

ЛЕКЦІЯ №13

з курсу «Фізіологічна екологія» на тему: «Тепловий обмін і терморегуляція»

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

ПЛАН

1. Загальний вплив тепла та холоду на живі системи.
2. Температура тіла пойкилотермних тварин.
3. Терморегуляція у пойкилотермних тварин.
4. Еволюція гомойотермності.
5. Температура тіла гомойотермних тварин.
6. Терморегуляція у гомойотермних тварин.
7. Морфологічні адаптації до тепла та холоду.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гончаренко М. С., Бойчук Ю. Д. Екологія людини : підручник. Суми : Університетська книга. 2023. 400 с.
2. Екологічна фізіологія людини : навч. посіб. для студентів спеціальності 091 Біологія, освітньо-професійних програм Біологія, Лабораторна діагностика / укладачі : Т. Ф. Поручинська, І. Ф. Пасичнюк, А. І. Поручинський. Луцьк : ВНУ імені Лесі Українки, 2021. 272 с.
3. Мазуркевич А. Й., Карповський В.І ., Камбург М. Д., Федорук І. С. Фізіологія тварин. Вінниця : Нова книга, 2012. 424 с.
4. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом [Текст = Guyton and Hall. Textbook of Medical Physiology : підруч.: 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.
5. Мороз О. І., Петрушка І. М., Кузь О. Н., Руда М. В. Технології адаптації до змін клімату : навч. посібник. Львів : Львівська політехніка, 2022. 452 с.
6. Пашко К. О., Кашуба М. О., Лотоцька О. В. Гігієна та екологія : підручник. Терновіль : Укрмедкнига, 2022. 528 с.
7. Фізіологія : підруч. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / за ред. В. Г. Шевчука. 5-те вид. Вінниця : Нова книга, 2021. 448 с.

1. Загальний вплив тепла та холоду на живі системи

Життя на Землі підтримується складними хімічними та фізико-хімічними процесами, що відбуваються у водному розчині білків та інших органічних і неорганічних речовин (цитоплазма клітин, тканинна рідина, кров, лімфа). Зрозуміло, що ці процеси припиняються, коли вода в організмі замерзає або коли білки рідин тіла починають денатурувати при високих температурах. Отже, життя тварин можливе у досить вузькому діапазоні температур в організмі – від $-1,8$ до $+50^{\circ}\text{C}$. Крім того, будь-які хімічні реакції, зокрема біохімічні, істотно залежать від температури. Так, згідно **правила Вант-Гоффа** коефіцієнт Q_{10} , що характеризує зміну швидкості реакції за зміни температури на 10°C , для біохімічних реакцій становить 2 і більше. Ця обставина також свідчить про значення температури для життєвих процесів.

Діапазон температур на Землі дуже широкий: від -70°C в центрі Антарктиди до $+70^{\circ}\text{C}$ в приєкваторіальних пустелях і значно перевищує температурні межі для живих організмів. Навіть в умовах помірного клімату, як наприклад, в Україні, температура повітря влітку часто досягає $+30^{\circ}\text{C}$ і більше, а взимку – нижче -30°C . Щоб вижити в екстремальних температурних умовах, у тварин розвинулось два принципово різних типи пристосувань.

Одні тварини набули здатності витримувати значні коливання температури тіла - це **пойкілотермні** (від грец. poikilos – різноманітний + therme – тепло, жар), або холоднокровні організми – тварини з несталою температурою тіла, яка залежить від температури зовнішнього середовища. До цієї групи входять усі безхребетні та нижчі хребетні. У птахів і ссавців розвинулись досконалі механізми терморегуляції, завдяки чому температура їхнього тіла підтримується на сталому рівні. Це **гомойотермні** (від грец. homoios, homos – подібний, схожий + therme – тепло, жар), або теплокровні організми. Тканини і клітини їхнього тіла, на відміну від пойкилотермних тварин, втратили здатність витримувати значні відхилення температури від оптимальної. Отже, пойкилотермні та гомойотермні організми різняться між собою за ступенем досконалості терморегуляції і здатності витримувати значні перепади температури тіла.

Терміни «холоднокровні» й «теплокровні» організми не повністю відображають суть відмінності між ними хоча б тому, що у багатьох холоднокровних тварин температура тіла й крові часто вища, ніж у теплокровних, як, наприклад, у бджоли під час польоту або у змії, що гріється на сонці.

За іншою класифікацією, яка ґрунтується на джерелах теплової енергії тварин, що отримують теплоту із зовнішнього середовища (сонячне проміння, нагріте повітря), називають **ектотермними**, а тварин, які продукують теплоту в своєму організмі, – **ендотермними**. Такий поділ також не позбавлений недоліків.

Практично всі живі організми під час руху чи в процесі біохімічних реакцій обміну речовин продукують більшу чи меншу кількість теплоти, тобто є ендотермними.

