

ЛЕКЦІЯ № 14
з курсу «Фізіологічні механізми
регуляції гомеостазу»
на тему: «Механізми
гомеостатичного контролю
в системі терморегуляції»

Викладач курсу: доцент кафедри
фізіології, імунології і біохімії
з курсом цивільного захисту
та медицини
Григорова Наталя Володимирівна

ПЛАН

1. Біологічна сутність процесів терморегуляції.
2. Нормальна температура тіла.
3. Теплоутворення.
4. Тепловіддача.
5. Механізми терморегуляції.
6. Аферентний вплив.
7. Гарячка.
8. Гіпотермія.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бєлан С. М., Карвацький І. М., Шевчук В. Г. Фізіологія : навч. посіб. Київ : Книга плюс, 2021. 172 с.
2. Ганонг В. Ф. Фізіологія людини / пер. з англ.; наук. ред.: М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. Львів : БаК, 2002. 784 с.
3. Голл Дж. Е., Голл М. Е. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом / пер. з англ. Київ : Медицина, 2022. 648 с.
4. Клінічна фізіологія : підручник / за заг. ред. К. В. Тарасової. 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Медицина, 2022. 776 с.
5. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом : підручник : пер. з англ. 14-го вид. : у 2 т. / Дж. Е. Голл, М. Е. Голл; наук. ред. пер.: К. Тарасова, І. Міщенко. Київ : ВСВ Медицина, 2022. Т. 1. 634 с.
6. Фізіологія : підручник / за ред. В. Г. Шевчука. 5-те вид. Вінниця : Нова книга, 2021. 448 с.
7. Філімонов В. І. Фізіологія людини : підручник. 4-е вид. Київ : Медицина, 2021. 488 с.
8. Яремко Є. О., Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І., Коритко З. І., Музика Ф. В. Фізіологія людини : навч. посіб. 2-ге вид., допов. Львів : ЛДУФК, 2013. 207 с.

1. Біологічна сутність процесів терморегуляції

Тепло в тілі утворюється внаслідок м'язової діяльності, засвоєння поживних речовин і всіх життєвих процесів, що забезпечують основний обмін. Воно витрачається шляхом випромінювання, провідності та випаровування води з дихальних шляхів і поверхні шкіри. Невеликі кількості тепла втрачають з сечею і калом. Баланс між теплоутворенням і тепловіддачею визначає температуру тіла. Оскільки швидкість хімічних реакцій залежить від температури, і системи ензимів в організмі мають вузькі температурні межі, у яких їхня активність оптимальна, то нормальна життєдіяльність організму визначена порівняно сталою температурою тіла.

Безхребетні переважно не здатні регулювати температуру свого тіла, тому вона залежить від температури довкілля.

У хребетних механізми підтримання сталої температури ґрунтуються на регулюванні процесів теплоутворення та тепловіддачі.

У рептилій, амфібій і риб механізми терморегуляції порівняно рудиментарні, і ці види називають **холоднокровними (пойкілотермними)**, оскільки температура їхнього тіла коливається в значних межах. У птахів і ссавців, тобто **теплокровних (гомойотермних)** тварин, комплекс рефлексорних реакцій, що інтегровані переважно в **гіпоталамусі**, забезпечує підтримання температури тіла в порівняно вузьких межах, незважаючи на значні коливання температури довкілля. Ссавці, що впадають у зимову сплячку, є винятком: після пробудження вони є гомойотермними, а під час зимової сплячки температура їхнього тіла знижується.



Тварини, які впадають у гібернацію



Їжак, соня



Качкодзьоб



Борсук



Єнот

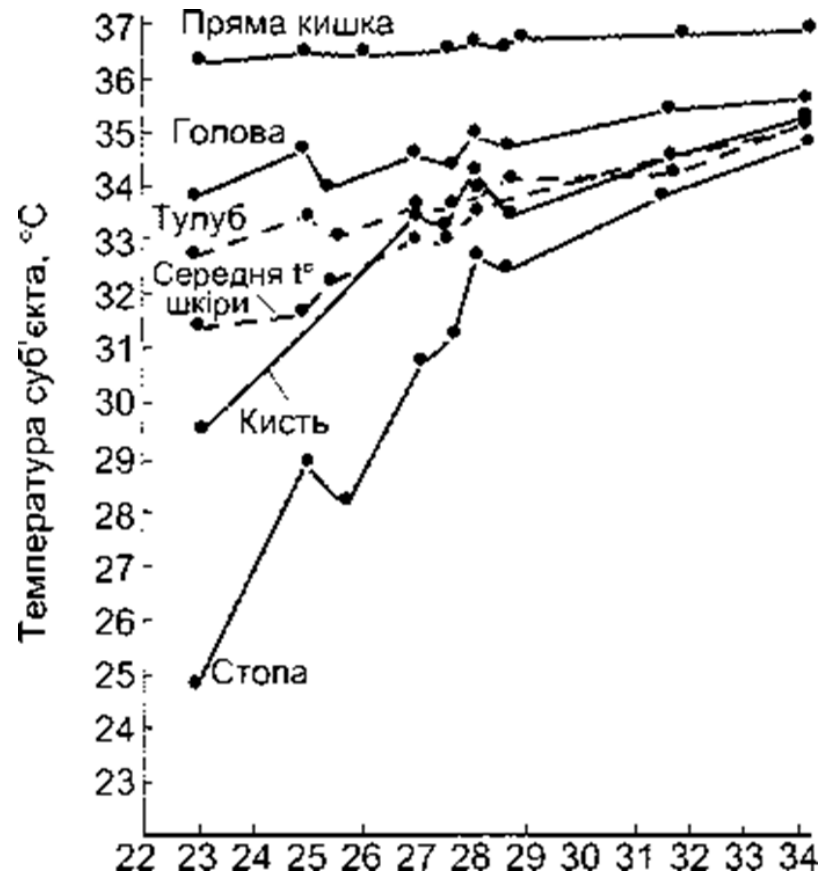


Ведмідь

2. Нормальна температура тіла

Температура тіла різних видів гомойотермних тварин відрізняється. Менше різниця температури простежується між окремими суб'єктами всередині виду. У людини традиційно нормальною температурою ротової порожнини вважають 37 °С. Проте вимірювання температури у групи практично здорових дорослих людей засвідчило, що вранці в ротовій порожнині вона становить 36,7 °С зі стандартним відхиленням 0,2 °С. Отже, можна припустити, що в 95% усіх молодих людей ранкова температура в ротовій порожнині становить 36,3-37,1 °С; середнє значення середнього відхилення $\pm 1,96$ °С. У різних частинах тіла зафіксовано різні значення температури.

