

Обмін енергії і терморегуляція.

Лектор – Доцент кафедри фізіології

Жукова М.Ю.

Обмін речовин (ОР) і енергії (ОЕ) - це сукупність фізичних та хімічних перетворень речовин і енергії в організмі, які забезпечують його життєдіяльність та взаємозв'язок із зовнішнім середовищем.

Суть цього обміну полягає у надходженні в організм різноманітних, багатих потенціальною хімічною енергією речовин, які в організмі розщеплюються до більш простих, а вивільнена при цьому енергія забезпечує протікання фізіологічних процесів та виконання зовнішньої роботи. Окрім того, речовини, що надходять із зовнішнього середовища, використовуються в організмі для утворення його власних структурних компонентів, клітин, тканин, гормонів. ферментів.

В обміні речовин виділяють 2 процеси:

1. Анаболізм (асиміляція) - це сукупність процесів біосинтезу органічних сполук і структурних компонентів клітин. Цей процес забезпечує ріст, розвиток та безперервне поновлення багатих енергією сполук (АТФ).

2. Катаболізм (дисиміляція) - це сукупність процесів розщеплення складних молекул до кінцевих простих сполук із вивільненням їх потенціальної енергії у формі хімічних зв'язків макроергічних сполук (АТФ).

Забезпечення організму енергією здійснюється за рахунок *анаеробного та аеробного катаболізму.*

В організмі людини в процесі *аеробного катаболізму* майже всі органічні сполуки та продукти анаеробного обміну повністю розщеплюються до CO_2 і H_2O . При окисленні одного моля глюкози до CO_2 і H_2O *утворюється 25,5 молів АТФ (при анаеробному обміні - тільки 2 молі АТФ)*. В організмі АТФ відіграє основну роль акумулятора хімічної енергії.

Процеси анаболізму та катаболізму знаходяться в організмі в стані динамічної рівноваги. Стан рівноваги залежить від віку (перевага анаболізму у дітей і катаболізму у людей похилого віку), стану здоров'я, фізичних і психоемоційних навантажень.

Витрачені енергетичні ресурси повинні постійно відновлюватись за рахунок їжі. В організмі процеси обміну білків, жирів та вуглеводів взаємозв'язані, у певних межах можливі їх взаємоперетворення. Це пояснюється тим, що у процесі обміну білків, жирів та вуглеводів утворюються кілька сполук, які є спільними метаболічними речовинами, які забезпечують взаємозв'язок між обміном вуглеводів, жирів і білків.

Основним ключовим продуктом взаємодії білків, жирів і вуглеводів є ацетилКоА. З допомогою цієї речовини обмін білків, жирів і вуглеводів об'єднується у кінцевий шлях окислення — цикл трикарбонових кислот, у якому вивільняється $2/3$ усієї енергії організму.

Кількість білка, який розпався в організмі, оцінюють за кількістю виведеного з організму із потом та сечею азоту, оскільки азот входить майже виключно до складу амінокислот. У випадку коли кількість азоту, що надійшла в організм, дорівнює кількості виведеного азоту, говорять про *азотисту рівновагу*. За умов перевищення розпаду білка над його синтезом, виявляється негативний азотистий баланс.

Ліпіди їжі відіграють важливу роль у підтриманні життєдіяльності організму. Ліпіди входять до складу клітинних мембран, виступають основним джерелом синтезу стероїдних гормонів, виконують функцію енергозабезпечення та інші.

При використанні жирів у якості джерела енергії спершу відбувається їх гідроліз з утворенням вільних жирних кислот, які включаються у процес бета-окислення. В енергетичному відношенні окислення жирних кислот у два рази ефективніше, ніж окислення амінокислот і вуглеводів.

В організмі людини і тварин до 60% енергообміну залежить від перетворення вуглеводів, при цьому енергетичні потреби мозку забезпечуються майже виключно глюкозою. Окрім того, вуглеводи входять до складу складних клітинних структур (глікопротеїни, гліколіпіди і ін.). В організмі людини вуглеводи депонуються у формі запасів глікогену у печінці та м'язах.

Регуляція обміну речовин відбувається шляхом впливу на швидкість біохімічних реакцій, завдяки зміні активності ферментів чи їх концентрації. Регуляторами-модуляторами каталітичної активності ферментів часто є самі метаболіти. Цим методом здійснюється регуляція окремих ланок метаболічних перетворень у клітині. Загальна інтеграція метаболізму забезпечується, в основному, за допомогою аденілатів, які беруть участь у будь-яких метаболічних перетвореннях клітини.

Гормони є найбільш важливим рівнем регуляції синтезу та активності ферментів через рецептори мембран клітин, аденілациклазу та циклічний аденозинмонофосфат. Але в цілому організмі регуляція обміну речовин знаходиться під контролем нервової системи та її ендокринних відділів.

Організм отримує енергію у формі потенціальної енергії хімічних зв'язків молекул білків, жирів і вуглеводів. Вивільнення енергії відбувається під час окислення цих речовин. Утворення енергії без участі кисню називається *анаеробним обміном*, а процеси утворення енергії з використанням молекулярного кисню – *аеробним обміном*. Накопичення енергії відбувається в основному у високоенергетичних зв'язках аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ). Енергія АТФ використовується для здійснення в організмі хімічних, транспортних, електричних процесів, виконання механічної роботи. При виконанні будь-якої роботи частина енергії виділяється у формі тепла. Зокрема, під час м'язового скорочення лише 20% енергії використовується для механічної роботи, у той час як 80% розсіюється у формі тепла.