2. Температура тіла пойкилотермних тварин

Пойкілотермні тварини живуть і проходять повний життєвий цикл, як правило, при позитивних температурах. Виняток становлять лише мешканці полярних морів, де майже завжди температура нижча від нуля ($-1,8^{\circ}\text{C}$). У переважній більшості випадків підтримання відносно сталої температури тіла можливе при коливаннях температури середовища в дуже вузькому діапазоні – в зоні температурного комфорту для певного виду тварин. За межами цієї зони температура тіла пасивно змінюється відповідно до зміни температури середовища. Хоча температура тіла пойкилотермних тварин близька до температури зовнішнього середовища, а у водних організмів однакова з ним, проте навіть у останніх спостерігається підвищення температури тіла на $5-10^{\circ}\text{C}$, зумовлене роботою м'язів.

Пристосування пойкилотермних тварин до критичних температур зовнішнього середовища дає їм змогу витримати тимчасово чи жити постійно в умовах, що виходять за межі життєвих. Пойкілотермні мешканці полярних морів мають температуру тіла $-1,8 \dots 1,9^{\circ}\text{C}$, хоча їхня кров відповідно до її осмолярності повинна замерзати за температури $-0,6^{\circ}\text{C}$. Це пов'язано з наявністю в їхній крові **спеціалізованих глікопротеїдів**, які виконують функцію **антифризу**, знижуючи температуру замерзання рідин тіла.

Аналогічну роль у багатьох наземних безхребетних виконує гліцерин, концентрація якого в гемолімфі у деяких комах досягає взимку 16-25%. Завдяки цьому запобігається утворення льоду і відбувається переохолодження організму до -20...-30 °C і навіть до -47 °C без замерзання.

Інші безхребетні здатні витримувати замерзання рідин тіла. Так, личинка комара *Chironomus* зберігає життєдіяльність після багаторазового заморожування і розморожування. Важливим для виживання моментом є те, що 10% води в організмі тварини не замерзає. Щодо високих температур, то верхньою межею діяльного життя тварин вважають +50 °C, хоча перебувати в таких температурних умовах можуть лише окремі види тварин, акліматизовані до жарких пустель. Так, для денних ящірок пустелі летальна температура досягає значень 49-50 °C. Теплова смерть для багатьох степових комах (метеликів, коників, цикад) настає за температури 40-46 °C. Проте для тварин помірних і прохолодних кліматичних поясів верхня межа температури істотно знижується. Причиною теплової смерті тварин є не стільки денатурація білків, скільки відмінності в температурній чутливості різних ферментних систем організму. Якщо одна з таких систем, що має низьке значення Q₁₀ зі зниженням температури почне функціонувати повільніше, ніж інші, то це може загальмувати чи зупинити функцію інших ферментних систем, спричинити порушення фізіологічних процесів і смерть.



«Крижана» антарктична риба *Champsocephalus gunnari*, здатна існувати в умовах до $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Пустельна ящірка **шипохвіст** з Північної Африки, Південно-Західної і Центральної Азії. Цим ящіркам Африки властива підвищена стійкість до високих температур. При цьому температура тіла шилохвостів підіймається до $43\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$, чого не витримують усі інші ящірки.



Личинка комара *Chironomus* зберігає життєдіяльність після багаторазового заморожування і розморожування

В екстремальних умовах, коли температура зовнішнього середовища наближається до критичних для життя значень, більшість пойкилотермних тварин впадають у сплячку – **діапаузу**, коли рухова активність, харчування і ріст тварин припиняються, уповільнюються обмін речовин і дихання, гальмується робота серця та всіх внутрішніх органів. При цьому температура тіла стає однаковою з температурою зовнішнього середовища. Прикладом можуть бути жаби, які з настанням холодів збираються до купи і впадають у сплячку, проте тут причиною є нестача води в сухі періоди року.

Членистоногі за несприятливих для життя умов (дуже висока або низька температура, пересихання) впадають не тільки в сплячку, а й у стан **анабіозу**, під час якого майже повністю припиняються всі життєві процеси – дихання, обмін речовин, кровообіг.

Діапауза у комах і кліщів



Жаби в анабіозі



3. Терморегуляція у пойкилотермних тварин

Механізми підтримання температури тіла пойкилотермних тварин такі:

1. Теплопродукція (термогенез, ендотермія).
2. Поглинання сонячного випромінювання або зовнішньої теплоти (ектотермія).
3. Тепловіддача.

Співвідношення між цими механізмами у наземних тварин змінюється протягом доби і року, чим забезпечується необхідний для виживання рівень температури тіла в різних умовах.

Термогенез (ендотермія), або теплотворення, теплопродукція, властивий всім тваринам, що мають досить розвинену м'язову систему. За рахунок скорочення м'язів утворюється теплота, що зігріває тіло. Температура тіла тунця чи акули під час руху може бути на 7-15 °C вищою від температури води.