Також різною є залежність температури різних частин тіла від температури навколишнього середовища: кінцівки звичайно холодніші; температура калитки утримується в межах 32 °С;



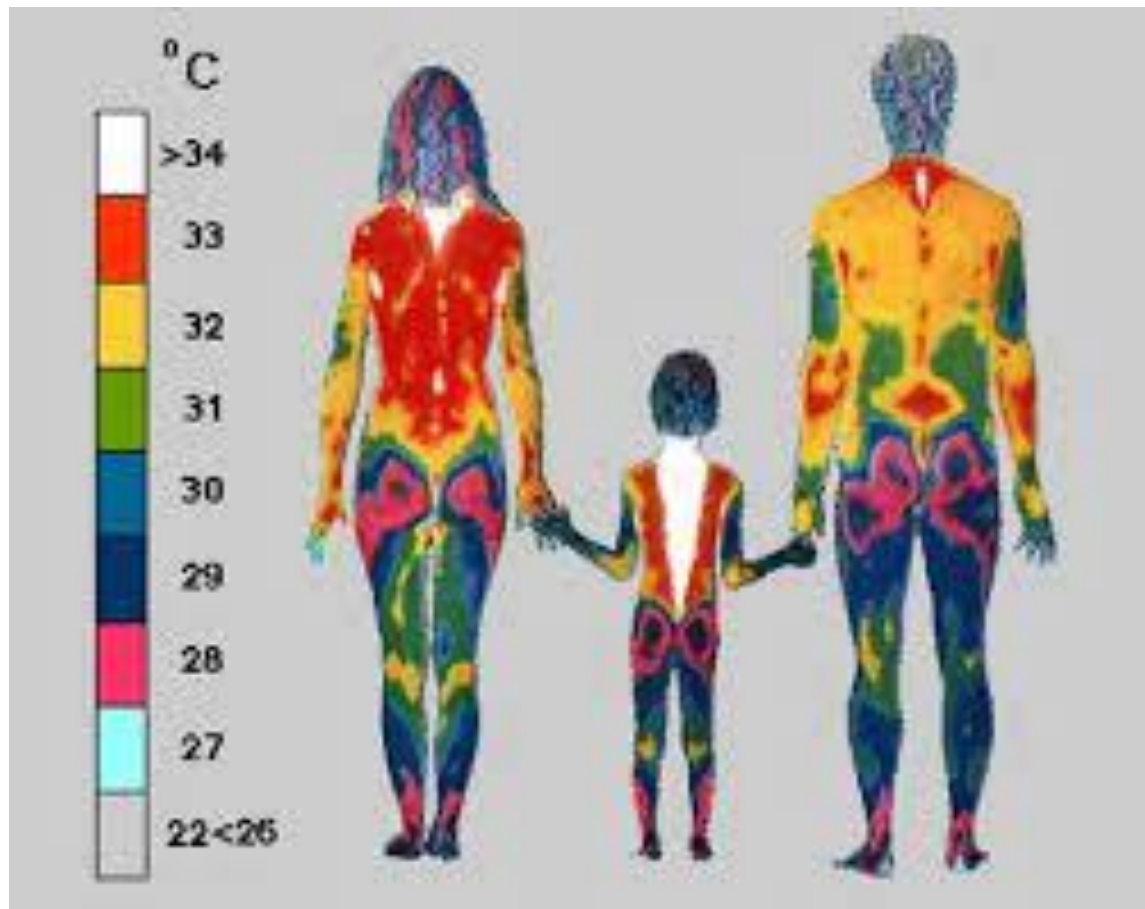
Температура в калориметрі, °C

Температура різних частин тіла оголеного суб'єкта за умови різних температурних режимів калориметра.
 Vasal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22- 35°C.

температура в прямій кишці має особливості порівняно з температурою поверхні тіла – вона менше залежить від температури оточення.

Під час фізичної праці тепло, що виникає внаслідок м'язових скорочень, акумулюється в тілі, і температура в прямій кишці підвищується до 40 °С. Це зростання частково зумовлене слабкістю механізмів тепловиділення в разі різкого збільшення кількості утвореного тепла, проте є підстави вважати, що під час інтенсивної м'язової роботи поряд з посиленням теплоутворення відбувається також активування механізмів тепловіддачі. Температура тіла дещо підвищується і під час емоційного збудження, можливо, внаслідок підсвідомого напруження м'язів. Стійке підвищення температури (приблизно на 0,5 °С) простежується в разі зростання рівня обміну речовин, зокрема у випадку гіпертиреозидизму, а зниження – за умов низького рівня обміну речовин, зокрема у випадку гіпотиреозидизму. Окремі практично здорові дорослі люди постійно мають підвищену температуру (**конституційна гіпертермія**).

Теплові карти людини



3. Теплоутворення

Усі нутрощі, маса яких не перевищує 8% маси тіла, виділяють майже 3/4 усієї теплоти, тоді як шкіра, м'язи, кістки і деякі інші органи, становлячи 92% маси тіла, продукують всього 27,6 % теплоти. Наведені цифри стосуються організму, що перебуває в стані спокою та в зоні температурного комфорту. За цих умов скелетна мускулатура не працює і виробляє дуже мало теплоти, але в зв'язку з тим, що на частку м'язів припадає 40-43%, а у тварин і до 50% маси тіла, загальна кількість теплоти, що виробляється м'язами, досягає 15-20%. Це **нескоротливий термогенез** скелетних м'язів, що є результатом підтримання життя в них. Якщо ж організм потрапляє в середовище з низькою температурою, то роль скелетних м'язів у теплотворенні істотно зростає: вони починають здійснювати **скоротливий термогенез** і при цьому можуть працювати в двох режимах: **терморегуляторного тону** та **холодового дрижання**.