Кількість тепла є об'єктивним показником енергетичних витрат організму і виражається в одиницях тепла – ккалоріях /кДжоулях ($1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$). Здатність різних речовин забезпечувати організм енергією, тобто їх енергетична цінність, різна. Зокрема, при повному окисленні вуглеводів виділяється $4,1 \text{ ккал/г}$ ($17,1 \text{ кДж/г}$), білків - $4,1 \text{ ккал/г}$ ($17,1 \text{ кДж/г}$), жирів - $9,3 \text{ ккал/г}$ ($38,9 \text{ кДж/г}$).

При цьому під час окислення різних речовин витрачається неодинакова кількість кисню, та виділяється різна кількість вуглекислого газу. Для характеристики типу речовин, що окислюються, використовують **дихальний коефіцієнт (ДК)**.

ДК - це відношення об'єму виділеного CO_2 до об'єму спожитого O_2 . *При окисленні глюкози ДК дорівнює 1,0; жирів - 0,7; білків - 0,8; при змішаному харчуванні 0,83-0,90.* Знаючи дихальний коефіцієнт, можна розрахувати відносний внесок білків, жирів та вуглеводів у енергозабезпечення організму. Оскільки енергетична цінність цих сполук відома, можемо обчислити скільки ж енергії виділяється в організмі під час окислення. Отже, кожному ДК відповідає свій калоричний еквівалент кисню, тобто кількість енергії, що вивільняється під час окислення 1 л O_2 . Зокрема, при ДК 1 величина енергетичного еквіваленту становить 5,05 ккал/л (21,1 кДж/л), при ДК 0,8 – 4,48 ккал/л (18,8 кДж/л).

Особливо велике значення дослідження енергетичного обміну має при вирішенні багатьох питань фізіології (фізіологія спорту і праці) та патології людини.

Методи оцінки енергетичного обміну поділяються на прямі (вимірюванні кількості виділеного тепла) - *пряма калориметрія*, та непрямі (дослідження газообміну) - *непряма калориметрія*.

Основний обмін та фактори, які впливають на його величину.

Основний обмін (ОО) - це мінімальний рівень енерговитрат в умовах повного фізичного та емоційного спокою. Він визначається в таких умовах: дослідження проводяться вранці, в лежачому положенні, натщесерце в стані психічного і фізичного спокою, в умовах температури комфорту (20-22°C). В такому стані енергія витрачається на роботу життєвоважливих органів (дихальних м'язів, нервової системи, ендокринних залоз, нирок та синтез речовин). Для дорослої людини середнє значення величини ОО дорівнює 1 ккал/кг•год (4,19 кДж/кг•год), тобто для чоловіка масою 70 кг величина енерговитрат ОО складає близько 1700 ккал/добу (7100 кДж/добу). У здорових людей ОО може коливатись у межах

Величина ОО залежить від віку, зросту, маси тіла, статі, та інших факторів. Перевага в дитячому віці анаболічних процесів над катаболічними обумовлює більш високе значення ОО у дітей до 2-3 ккал/кг•год. У жінок ОО на 5% менший, ніж у чоловіків. У тренуваних спортсменів-стаєрів рівень основного обміну дещо знижений.

Інтенсивність ОО також тісно зв'язана з розмірами поверхні тіла. *Закон поверхні тіла*: енергетичні витрати організму пропорційні величині поверхні тіла. Так, у чоловіків віком 20-40 років на 1 м² поверхні тіла виділяється 39-40 ккал/год, у жінок - 36-37 ккал/год. Але цей закон має лише значення для орієнтовних розрахунків затрат енергії.

Загальний енергетичний обмін.

При фізичній роботі, після їди, при зміні пози тіла, емоційного стану, температури оточуючого середовища енерговитрати організму зростають.

Інтенсивність обмінних процесів збільшується при відхиленнях температури навколишнього середовища від комфортного рівня. Найбільше це проявляється при зниженні температури. Величина енергетичного обміну зростає від 1 до 8-10 ккал/кг/год. З підвищенням температури кількість утворюваного тепла децю зменшується.

Після прийому їжі інтенсивність обміну речовин і витрати енергії зростають - специфічно-динамічний вплив їжі (до 12-18 год). В даному випадку енергія витрачається на сам процес травлення (секреція, моторика, всмоктування), та на активацію обмінних процесів продуктами травлення. Збільшення енерговитрат проявляється через 1 год. після прийому їжі і досягає максимуму через 3 год. Воно найбільш виражено при прийомі білкової їжі, в середньому на 30%. При прийомі змішаної їжі зростають енерговитрати лише на 6-15%

Регуляція в цілому організмі здійснюється за рахунок ендокринної та вегетативної нервової системи. Основними регуляторами є *гормони щитовидної залози - тироксин і трийодтиронін, а також адреналін, які стимулюють обмінні процеси.*