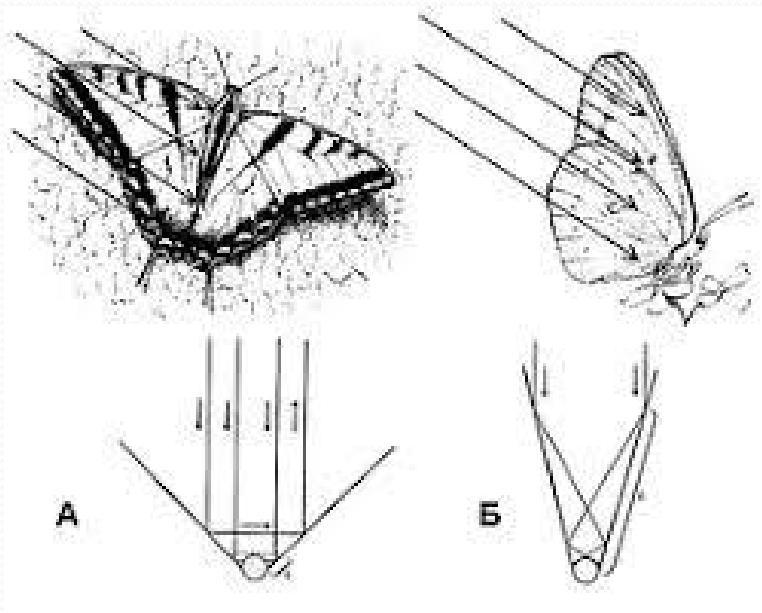
Проте в цілому теплопродукція у пойкилотермних тварин значно нижча, ніж у гомойотермних. Ця обставина не дає змоги їм магі сталу високу температуру тіла, проте, з іншого боку, це значно зменшує їхню потребу в їжі, дає змогу набагато економніше використовувати енергетичні ресурси організму.

Поглинання сонячного випромінювання або зовнішньої теплоти (ектотермія) властиве денним тваринам. Після прохолодної ночі метелик розправляє на сонці свої яскраві крила та швидко нагрівається за рахунок сонячного проміння. У спеку, навпаки, крила метелика складені паралельно сонячним променям – поглинальна поверхня зведена до мінімуму. Завдяки поглинанню сонячної енергії температури тіла у деяких комах, особливо полярної зони, може перевищувати зовнішню температуру на 10-20 °С. Тепловіддача є обов'язковим механізмом регуляції температури тіла у пойкилотермних тварин. За законами термодинаміки, теплота завжди переходить від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. Проте досить часто у тварин виникає потреба віддавати надлишок теплоти в середовище з температурою вищою, ніж у самої тварини. Для цього широко використовується випаровування води з поверхні тіла.

Випаровуванням води з поверхні тіла підтримують свою температуру в межах оптимальної багатоніжки, мокриці, численні комахи, і хоча хітиновий покрив тіла останніх воду не пропускає, випаровування відбувається через дихальця, завдяки чому температура тіла сарани, наприклад, зменшується на 2-6 °С. Джерелом води у цих тварин є метаболічна вода, що утворюється при окисненні харчових речовин.

Для інших потреб, особливо у пустельних членистоногих, **вода** використовується дуже економно; вона максимально **реабсорбується в задній кишці, й екскременти разом із сечею істотно зневоднюються**. При низькій вологості повітря за рахунок випаровування секрету шкірних залоз температура тіла жаби знижується на 6-9 °С порівняно з 27 °С повітря. Хоча тіло у ящірок вкрито лускою, що не пропускає воду, ящірки, за температури середовища понад +42 °С, посилюють дихання, в результаті чого зростає **випаровування води з верхніх дихальних шляхів**. Велику роль у стабілізації температури тіла у ящірок відіграє **пігментація шкіри**. Ящірка з роду *Uromastix*, маючи темне забарвлення шкіри, нагрівається на сонці до 41 °С. За цієї температури відбувається скорочення меланоцитів її шкіри, вона світлішає і починає відбивати більше теплового проміння, ніж поглинати: нагрівання тіла припиняється. Стан меланоцитів і відповідно пігментація шкіри регулюється гормонами проміжної частини гіпофіза – меланотропіном (інтермедином) і шишкоподібної залози (епіфіза) – мелатоніном. Обидві залози найтісніше пов'язані з проміжним мозком. Важливо зазначити, що вже у перших наземних хребетних регуляція температури тіла пов'язується з діяльністю проміжного мозку, в одному з відділів якого – гіпоталамусі – у гомойотермних тварин міститься **терморегуляторний центр**.

Більшості пойкилотермних тварин властивий ще один механізм підтримання температури. Це **поведінкові реакції**: тварина змінює місцеперебування в пошуках середовища з оптимальною температурою, тобто відбувається **вибір температурного преферендуму**. Так, метелики, як і ящірки, вранці за невисоких температур повітря гріються на сонці, а за високих ховаються в тінь. Багато членистоногих гарячих пустель у найспекотніші години дня зариваються в пісок, де прохолодніше, а чимала їх кількість веде вечірній або нічний спосіб життя.