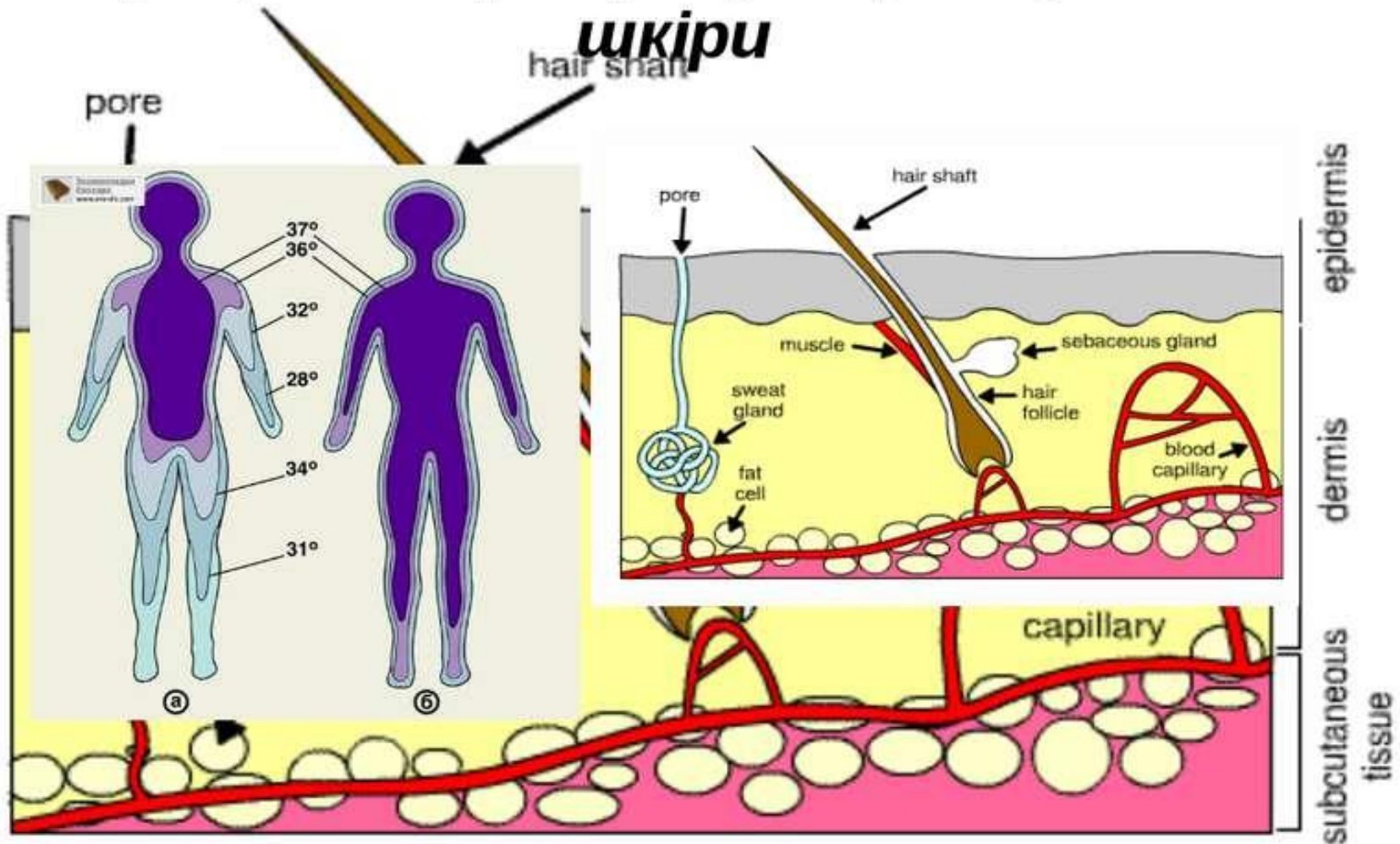
Терморегуляторний тонус полягає в тому, що у м'язах шиї, спини і верхніх (передніх) кінцівок виникають поодинокі скорочення окремих м'язових волокон із частотою 5-10 с⁻¹. Вони скорочуються асинхронно, в результаті розвивається тонічне скорочення скелетних м'язів, що разом з підвищенням теплопродукції підтримує певну позу тіла. У людини типова **поза захисту від холоду**: зігнута спина, зведені плечі, втягнута голова; у тварин - згортання в клубок. **Холодове дрижання** є результатом періодичної залпової низькочастотної активності мотонейронів, що призводить до мимовільних некоординованих скорочень скелетної мускулатури. При цьому виділяється значна кількість теплоти. В умовах холоду одночасно зростає і **нескоротливий термогенез** за рахунок збільшення інтенсивності окисних процесів у печінці й інших органах. У дрібних тварин (до 5 кг) та у людини в ранньому віці між лопатками і на шиї відкладається жирова бура тканина. Під час охолодження організму відбувається інтенсивне розщеплення та окиснення цієї тканини, причому майже вся енергія перетворюється на теплоту.

Завдяки активізації нескоротливого термогенезу теплопродукція організму може зростати в 2-3 рази. Крім шкіри істотну роль у процесах тепловіддачі у багатьох тварин відіграють дихальні шляхи та легені. У людини через них виділяється близько 15% усієї теплоти. За потреби посилення тепловіддачі капіляри шкіри розширюються, кровотік в них зростає, артеріовенозні анастомози (судини прямого переходу від артерій до вен) закриваються. На холоді, навпаки, більша кількість крові шунтується через розміщені глибше розкриті артеріовенозні анастомози, а капілярний кровотік шкіри падає майже до нуля.