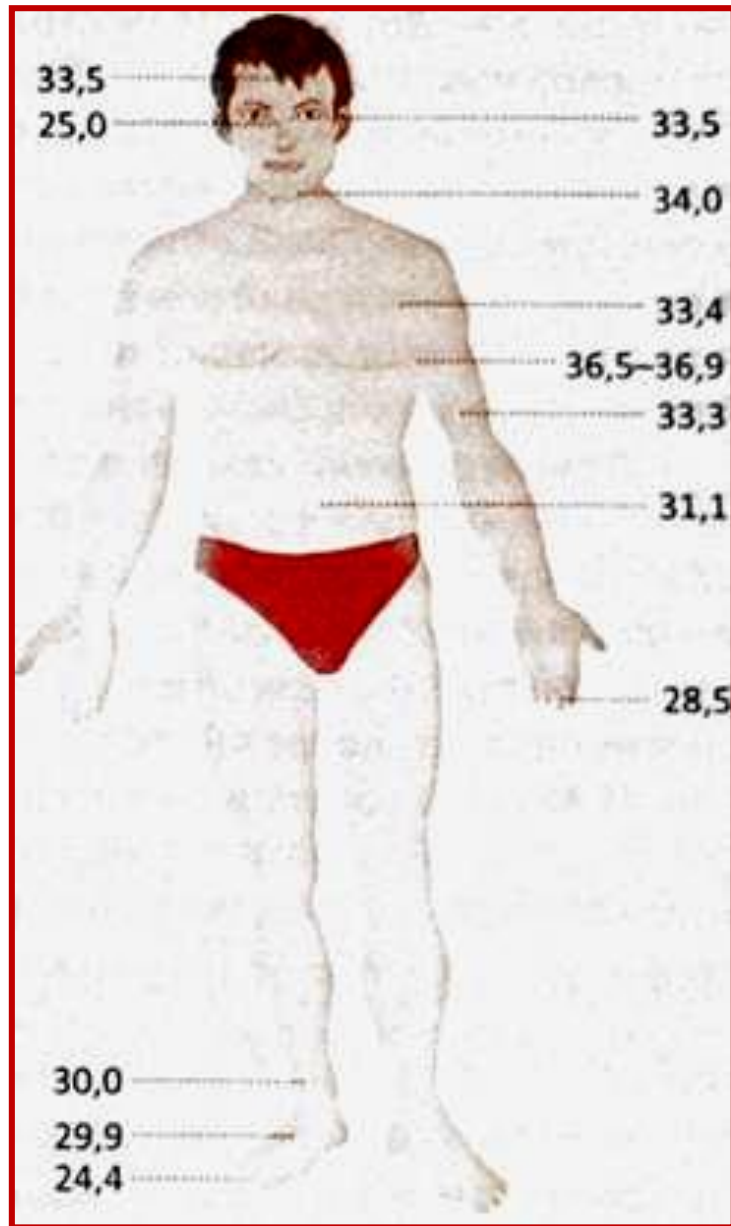
Особлива роль у регуляції енергообміну належить *гіпоталамусу*, через який реалізуються рефлексорні та ендокринні механізми. Можна виявити також умовно-рефлексорне збільшення рівня енергообміну. Так, у спортсменів перед стартом, у робочих перед початком важкої фізичної роботи, у водолазів перед входом у воду енергообмін посилюється. Це свідчить про те, що рівень енерговитрат в організмі може змінюватись під впливом кори

Терморегуляція-

це сукупність фізіологічних процесів, що підтримують температуру тіла організму відмінною від температури навколишнього середовища.

Тепло в організмі відображає температура його тіла. Сталість її має назву *ізоtermії*. Людина і частина тварин, температура тіла яких не залежить від температури оточуючого середовища, називаються *гомойотермними* (теплокровними). Організми (безхребетні та нижчі хребетні) з несталою температурою тіла, яка залежить від зовнішнього середовища, отримали назву *пойкілотермні* (холоднокровні).

У гомойотермних організмів температура різних частин тіла неоднакова. *Розрізняють температуру оболонки та температуру ядра.* Температура оболонки – це температура шкіри, яка залежить від температури навколишнього середовища. Температура ядра (температура внутрішніх органів, м'язів), навпаки характеризується постійністю. Вона характеризується достатньою постійністю і на 1–1,2 °C вища, ніж під пахвою: печінка – 38,1 °C, мозок – 38,0 °C, ректальна – 37,7 °C. Різні ділянки поверхні шкіри мають різну температуру. Температура шкіри тулуба і голови становить 33-34 °C, кінцівок, особливо в дистальних відділах – 28 °C. Температура ядра теж не скрізь однакова – вона вища в печінці, у прямій кишці, у м'язах, які працюють.



Температура оболонки суттєво коливається залежно від анатомічних ділянок шкіри. Градієнт коливання температури шкіри досить широкий – від 36,9 °С під пахвою до 24,4 °С в акральних частинах нижніх кінцівок. Температура тіла коливається протягом доби: мінімальна – перед ранком (4-5 год), максимальна в денний час (15-16 год); амплітуда коливань – 0,7-1,0 °С. Ці циркадні ритми коливання пов'язані з обертанням Землі.

На практиці температуру вимірюють у ділянках лоба, грудей, живота, плеча, передпліччя, тильної сторони долоні, стегна, гомілок, дорсальної поверхні ступні, на підставі чого розраховують *середню температуру шкіри*. Вона становить 33-34 °C при температурі комфорту навколишнього середовища.

На добові ритми температури накладаються й інші фактори, наприклад – менструальний цикл (у перший період циклу температура нижча на 0,5 °C, ніж у другий – післяовуляційний); тривала робота в нічних змінах.

Для клінічних вимірювань температури вибирають легкодоступні ділянки тіла: під пахвою (рука щільно притиснута, тривалість 15 хв) – становить 36,6 °C; у порожнині рота – 36,7-37,0 °C; у стравоході (вимірюється у спортсменів) – 37,3 °C; у прямій кишці (в основному у немовлят) – 37,3-37,6 °C.

Фактори навколишнього середовища і температурний комфорт.

Дія зовнішнього середовища на організм людини, її температурний комфорт залежить від чотирьох факторів: 1) температури повітря; 2) його вологості; 3) температури випромінювання; 4) швидкості руху повітря. Температурний комфорт для легко одягненої сидячої людини при вологості 50 % становить 18-20 °С. Для роздягненої людини при вологості повітря 50 % він дорівнює 28 °С. В умовах температурного комфорту середня температура шкіри відповідає 34 °С. Комбінація: температура повітря 30 °С плюс 100 % його вологість, чи 45 °С і 20 % вологість – дискомфорт.