Класичний приклад поведінкової терморегуляції метеликом:

- А) за умов широко розкритих крил промені слабо нагрівають невелике за розміром тіло;
- Б) метелик регулює кут розкриття крил таким чином, щоб максимальна кількість відбитих променів потрапляла на тіло.



Скоротливий термогенез



Ящірка з роду *Uromastix*

4. Еволюція гомойотермності

Перші гомойотермні тварини, примітивні ссавці і птахи, з'явилися на Землі на межі між мезозойською та кайнозойською ерами, близько 70 млн. років тому. Їх появу пов'язують зі значним похолоданням на земній кулі в зв'язку з черговим льодовиковим періодом. Для виживання тварин у складних кліматичних умовах необхідною була здатність тимчасово припиняти життєдіяльність, як це робить більшість пойкилотермних тварин, або виробляти механізми стабілізації температури тіла і нові, складніші форми поведінки, що було доступно лише тваринам з розвиненою нервовою системою. Птахи і ссавці мали таку розвинену нервову систему з великими півкулями головного мозку. З іншого боку, нормальна робота складної розвиненої нервової системи потребувала стабілізації такого важливого показника гомеостазу, температури мозку й тіла. Цю функцію – підтримання сталої температури тіла – може здійснювати лише добре розвинена ЦНС вищих хребетних, в гіпоталамусі – одному з відділів проміжного мозку якої формується **центр терморегуляції**. Крім розвитку ЦНС не менш важливу роль відіграють екологічні чинники: пристосування до умов середовища (температури, вологості), наявність їжі тощо. Завдяки цим чинникам деякі пойкилотермні тварини могли протягом певних періодів життя мати майже сталу, відмінну від зовнішнього середовища температуру тіла. Так само серед гомойотермних тварин є організми, які можуть у певні періоди змінювати температуру свого тіла, пристосовуючись до умов зовнішнього середовища.

5. Температура тіла гомойотермних тварин

Серед гомойотермних тварин є організми з різною температурою тіла. Нижчі ссавці (однопрохідні, сумчасті) ще до певної міри зберігають температурні характеристики пойкилотермних тварин. Вони мають дещо нижчу температуру тіла, і вона може змінюватись у межах від $+25$ до $+36$ °C залежно від температури зовнішнього середовища, що пов'язано з недостатньо сформованими механізмами терморегуляції. Плацентарні ссавці мають вищу і досить стабільну температуру тіла, яка практично не залежить від температури зовнішнього середовища і коливання якої не перевищують ± 2 °C порівняно з нормальним рівнем. Ще вища і також стабільна температура тіла у птахів ($39-41$ °C), причому у дрібних птахів вона вища, ніж у великих. Серед ссавців є чимало тварин, у яких добові або сезонні коливання температури тіла виходять за межі 38 ± 2 °C, властиві групі вищих ссавців. Це **гетеротермні** (від грец. hetero - інший, різний + therme – тепло, жар) **тварини**, до яких належить велика кількість видів комахоїдних, рукокрилих, гризунів, а також представники однопрохідних і сумчастих тварин. Ці тварини взимку впадають в глибоку сплячку зі значним зниженням обміну речовин і функцій більшості систем організму. Температура тіла при цьому знижується до $2-10$ °C. У деяких тварин (ведмеді, борсуки, єноти), сплячка має факультативний характер – тварини можуть прокидатись або й зовсім не спати, пригнічення життєдіяльності не таке глибоке, температура тіла знижується на $3-10$ °C і на такому рівні підтримується весь період сплячки.