Споживання також їжі підвищує теплоутворення внаслідок **специфічної динамічної дії продуктів харчування**.

Окрім споживання їжі і м'язової діяльності, на інтенсивність теплоутворення впливають ендокринні механізми. Адреналін та норадреналін спричинюють швидке, проте короткочасне посилення теплоутворення. Рівень же збудження в симпатичних нейронах знижується під час голодування і підвищується у разі приймання їжі.

Процеси терморегуляції за участі шкіри



4. Тепловіддача

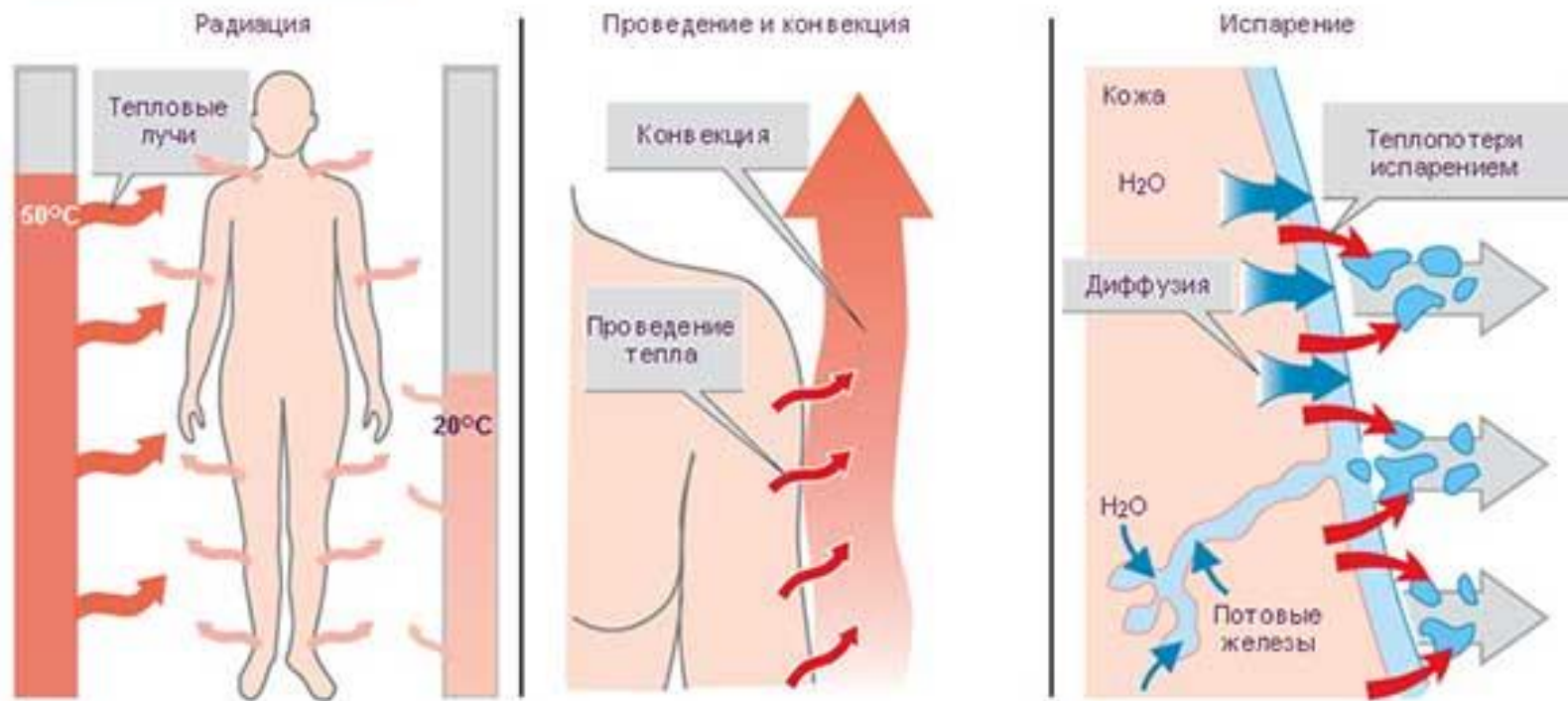
Теплопроведення (кондукція) – віддача тепла під час прямого контакту тіла з іншими фізичними об'єктами. Сухе повітря має низьку теплопровідність, тому шерсть, пір'я чи одяг людини, між волосинками яких затримується повітря, є добрими теплоізоляторами.

Конвекція – перенесення теплоти з поверхні тіла шляхом переміщення нагрітого навколишнього повітря чи води. Природна конвекція відбувається внаслідок переміщення догори нагрітого середовища. Їй перешкоджають покриви шкіри.

Випромінювання – це віддача тепла у вигляді електромагнітних хвиль інфрачервоного діапазону (2-400 мкм), що, по суті, є тепловим випромінюванням. В умовах температурного комфорту (20-22°C) тіло людини віддає шляхом випромінювання близько половини своєї теплоти.

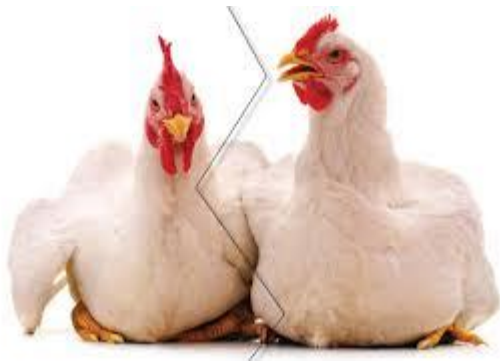
Механізми тепловіддачі

МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛОТДАЧИ



Коли температура зовнішнього середовища вища від температури тіла, інфрачервоне випромінювання поглинається тілом, але крізь шкіру проникає менш гаряче випромінювання короткохвильового діапазону (0,76-1,4 мкм). Перелічені вище шляхи тепловіддачі є ефективними лише тоді, коли температура вища за температуру зовнішнього середовища. Якщо ця температура однакова, то працює лише механізм **випаровування** поту або вологи з поверхні шкіри та слизових дихальних шляхів. У людини в стані спокою за нейтральної температури (20 °С), низької вологості (40-50%) повітря шляхом випаровування виділяється 20-25% усієї теплоти. За температури зовнішнього середовища 32°С, коли тепловіддача іншими шляхами припиняється, частка теплоти, що виділяється випаровуванням, зростає до 90-100%. Щоб за таких умов видалити з організму всю зайву теплоту, людина має виділити 5-6 л поту за добу при нормі близької 500 мл. Так само зростає потовиділення і теплота, що витрачається на випаровування поту під час напруженого фізичного навантаження.