при балансі між *процесами теплопродукції і тепловіддачі* усього організму, які у гомойотермних організмів підтримуються завдяки механізмам терморегуляції.

Фізична терморегуляція, або тепловіддача:

1.Випромінювання/радіація (60%) відбувається за допомогою інфрачервоного довгохвильового випромінювання. Для цього потрібен градієнт температур навколишнього середовища. Величина радіації залежить від температури та поверхні шкіри.

2. *Теплопровідність (5%)* здійснюється при безпосередньому контакті тіла з предметами (стілець, ліжко тощо). При цьому швидкість перенесення тепла від більш нагрітого тіла до менш нагрітого предмета визначається температурним градієнтом і їх теплопровідністю. Віддача тепла цим шляхом значно (у 14 разів) збільшується при перебуванні людини у воді.

3. *Конвекція (15%).* Повітря, що контактує з поверхнею тіла, за наявності градієнту температур нагрівається. При цьому воно стає легшим і, піднімаючись від тіла звільняє місце для нових порцій повітря. Таким чином воно забирає частину тепла.

4. **Випаровування (20 %)** здійснюється шляхом виходу пари води з поверхні шкіри та слизових оболонок при 100 % вологості повітря, якщо парціальний тиск водяної пари на шкірі вищий від того, що є в повітрі. Охолодженню шкіри сприяє те, що для випаровування 1 мл поту витрачається 0,58 ккал.

Випаровування має два механізми:

- а) *перспірація* – без участі потових залоз;
- б) *випаровування* – при активній участі потових залоз.

Перспірація – випаровування води з поверхні легень, слизових оболонок, шкіри, яка завжди волога. Це випаровування не регулюється, воно залежить від градієнта температур і вологості навколишнього повітря.

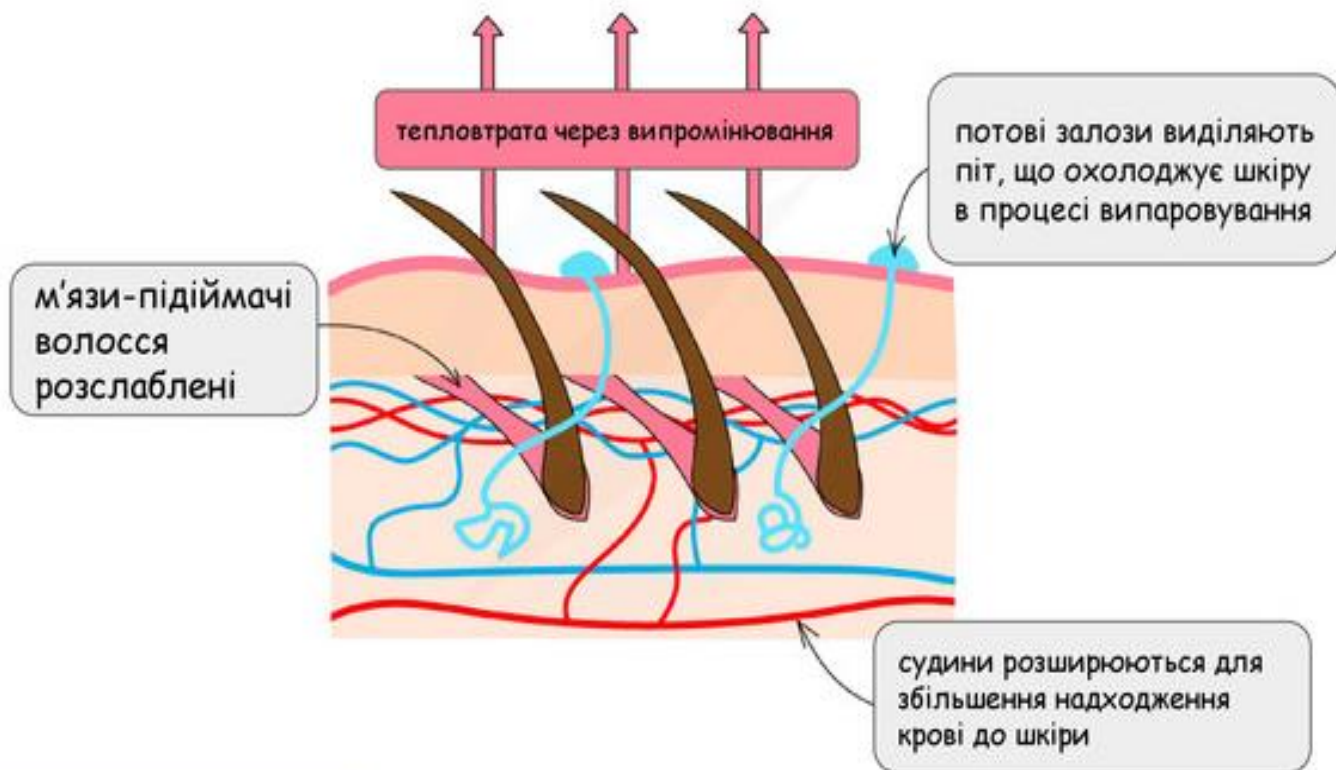
Потовиділення



Потовиділення — процес виділення поту потовими залозами.