Тварини, які впадають у гібернацію



Їжак



Качкодзьоб



Борсук



Сурок



Соня



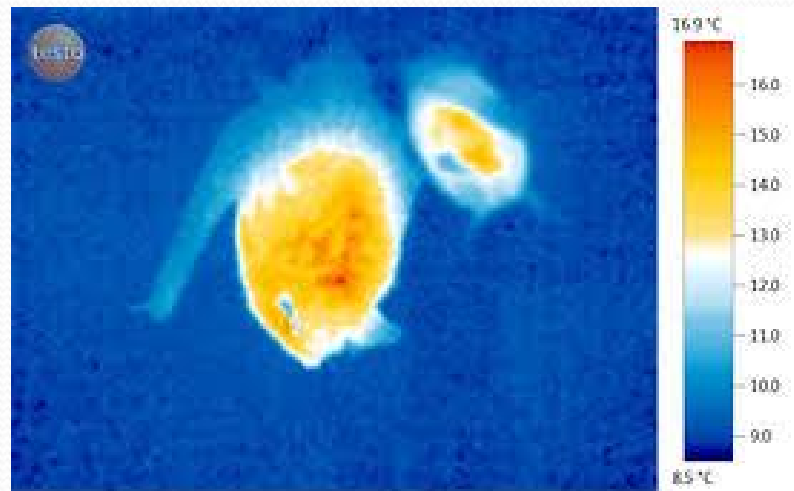
Єнот



Ведмідь



Масове скупчення кажанів
на зимівля



Термограма тіла кажана під
час гібернації

Явище **зимової (гібернацію)**, а в деяких випадках і **літньої сплячки (естивація)** властиве як нижчим, так і вищим ссавцям, є результатом пристосування тварин до несприятливого для життя періоду (нестача їжі, надмірно низька чи висока температура, вологість середовища). Водночас тварини цих самих рядів чи родин, які здійснюють сезонні міграції, в зимову сплячку, як правило, не впадають. Добові зміни температури тіла у більшості гомойотермних тварин не перевищують $\pm 2^{\circ}\text{C}$ і можуть спостерігатись незалежно від рівня їхньої рухової активності. Основним чинником добових коливань температури тіла є спосіб життя: у денних тварин температура тіла зростає вдень і знижується вночі, у нічних навпаки, вона вища вночі, ніж удень. Згідно **правила Ашоффа** збільшення інтенсивності безперервного освітлення викликає у нічних видів зменшення загальної активності. Ця обставина також буде відбиватися на показнику температури тіла, призводячи до його зниження. Досконала терморегуляція у гомойотермних тварин формується протягом певного часу після народження. їхнє потомство на момент народження є цілком або частково пойкилотермним. У тварин, що впадають у зимову сплячку, а також у нагніздних птахів температура тіла малят цілком залежить від температури середовища.

Потомство виводкових птахів, а також багатьох ссавців (копитні, мавпи) вже на момент народження має досить розвинуту, але ще не досконалу терморегуляцію. Молоді тварини здатні підтримувати температуру свого тіла, однак на дещо вищому і не досить сталому рівні. Тобто розвиток терморегуляції у цих тварин починається ще у внутрішньоутробному чи внутрішньоаяйцевому (у виводкових птахів) періоді, а завершується з переходом до самотійного життя. Проте у великих тварин цей процес розтягується на кілька місяців. У людини ставлення терморегуляція завершується на кінець другого року життя.



6. Терморегуляція у гомойотермних тварин

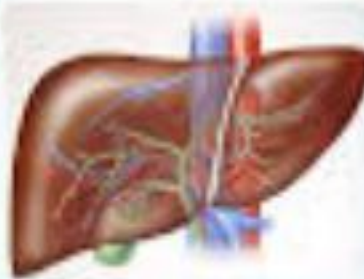
Фізіологічні механізми терморегуляції гомойотермних організмів включають як зміни теплотворення, так і зміни тепловіддачі. До цих процесів залучаються майже всі органи та системи й тільки в підсумку спрямованої зміни функції кожної системи температура тіла ссавців і птахів залишається на сталому рівні або у рамках закономірних фізіологічних коливань. Для підтримки сталої температури тіла гомойотермні тварини продукують у 10-30 разів більше теплоти, ніж пойкилотермні. Мають значення не тільки біохімічні перетворення, які відіграють основну роль у процесах теплотворення, а й механічні (рухи частин тіла, органів) та електричні (мембранний потенціал, потенціал дії) процеси, оскільки за законом збереження енергії всі види енергії врешті-решт перетворюються на теплоту. Отже, всі органи і тканини тіла продукують теплоту, але неоднаковою мірою. Найбільшу кількість теплоти в стані спокою організму виробляють печінка, мозок і серце, що пов'язано з їх високою функціональною активністю, інтенсивним кровопостачанням і надходженням до них кисню.

Роль органів при теплопродукуванні

м'язи
60%



інші органи
10%



Печінка
30%



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, вироблюваної 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. Перший 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.