Велика кількість тварин (птахи, хижі ссавці, гризуни) потових залоз не мають. Основним способом тепловіддачі у них є **терморегуляторне поліпноє** – часте поверхове дихання, за допомогою якого у ссавців посилюється виділення води з легень і дихальних шляхів, а у птахів – зі значно васкуляризованої слизової оболонки рота й стравоходу.



5. Механізми терморегуляції

Перелік рефлексорних і напіврефлексорних терморегуляторних реакцій у людини наведено в схемі. Він охоплює автономні, соматичні, ендокринні і поведінкові механізми. Одна з груп реакцій зумовлює посилення тепловіддачі та послаблення теплоутворення, інша - послаблення тепловіддачі і посилення теплоутворення. Загалом, дія тепла стимулює першу групу реакцій і пригнічує другу, а дія холоду чинить протилежний вплив.

Згортання калачиком - поширена реакція на холод у тварин, вона відповідає положенню, якого набуває людина, лягаючи у холодну постіль. Таке згортання зменшує поверхню контакту тіла з зовнішнім середовищем. **Тремтіння** становить підсвідому реакцію скелетних м'язів. Холод спричинює також напівсвідоме загальне підвищення рухової активності; прикладом може слугувати тупцювання і пританцювання в холодну погоду. **Підвищення секреції катехоламінів** є важливою реакцією на холод.

Миші, організм яких не спроможний виробляти норадреналін та адреналін унаслідок нокауту гена дофамін- β -гідроксилази, не переносять холоду. З огляду на недостатню вазоконстрикцію, вони не здатні підвищувати рівень термогенезу в бурій жировій тканині за допомогою ИСР 1. За умов холоду в лабораторних тварин посилюється секреція тиреотропного гормону (ТСГ), яка послаблюється в умовах тепла. У дорослих людей спричинені холодом зміни секреції ТСГ незначні і мають сумнівне значення. Відомо, що рухова активність знижується в гарячу пору - це реакція, яка характеризується висловом «є надто гаряче, щоб рухатись». Терморегуляторні пристосувальні реакції є як місцевими, так і більш ґенералізованими.

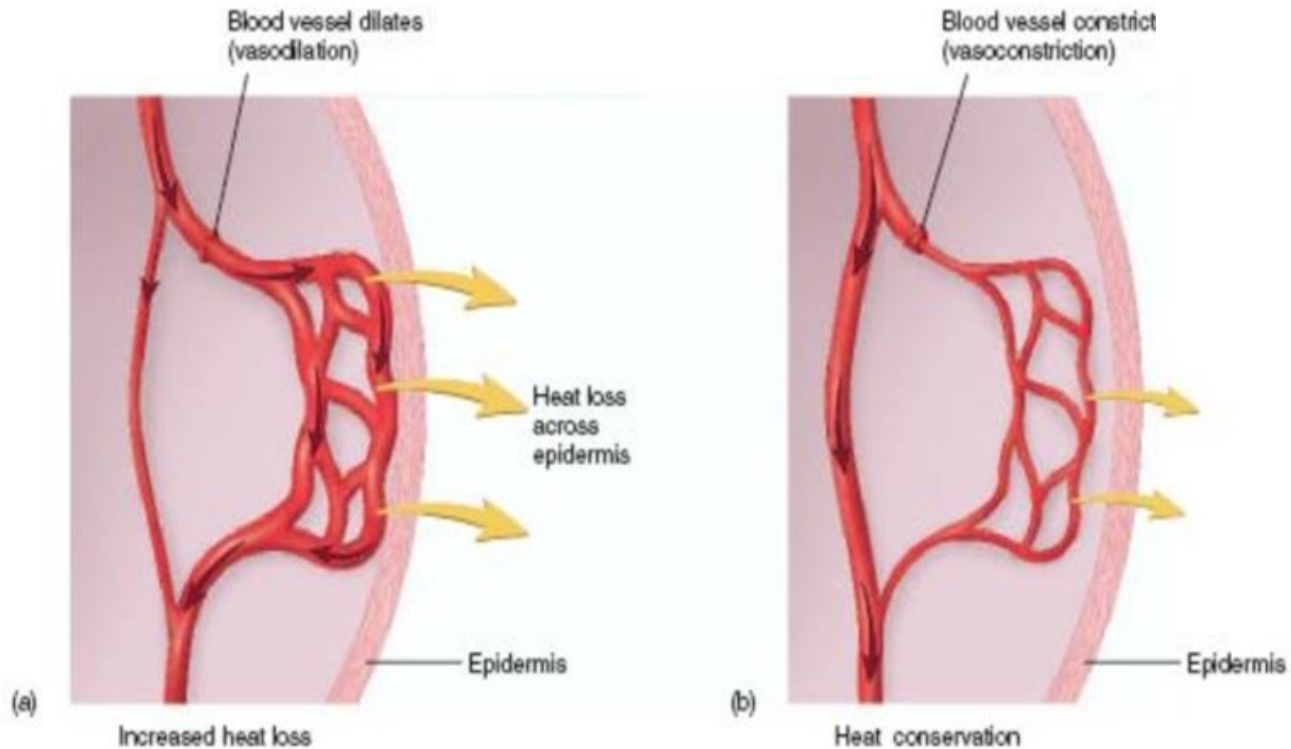
Охолодження шкірних кровоносних судин робить їх чутливішими до катехоламінів, унаслідок чого артеріоли і венули звужуються. Цей локальний ефект на холод спрямовує кров від шкіри. Іншим теплозберігаючим механізмом, важливим для тварин, що проживають у холодній воді, є **передавання тепла з артеріальної крові до венозної** в ділянці кінцівок.

МЕХАНІЗМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГОМЕОСТАЗУ



Роль тону́су судин для терморегуляції

РОЛЬ ТОНУСУ СУДИН ДЛЯ
ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ



Глибокі вени (**вени-супутниці**) розміщені поряд з артеріями, що постачають кров у кінцівки, і тепло передається з гарячої артеріальної крові, яка надходить у кінцівки, до холодної венозної, що йде від кінцівок. Таким способом, хоч кінцівки й охолоджуються, однак тепло тіла зберігається. Рефлекторні реакції, що їх активує холод, регульовані із задніх ділянок гіпоталамуса, а реакції, що їх активує тепло, – переважно з **передніх ділянок гіпоталамуса**, хоча окремі реакції на тепло зберігаються навіть після децеребрації на рівні переднього краю **середнього мозку**. Стимулювання передніх ділянок гіпоталамуса спричинює розширення судин шкіри та потовиділення, а руйнування цієї ділянки зумовлює гіпертермію, за якої ректальна температура інколи досягає 43 °С. Стимулювання задніх ділянок гіпоталамуса спричинює тремтіння, а температура тіла тварин, у яких ушкоджена ця ділянка, знижується до рівня температури навколишнього середовища.

Пrawdopodobно, що серотонін у приматів і людини виконує функцію синаптичного трансмітера в центрах, що регулюють механізми, активовані холодом, і що норадреналін відіграє подібну роль у центрах, активованих теплом.

ЦЕНТРАЛЬНА ЛАНКА ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ

➤ посилення метаболізму

➤ роз'єднання окислення / фосфорилування

➤ м'язове тремтіння

ЗАДНІЙ
ГІПОТАЛАМУС

тепло-
продукція



терморецептори

t°C

I тип

II тип

тепло-
розсіювання

ПЕРЕДНІЙ
ГІПОТАЛАМУС

IV тип

III тип

t°C

➤ розширення судин шкіри

➤ потовідділення

➤ тахіпное (у дітей)

терморецептори

нормальна температура
тіла 36,3–36,8 °C

Холодові
терморецептори

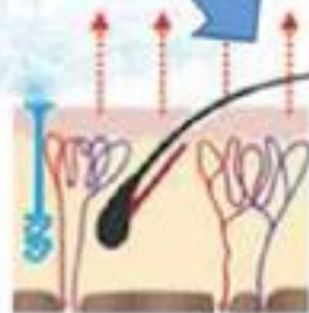
Теплові
терморецептори

ГІПОТАЛАМУС

1. Кровоносні судини шкіри звужуються.
2. Тіло починає треміти завдяки скороченню скелетних м'язів, відповідно збільшується вироблення тепла.



1. Кровоносні судини шкіри розширюються, тепло вивільняється в навколишнє середовище.
2. Потові залози виробляють піт і охолоджують тіло.



Однак є помітні видові особливості температурних реакцій стосовно цих амінів. Деяку роль можуть відігравати також і пептиди, проте детальна характеристика центральних синаптичних контактів апарату терморегулювання ще досі остаточно не з'ясована.

ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНІ МЕХАНІЗМИ

Механізми, активовані холодом

Збільшують теплоутворення Тремтіння Голод

Підвищена вольова активність Підвищена секреція норадреналіну й адреналіну

Зменшують тепловіддачу Звуження судин шкіри Згортання калачиком Гусяча шкіра

Механізми, активовані теплом

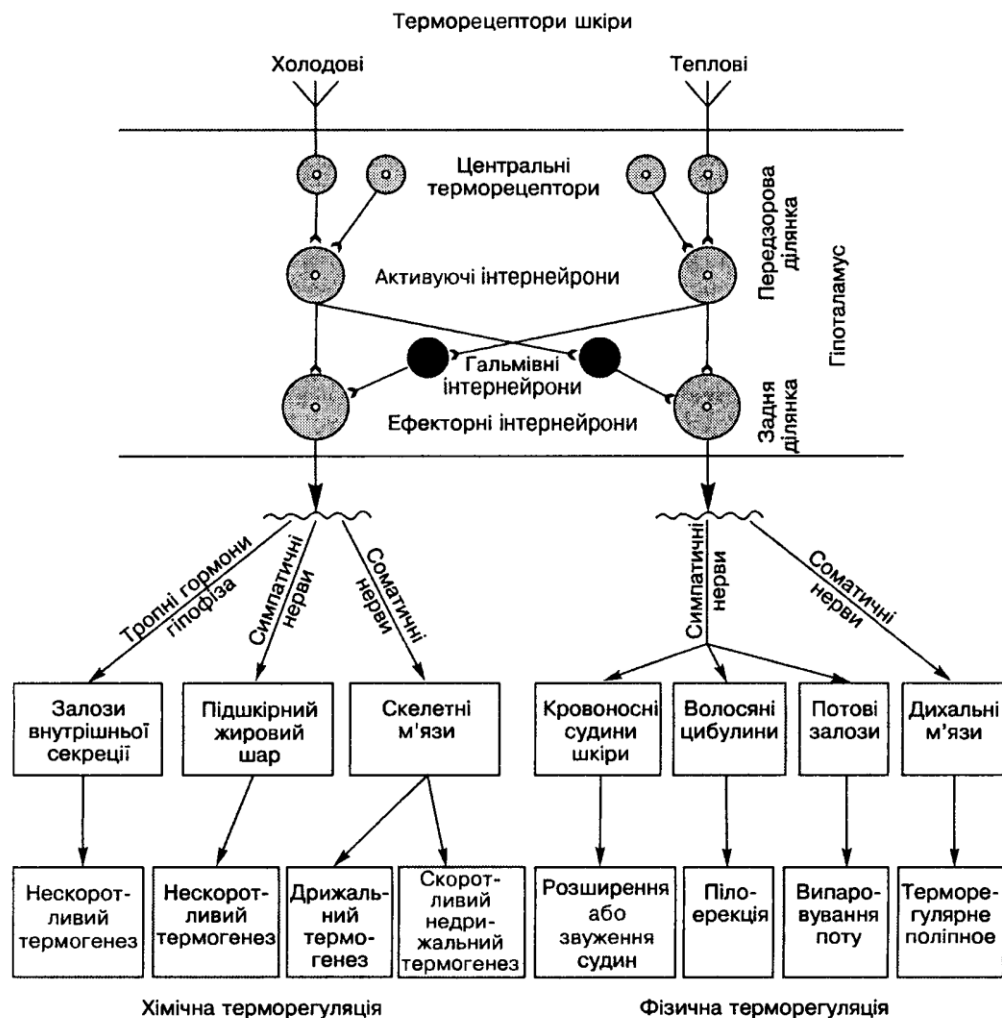
Збільшують тепловіддачу Розширення судин шкіри