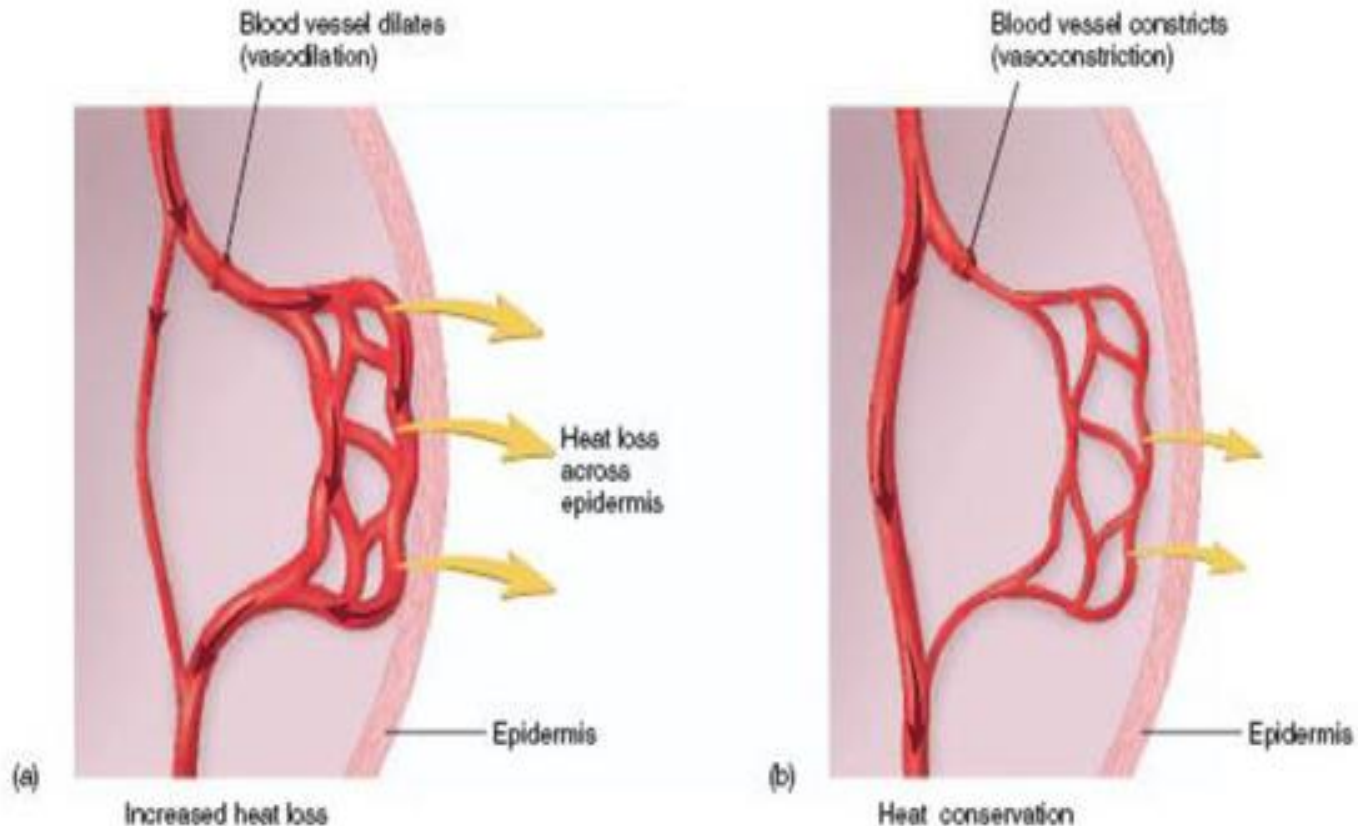
- ✓ У людини приблизно 2 мільйони потових залоз.
- ✓ Середня доросла людина з кожним літром поту втрачає 540 калорій.
- ✓ Чоловіки потіють приблизно на 40% більше, ніж жінки.
- ✓ В умовах помірного клімату за добу випаровується близько 900 мл поту, в умовах сильної спеки — до 10-12 л.