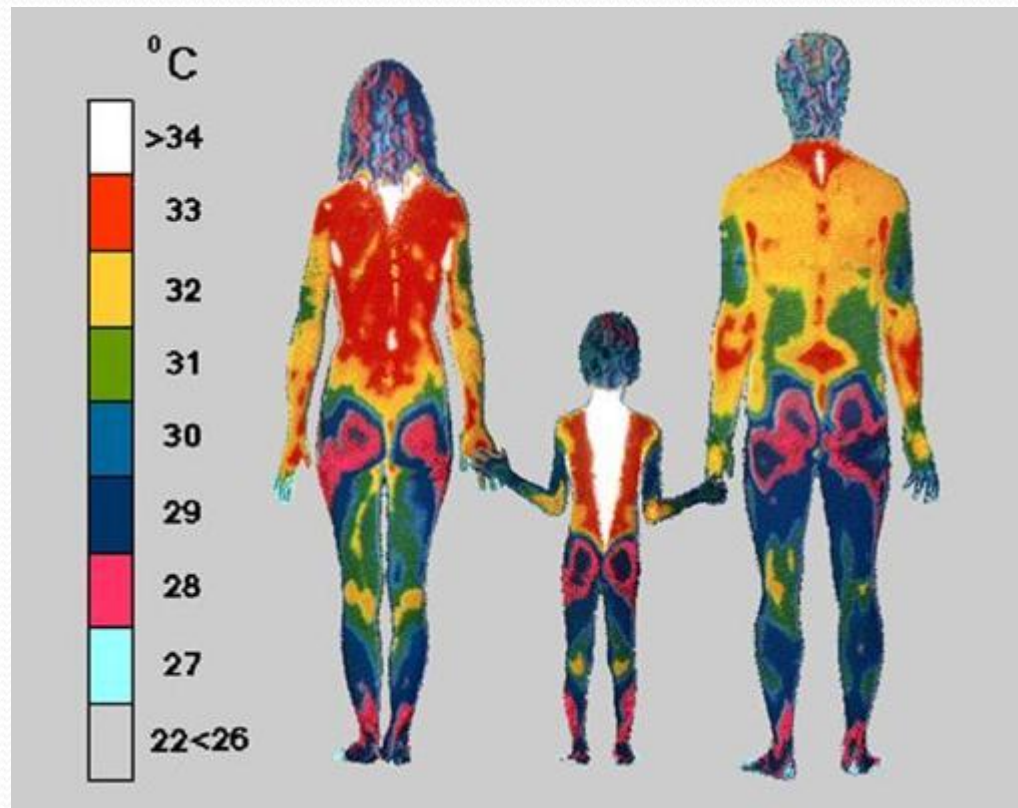
В умовах холоду одночасно зростає і нескоротливий термогенез за рахунок збільшення інтенсивності окисних процесів у печінці й інших органах. У дрібних тварин (до 5 кг) і у людини в ранньому віці між лопатками і на шії відкладається жирова бура тканина. Під час охолодження організму відбувається інтенсивне 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 розмішені глибше розкриті артеріовенозні анастомози, а капілярний кровотік шкіри падає майже до нуля.

Теплота з поверхні тіла віддається назовні кількома способами: теплопроведенням, конвекцією, випромінюванням та випаровуванням.

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, що утримують несівний субстрат.

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. 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.



