навантаження. Ця форма триває від кількох днів до кількох тижнів
Перетренованість	Стан, який розвивається у спортсменів при неправильно побудованому режимі тренувань і відпочинку (фізичне перевантаження, одноманітність засобів і методів тренувань, порушення принципу послідовності у збільшенні навантажень, недостатній відпочинок, завелика кількість стартів у змаганнях)	Виражені нервово-психічні порушення, погіршення спортивних результатів, зміни у роботі серцево-судинної і нервової системи, зниження опірної здатності організму до інфекцій
Перевтома	Патологічний стан організму. Найчастіше проявляється після великих фізичних навантажень, або у спортсменів із слабкою нервовою системою та емоційною неврівноваженістю, при великих фізичних навантаженнях	Прояви подібні до стану перетренованості, але чіткіше виражені. Спортсмени апатичні, їх не цікавлять результати участі у змаганнях, сон порушений, з'являються болі у серці, розлади кишково-шлункового тракту, статевої функції, тремор пальців рук

Як відомо запаси АТФ у м'язах невеликі і їх ледве вистачає на с напруженої м'язової роботи. Запасів креатинфосфату (КФ), що використовується для ресинтезу АТФ при роботі максимальної

інтенсивності, вистачає лише на 6-8 с. Зниження швидкості відновлення АТФ може бути причиною настання втоми.

У скелетних м'язах людини після максимально можливої короткочасної роботи концентрація КФ падає майже до нуля, а концентрація АТФ-приблизно на 30 40 %. У стані втоми знижується кількість АТФ у нервових клітинах, а це порушує синтез ацетилхоліну в синапсах, що зумовлює порушення роботи ЦНС при формуванні рухових імпульсів і передаванні їх до "робочих" м'язів;

сповільнюється швидкість обробки сигналів, що надходять від пропріо- і хеморецепторів; у моторних центрах розвивається захисне гальмування, пов'язане з утворенням у-аміномасляної кислоти.

При втомі у процесі виконання фізичних навантажень пригнічується робота залоз внутрішньої секреції, що є причиною зменшення синтезу гормонів і зниження активності ряду ферментів. Насамперед, це позначається на міофібрилярній АТФ-азі, що контролює перетворення хімічної енергії у механічну роботу. При зниженні швидкості розщеплення АТФ у міофібрилах автоматично зменшується і потужність виконуваної роботи. Втома зумовлює зменшення активності ферментів аеробного окиснення, порушення взаємозв'язків між реакціями окиснення і ресинтезу АТФ. Для підтримання необхідного рівня АТФ посилюється гліколіз, а це призводить до окислення внутрішнього середовища організму і спричиняє порушення гомеостазу.

Посилення катаболізму білкових сполук супроводжується підвищенням вмісту сечовини у крові.

Під час тривалого фізичного навантаження у м'язових клітинах спортсмена нагромаджується молочна кислота, що дифундує згодом у кров і викликає зміни кислотно-лужного балансу.Під час тренувань і змагань спортсмени виконують вправи, що відрізняються за інтенсивністю та тривалістю, циклічністю тощо. При цьому можливий вияв різних ознак втоми.

3.Які особливості втоми при виконанні роботи різної потужності і тривалості?

Причини втоми при довготривалій м'язовій роботі (вправи помірної потужності) ще більш різноманітні. До них відносяться зміни, зв'язані з енергетичним і білковим обміном, гормональною діяльністю, воднево-солевим обміном. Енергетичне забезпечення тривалої роботи помірної інтенсивності відбувається переважно за рахунок аеробного механізму перетворення енергії. Роль анаеробних процесів обмежується їх участю в енергозабезпеченні початкових етапів роботи, різних ривків, і т.п. Така робота, як правило, характеризується великою сумарною тратою енергії. В якості енергетичних субстратів використовуються як вуглеводневі ресурси організму (глікоген м'язів і печінки), так і ліпіди. Для мобілізації енергетичних ресурсів організму велике значення має гормональна діяльність, зокрема, гормони адреналін, глюкагон. Під дією цих гормонів в печінці відбувається розщеплення глікогену до глюкози, яка поступає в кров і використовується потім м'язами та іншими органами і тканинами в якості енергетичного субстрату. В результаті мобілізації жирів із жирових депо в кров поступають жирні кислоти, які також використовуються різними тканинами в якості джерела енергії. При цьому гормональна дія на енергетичне депо повинна зберігатися протягом всієї роботи. Оскільки гормони- речовини, що існують недовго, посилене продукування їх повинно мати місце протягом всієї роботи. Зниження продукції гормонів призводить до зниження можливостей організму щодо мобілізації енергетичних субстратів і, відповідно, до зниження працездатності. Не слід забувати також, що гормони, зокрема, адреналін, стимулюють активність багатьох ферментів, які беруть участь в забезпеченні м'язової роботи.

Велике значення для м'язової діяльності має і гормон інсулін, який підвищує проникливість клітинної оболонки для глюкози і полегшує ії проходження в середину м'язових волокон.
Хоч загальні запаси енергетичних субстратів в організмі досить великі, запаси вуглеводів не є значними. По мірі витрати глікогену печінки швидкість його розщеплення все більше і більше знижується. Знижується і концентрація глюкози в крові, яка при тривалій м'язовій роботі може впасти нижче норми (80-100 мг/%). Оскільки для мозку і деяких інших тканин глюкоза, по-суті,є єдиним енергетичним субстратом. То це може призвести до значного спаду працездатності. Саме тому на довгих дистанціях лижних і велосипедних гонок, марафонського бігу організовуються харчові пункти, де учасникам пропонуються напитки, що містять легкозасвоюванні вуглеводи.