Випаровування поту

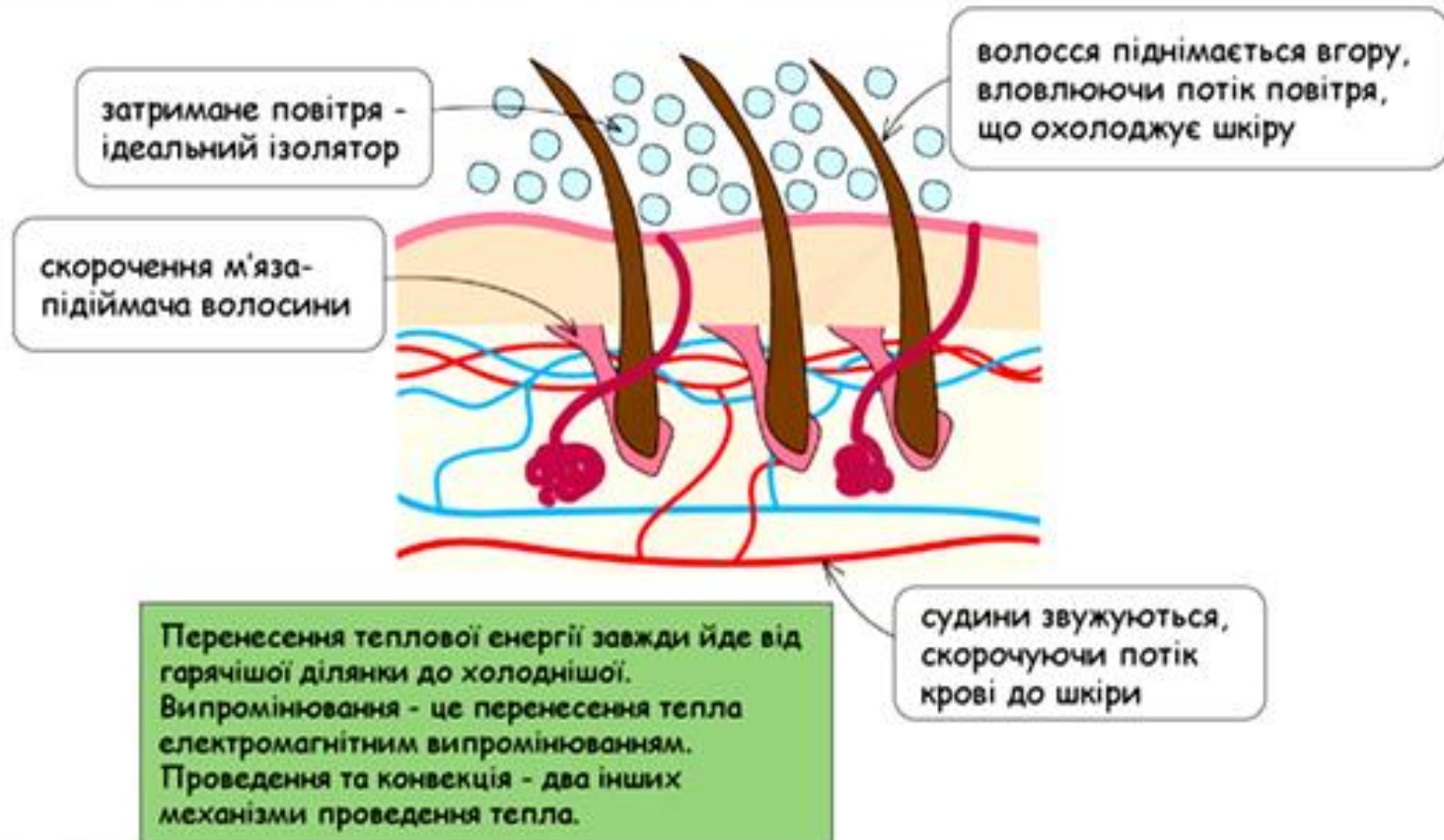


Якщо температура повітря наближається до температури шкіри, тепловий градієнт зменшується, тепловіддача проведенням, конвекцією, та випромінюванням майже припиняється і головним шляхом тепловіддачі залишається випаровування. Проте якщо повітря насичене водяними парами, тепловтрати за рахунок цього механізму зменшується або припиняється (при відносній вологості 100%). Втрати теплоти при потовиділенні відбуваються тільки тоді, коли піт випаровується, а не стікає з поверхні шкіри, тоді ніякого охолодження тіла не відбувається.

Роль тону́су судин для терморегуляції



Терморецептори

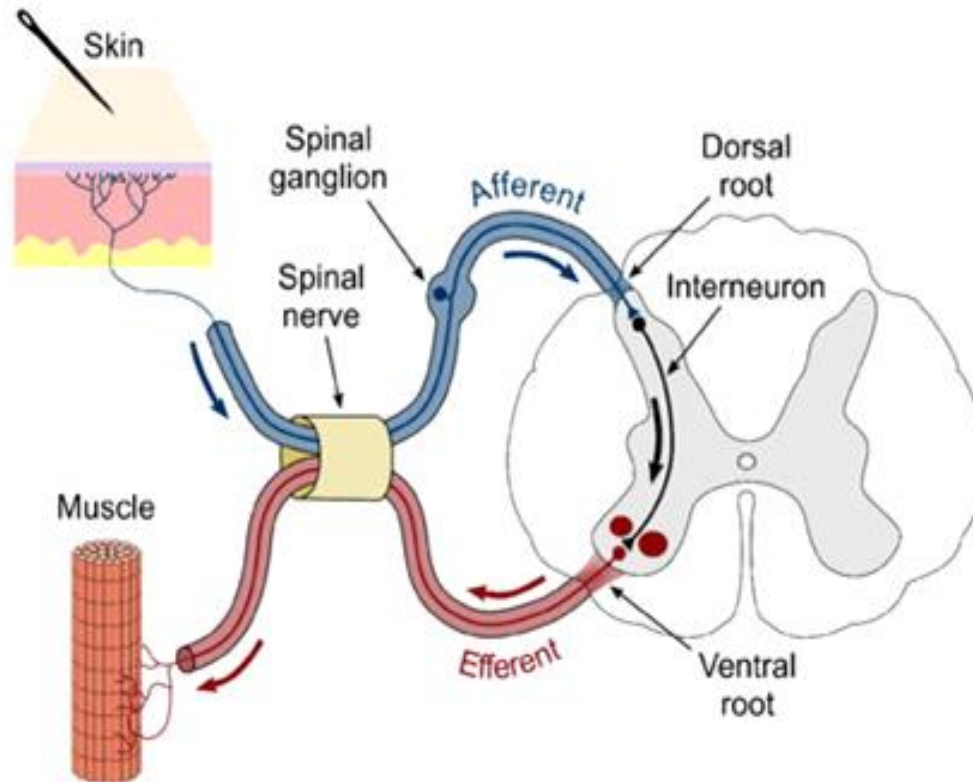


Теплопродукція (термогенез, ендотермія)

У тих випадках, коли для сталості температури тіла необхідне додаткове тепло, воно виробляється такими механізмами:

- 1 *Несвідомий скоротливий термогенез*, що функціонує удвох режимах. Перший - несвідомий *терморегуляторний тонус* - полягає в підвищенні тону м'язів шиї, спини, верхніх кінцівок внаслідок асинхронного, поодинокого, низькоамплітудного скорочення м'язових волокон, при якому продукується теплота. Для нього характерна поза людини - втягнута голова, зведені плечі, зігнута спина. Другий - холодіві несвідомі скорочення (*тримтіння*) м'язів обличчя і шиї, які розвиваються в результаті періодичної залпової низькочастотної активності мотонейронів спинного мозку, що призводить до некоординованих скорочень м'язів і виділення значної кількості теплоти. При тремтінні теплопродукція підвищується у 2-3 рази. Тремтіння починається часто з м'язів шиї, обличчя. Це пояснюється тим, що передусім має підвищитись температура крові, яка тече до головного мозку.