Теплові карти людей

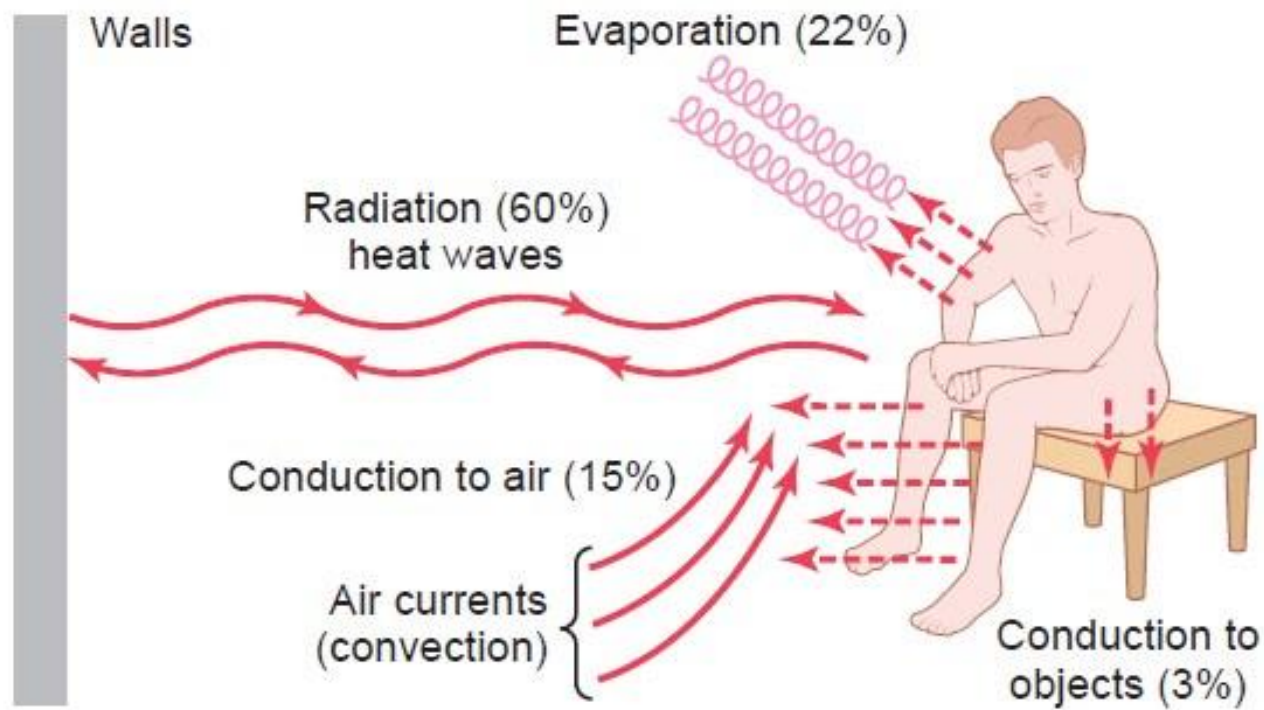
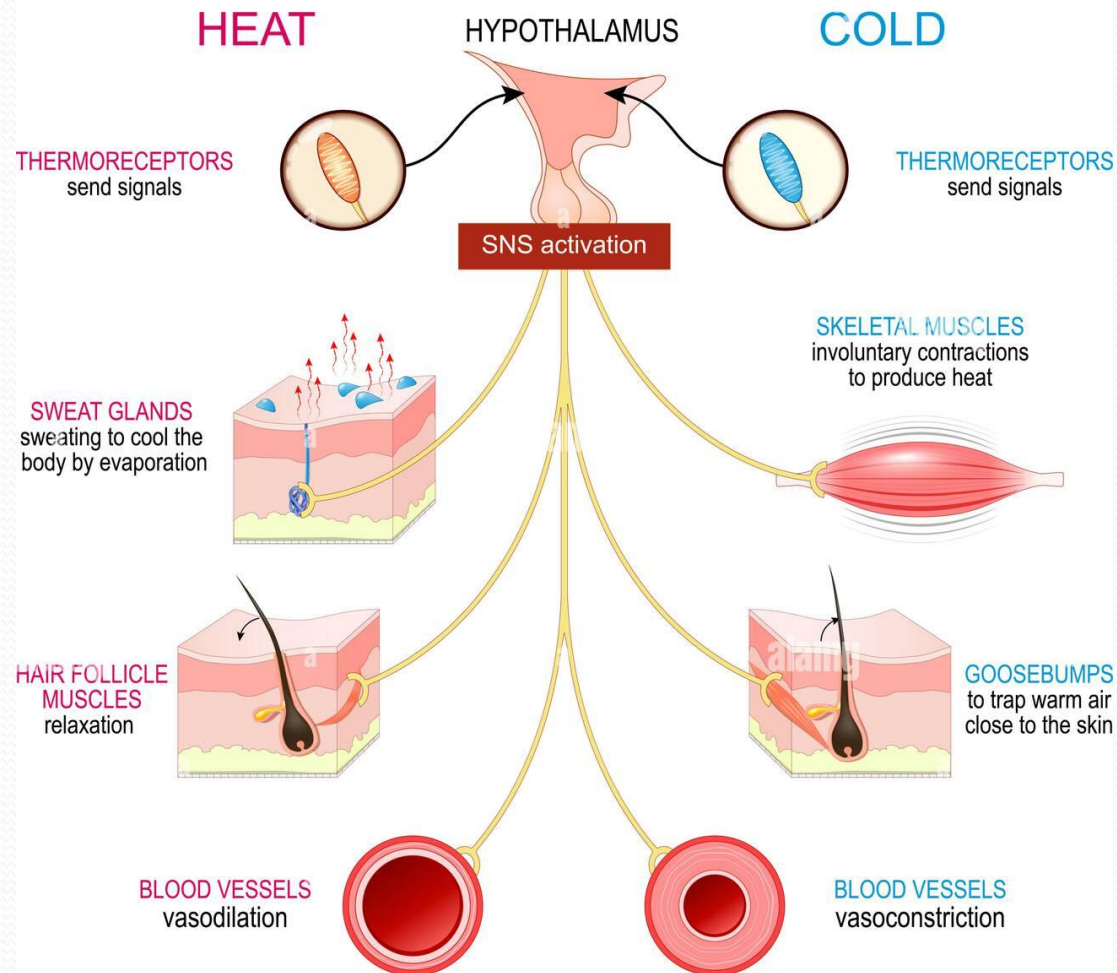


Figure 74-4. Mechanisms of heat loss from the body.

THERMOREGULATION





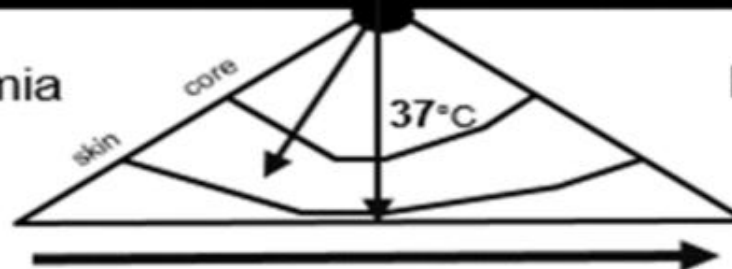
HEAT PRODUCTION

Activity or Shivering				
Involuntary Tensing of Muscle				
Higher Basal Rate				
Fever				
Special Dynamic Action of Food				
Basal Heat Production				
Carb		Fat		Protein

HEAT LOSS

Sweating & Panting			
Blood Flow to the Skin			
Δ Temperature Gradient			
Cooler Environment			
Clothing			
Radiative Surface		Air Movement	
Basal Heat Loss			
Con		Rad	Vap

Hypothermia



Hyperthermia

У людини в стані спокою за нейтральної температури (20 °C), низької вологості (40-50%) повітря шляхом випаровування виділяється 20-25% усієї теплоти. За температури зовнішнього середовища 32°C, 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 затрачувана на випаровування поту теплота під час напруженого фізичного навантаження. Велика кількість тварин (птахи, хижі ссавці, гризуни) потових залоз не мають. Основним способом тепловіддачі у них є **терморегуляторне поліпное** – 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.