Потовиділення Зростання частоти дихання

Зменшують теплоутворення Анорексія Апатія й інертність обміну

6. Аферентний вплив

Гіпоталамус виконує інтегроване регулювання температури тіла у відповідь на інформацію, яку він отримує від чутливих рецепторів (головним чином холодкових) шкіри, глибоких тканин, спинного мозку, позагіпоталамічних частин головного мозку і самого гіпоталамуса. Внесок кожної з цих п'яти ділянок впливу становить приблизно 20% від інформації, що її інтегрує гіпоталамус. Для кожної важливої температурної реакції є свій рівень порогу, і коли його досягнуто, реакція розпочинається. Для потовиділення і вазодилатації він становить 37 °С, для вазоконстрикції – 36,8 °С, для термогенезу, що не супроводжується тремтінням, – 36 °С, а з тремтінням – 35,5°С.



Мал. 88. Схема взаємодії центральних і периферичних (ефекторних) механізмів терморегуляції

7. Гарячка

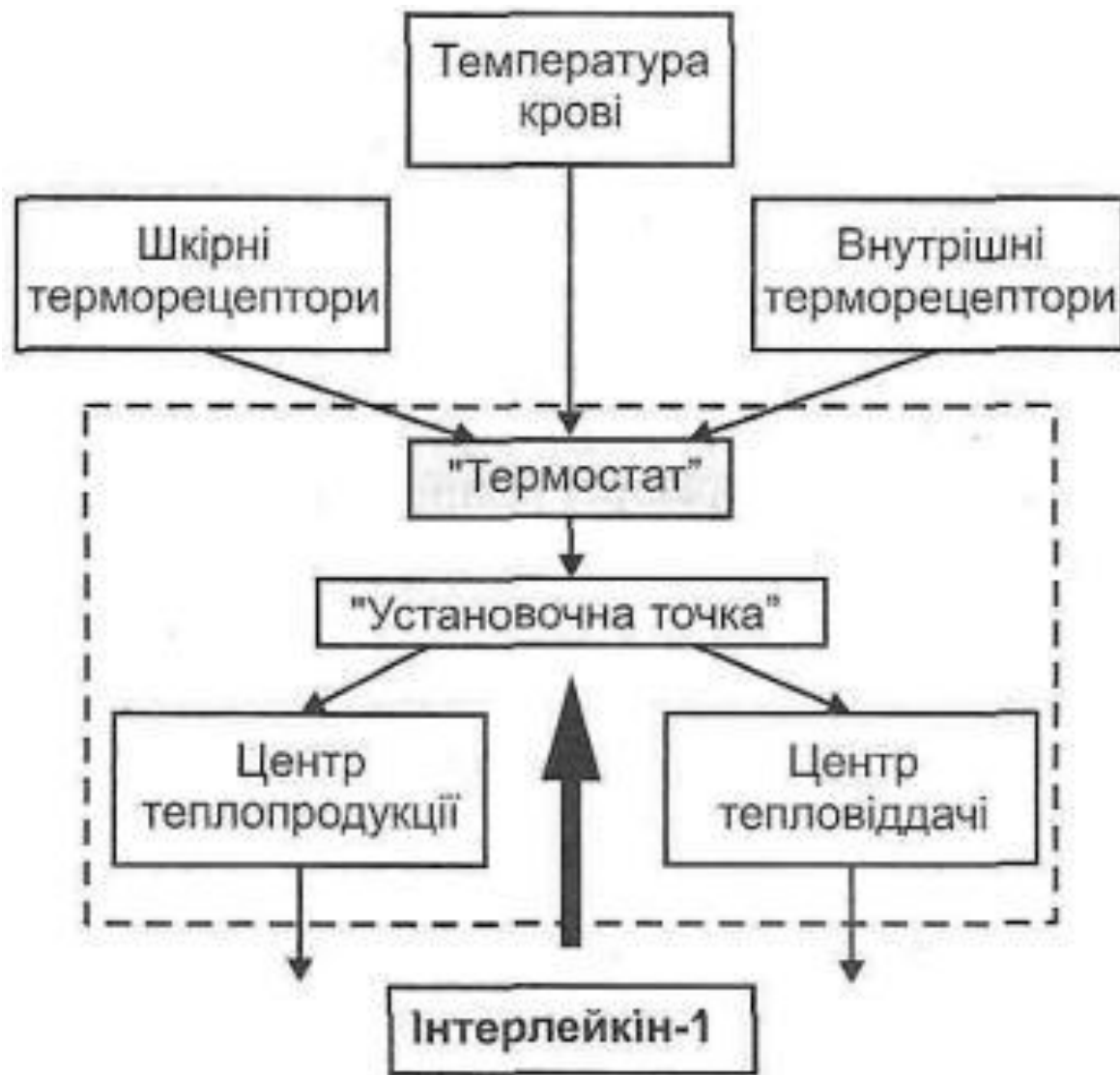
Мабуть, з давніх часів **гарячка** – найвідоміша ознака захворювання. Вона буває не тільки в ссавців, а й у птахів, рептилій, амфібій і риб. У гомойотермних тварин у стані гарячки терморегуляторні механізми такі, ніби вони відрегульовані для підтримання температури тіла на вищому, ніж нормально, рівні, тобто “ніби регулятор термостата встановлений в іншому положенні”, і цей новий рівень відповідає температурі понад 37°C. Температурні рецептори і далі інформують, що наявна температура нижча, ніж новий заданий рівень, і механізми, завдяки яким вона підвищується, надалі активуються. Внаслідок цього виникає відчуття холоду, зумовлене звуженням судин, а інколи навіть тремтіння, що переходить в озноб. Характер відповіді залежить від температури оточення.