Теплопродукція



•2 *Свідомий скоротливий термогенез* - довільні скорочення м'язів рук, ніг, шиї, тулуба (швидка ходьба, розмахування руками, нахили голови, нагинання тощо), що продукують тепло як побічний продукт.

•3 *Нескоротливий термогенез* – підвищення обмінних процесів, не пов'язаних зі скороченням м'язів. Джерелом його є *бурий жир*, що знаходиться, переважно в ранньому віці, на задньо-нижній частині шиї і між лопатками. Бурий колір зумовлений наявністю великої чисельності мітохондрій (бурого кольору) із значною кількістю окисних ферментів. При охолодженні організму відбувається окиснення жиру, енергія якого майже 100 % перетворюється на теплоту, внаслідок чого теплопродукція зростає.

•4 *Специфічна динамічна дія їжі*. Наприклад, вживання білкової їжі збільшує теплопродукцію на 30 %, жирів - на 10 %.

Органи	Продукція теплоти		Частка від загальної теплопродукції, %
	кДж/год	ккал/год	
Мозок	50,0	14,5	16,1
Серце	33,6	9,7	10,7
Легені	13,6	3,9	4,3
Травний канал	16,4	4,7	5,2
Печінка	88,4	25,7	28,4
Нирки	27,2	7,0	7,7
М'язи	48,8	14,2	15,7
Шкіра	6,0	1,7	1,9
інші органи	31,2	9,0	10,0
Разом	315,2	90,4	100,0

Терморегуляція розвинулася в процесі еволюції як пристосовна реакція організму на мінливість температурних умов існування. Терморегуляція здійснюється рефлекторно, під впливом подразнень, що надходять з терморецепторів шкіри, внутрішніх органів і слизових оболонок. Центр терморегуляції міститься в гіпоталамусі й підпорядкований корі великих півкуль головного мозку. Терморегуляція у немовлят — недосконала, здійснюється переважно за рахунок судинних реакцій і змін теплопродукції. Зниження температури середовища на 1°C підвищує основний обмін у немовлят на 5%, тоді як у дорослої людини — лише на 1%. В похилому і старечому віці терморегуляція частково порушується, збільшується амплітуда добових і сезонних коливань температури

Температура тіла контролюється специфічними терморецепторами. Вони поділяються на периферичні і центральні. Розташовані в шкірі, підшкірній основі та кровоносних судинах цих ділянок, периферичні рецептори бувають двох типів – теплові та холодкові (переважно холодкові). Центральні рецептори містяться в гіпоталамусі (загалом у передзоровій зоні). Деяка їх кількість розташована в шийно-грудному відділі спинного мозку.

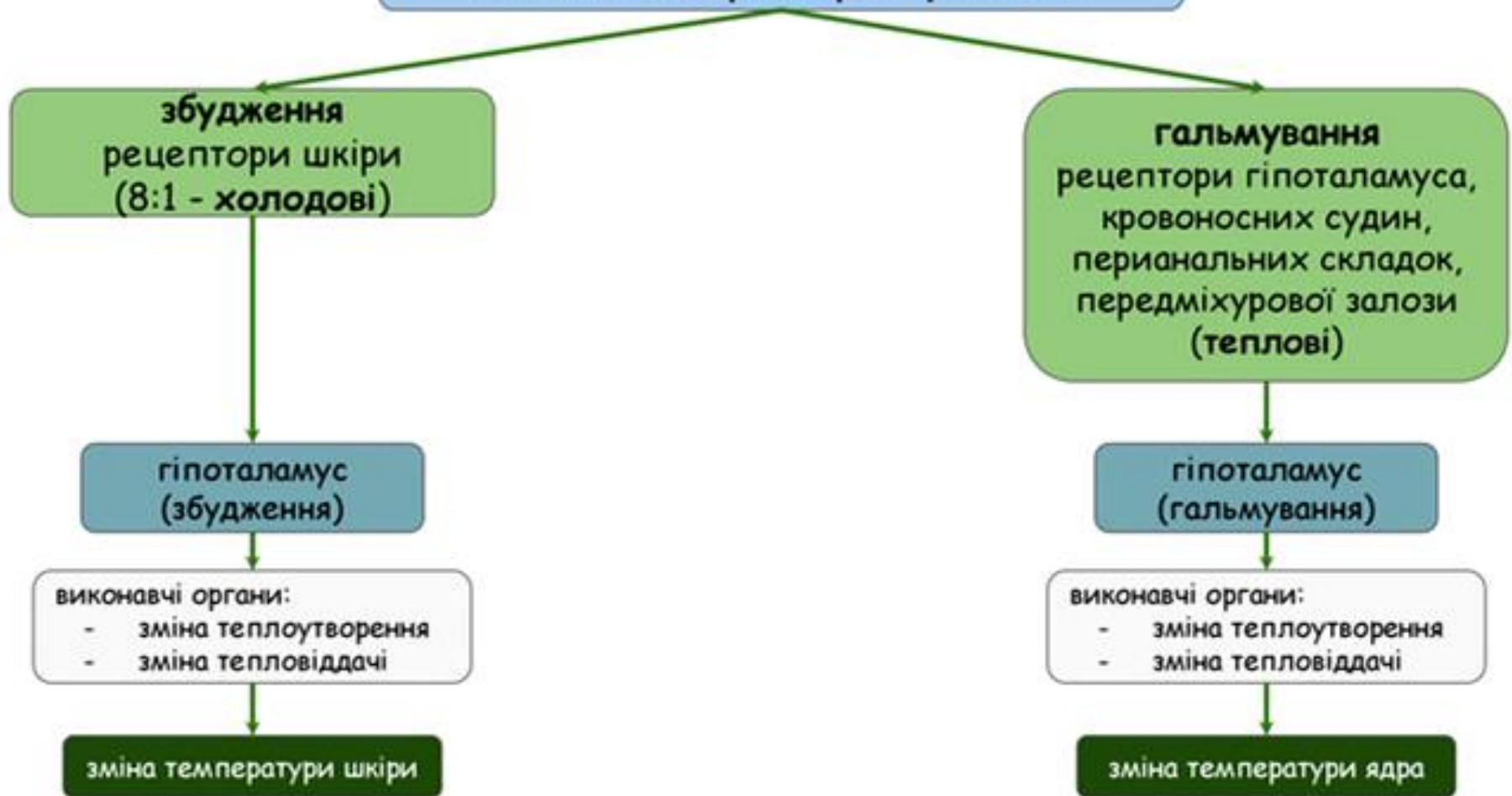
Частота виникнення нервових імпульсів у рецепторах залежить від температури. Холодові та теплові рецептори генерують спонтанну активність. Раптове підвищення або зниження температури призводить до короткочасного різкого збільшення частоти розрядів у відповідних рецепторах із наступним поступовим зниженням до рівня, характерного для даної температури. При температурі шкіри 34-38 °C імпульсація в обох типах рецепторів мінімальна. Це створює уяву про температурний комфорт. Для центральних терморецепторів "температурне вікно" знаходиться в межах 37-37,5 °C.

Імпульси від периферичних рецепторів переключаються в структурах задніх рогів спинного мозку. В головний мозок вони надходять по спино-таламічному та спино-ретикулярному шляхах. Після проходження через сітчасту речовину і неспецифічні ядра таламуса імпульсація надходить у гіпоталамус і асоціативні зони кори головного мозку.

Центр терморегуляції міститься в гіпоталамусі. Центр теплопродукції розташований у ядрах заднього відділу гіпоталамуса. Звідси через симпатичну нервову систему ідуть імпульси, що підвищують метаболізм, звужують судини шкіри, активізують терморегуляцію скелетних м'язів. У цих реакціях беруть участь і гормони – адреналін, норадреналін, тироксин тощо. Центр тепловіддачі міститься в ядрах переднього відділу гіпоталамуса. Звідси ідуть імпульси, які розширюють судини шкіри. підвищують виділення поту, знижують теплопродукцію. При руйнуванні центру терморегуляції в гіпоталамусі гомойотермна тварина перетворюється на пойкилотермну.

Центр терморегуляціїСтан терморегулюючих зон гіпоталамуса може змінюватися під впливом ряду факторів крові: вмісту Ca^{2+} і Na , глюкози, осмотичного тиску. Підвищення рівня одного з найбільш біологічно активних іонів (Ca^{2+}) модифікує чутливість центральних механізмів до температури, нейромедіаторів, що призводить до активації механізмів тепловіддачі. Це особливо помітно при фізичному навантаженні. Ріст осмолярності крові зумовлює підвищення межі температурної чутливості та зниження інтенсивності потовиділення.

Схема терморегуляції



В умовах дуже низької навколишньої температури розширення судин шкіри може призвести до збільшення тепловитрат, зниження температури ядра, і людина може замерзнути. Зниження температури ядра супроводжується зниженням активності обмінних процесів. Смерть при охолодженні настає при температурі 26-28°C. Але ще перед цим низька температура призведе до різкого пригнічення активності нейронів ЦНС, до "засинання" і непритомності. Вказану залежність сьогодні використовують з лікувальною метою, коли потрібно на деякий час відключити кровообіг, щоб зробити операцію на серці. Такий метод називають керованою гіпотермією.

Протилежний гіпотермії стан називають **гіпертермією**.

Гіпертермія спостерігається іноді і у здорових людей. Це відбувається, наприклад, при інтенсивній фізичній праці, коли тепловіддача відстає від теплотворення. Висока навколишня температура, особливо при високій вологості, інтенсивний вплив сонця також можуть спричинити гіпертермію. При підвищенні температури тіла понад 41°C розвивається набряк мозку, порушується процес терморегуляції та без медичної допомоги може настати смерть. Гіпертермія супроводжує багато хвороб.

Механізм гіпертермії

Рефлекторне подразнення центрів гіпоталамуса

Холінергічні
рецептори

Гальмування
потовиділення,
зміна дихання

Зменшення
тепловіддачі

Адренергічні
рецептори

Спазм
периферійних
судин

Посилення
окисних процесів
(печінка, м'язи)

Переважає теплопродукції над тепловіддачею

Гіпертермія

Соматичні
рецептори

Підвищення
тонуусу скелетних
м'язів, дрижання
(термогенез)

Збільшення
теплопродукції