Підвищення температури після ін'єкції **пірогену** експериментальним тваринам більше зумовлене підсиленням реакції теплоутворення, якщо тварини перебувають у холодному середовищі, і зниженням тепловитрати, якщо тварини є в теплі.

Токсини бактерій, такі як ендотоксин, впливають на моноцити, макрофаги і клітини Купфера, змушуючи їх виробляти цитокіни, що діють як **ендогенні пірогени (ЕП)**. Є значна вірогідність, що ІЛ-1В, ІЛ-С можуть самі спричинити гарячку.

Ці **цитокіни** – поліпептиди, і сумнівно, щоб вони проникали в речовину головного мозку. Навпаки, вірогідно, що вони впливають на СОКП, один із навколошлуночкових органів. Це, відповідно, зумовлює активацію передзорового поля гіпоталамуса. Цитокіни теж утворені клітинами ЦНС за умов їхнього стимулювання в разі інфекції, і тоді вони можуть діяти безпосередньо на центри терморегуляції.

Гарячка, що виникає під впливом цитокінів, очевидно, зумовлена локальним виділенням у гіпоталамусі простагландинів.



Ін'єкція простагландинів у ділянку гіпоталамуса спричинює гарячку. Крім того, жарознижувальний засіб аспірин впливає безпосередньо на таламус. Відомо також, що аспірин пригнічує синтез простагландинів. Однак досі тривають дебати стосовно ролі простагландинів гіпоталамуса.

ПГЕ2 - один з простагландинів, що спричинюють гарячку. Він діє на чотири субтипи простагландинових рецепторів - EP, EP2, EP3 і EP4. Нокаут EP3- рецептора послаблює температурну реакцію, що виникає під впливом ПГЕ2, ІЛ-1 (3) і бактеріального ліпополісахариду (ЛПС).

Значення гарячки для організму не з'ясоване. Вона, очевидно позитивна, оскільки розвинулась у процесі еволюції і є реакцією на розвиток інфекції та інші захворювання. Багато мікроорганізмів ліпше розвиваються і розмножуються за умов деякого, порівняно вузького, температурного режиму, і підвищення температури пригнічує їхній ріст. Крім того, синтез антитіл посилюється в умовах підвищення температури тіла.

ЗМІЩЕННЯ НАСТАНОВНОЇ ТОЧКИ ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ ПРИ ГАРЯЧЦІ



Перед винайденням антибіотиків гарячку штучно спричинювали, намагаючись лікувати нейросифіліс, і ці спроби виявились успішними. Гіпертермія доцільна в разі захворювання на сибірку, пневмококову пневмонію, проказу, грибкові, вірусні інфекції і рикетсіози. Вона також сповільнює ріст окремих злоякісних пухлин.

Однак дуже висока температура шкідлива. Якщо температура в прямій кишці підвищується понад 41 °С і зберігається на цьому рівні протягом тривалого часу, то виникають певні незворотні ушкодження в тканинах головного мозку, а якщо вона сягає 43 °С, то настає **тепловий удар** і часто смерть.

У разі злоякісної гіпертермії мутація гена, що кодує рецептор ріанодину, спричинює надмірне вивільнення Ca²⁺ під час скорочення м'язів, зумовленого стресом. Це, відповідно, спричинює контрактуру м'язів, підвищення в них рівня метаболізму і теплоутворення. Посилене теплоутворення призводить до сильного підвищення температури тіла, яке без втручання спричинює смерть. Такий стан зумовлюють різні мутації рецепторного гена в людини, а поодинокі мутації цього гена в свиней доволі поширені.

8. Гіпотермія

У ссавців, які впадають у зимову сплячку, температура тіла значно знижується, не спричинюючи ніяких патологічних змін, про що свідчить їхнє наступне пробудження й активність. Ці спостереження спонукали до експериментів з індукованою **гіпотермією**. Якщо шкіру або кров охолодити до температури, що нижча від температури тіла, то в тварин, які не впадають у сплячку, а також у людини рівень метаболічних і фізіологічних процесів послабиться: сповільниться дихання і серцеві скорочення, знизиться кров'яний тиск аж до непритомності. Зі зниженням температури в прямій кишці до 28 °С можливість спонтанного повернення температури до нормального рівня втрачається, проте особа жива, і відігрівання зовнішнім теплом поверне її до нормального стану.

Температура тіла



Зниження температури тіла в людини до 21-24°C не спричинює стійких патологічних змін, і таку індуковану гіпотермію широко використовують у хірургічній практиці.

У пацієнта, який перебуває в стані гіпотермії, протягом порівняно тривалого часу може бути зупинена кровотеча, оскільки потреба тканин в O₂ значно зменшується; кров'яний тиск знижується, а крововтрати стають мінімальними. За умов гіпотермії з'являється можливість зупинити серце, оперувати його, а також виконувати інші маніпуляції, зокрема операції на головному мозку, які неможливі без охолодження.

З іншого боку, випадкова гіпотермія, зумовлена тривалим перебуванням на холодному повітрі або в холодній воді, може мати серйозні наслідки і тому потребує старанного обстеження та негайного відігрівання.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!