6. Морфологічні адаптації до тепла та холоду

Існування в різних температурних діапазонах у зв'язку з кліматичними умовами, способом життя та типом харчування накладає значний відбиток на багато сторін морфології тварин

Найбільш ярка залежність між кліматичними (температурними) умовами та морфологією організмів була відмічена Бергманном ще в середині 19 століття.

Правило Бергманна полягає в тому, що пойкилотермні організми, близькі в систематичному відношенні, по мірі віддалення від полюсів до екватору стають крупнішими, а гомойотермні – дрібнішими. Так як зі збільшенням ваги тварини зменшується поверхня тіла (відносно одиниці ваги), то така закономірність дозволяє крупним гомойотермним тваринам Півночі зменшити втрати тепла, а дрібним формам Півдня збільшити тепловіддачу поведінкою. Збільшення розмірів пойкилотермних організмів у зв'язку з більш високою температурою мешкання не знаходить такого простого пояснення та звичайно зв'язується з більш інтенсивним ростом цих організмів в умовах високих температур середовища, з кращими умовами харчування.

Правило Бергманна стало передумовою для обґрунтування **фізіологічного закону поверхні тіла Ріше-Рубнера**. Збільшення поверхні тіла забезпечує більш інтенсивну віддачу тепла в оточуючий організм простір навіть в умовах невеликої різниці між температурою шкіри та температурою довкілля. Збільшення тепловіддачі, нарівні зі зменшенням ваги тіла, забезпечується й змінами його форми. Як правило, поверхня тіла у південних видів ссавців збільшена за рахунок більш довгих кінцівок. Це **правило Аллена** повністю підтверджується при порівнянні форми тіла близьких видів лисиць, деяких гризунів. По суті, правило Аллена є дуже важливим доповненням до правила Бергманна. У тропічних тварин спостерігається менш густий шерстний покрив і відсутнє підшерстя (**правило Ренша**). Значну роль відіграє колір шерстного покриву. Світле забарвлення багатьох тропічних тварин, особливо мешканців відкритих просторів, захищає їх від прямого нагрівання сонячним промінням. У лісових форм – мешканців тропічного лісу, це захисне забарвлення відсутнє та спостерігається збільшення вмісту пігменту

Великі відмінності теплопровідності шерстного покриву були виявлені при зіставленні арктичних і тропічних ссавців. У дрібних ссавців відносна різниця в теплопровідності шкірного і шерстного покриву невелика; у крупних вона досить значна.

Важливе значення має і розподіл жиру в організмі. У ряду мешканців півдня жирові відкладення не займають усієї поверхні тіла, як це має місце у мешканців холодного клімату, а розташовані локально (наприклад, курдюк овець, які розводяться на півдні, горб верблюда та індійської худоби зебу). З іншого боку, жирові відкладення у тюленів розташовані на поверхні тіла та можуть складати до 25% від ваги тіла. У весняний період спостерігається фізіологічне голодування цих тварин, спрямоване на зменшення теплоізоляції у літній період. Морфологічні адаптації виражені також у гомойотермних організмів і в зв'язку з різною інтенсивністю обміну речовин на півночі та на півдні. Зі зміною рівня обміну речовин пов'язана і величина серця у крупних і дрібних видів, які мешкають у різних кліматичних зонах. У дрібних видів, які мешкають у різних кліматичних зонах. У дрібних видів гомойотермів в умовах жаркого клімату виявлена менша вага серця, ніж у мешканців помірного та холодного клімату (**правило Гессе**). Вага серця має безпосередній зв'язок з рівнем обміну речовин, більш високим у тих мешканців холодної зони, які мають меншу теплоізоляцію поверхні тіла, а отже, більшу тепловіддачу. З цим же пов'язана й більша величина та довжина кишечника в умовах Півночі (**правило Ренша**), а у птахів й більша поверхня крил, обумовлена дальністю польотів.



Розподіл жиру, в тому числі й порожнинного, також має адаптивний характер. Так, у сибірської і монгольської крупної рогатої худоби спостерігається потужне відкладення жиру біля нирок у сальнику та інших частинах черевної порожнини. Останнє пов'язують з поїданням тваринами на зимових пасовищах мерзлого корму й значним охолодженням при цьому нутрощів. Навіть у людини, наприклад у професійних пірначів за губками та перлами, виявлено збільшення відкладень підшкірного жиру. У гомойотермних тварин є певні ділянки шкіри, здатні ефективно здійснювати тепловіддачу. Це позбавлені пір'я лапи у птахів; у багатьох ссавців подушечки лап, шкіра черева, у китових – плавці, де немає підшкірного жиру.



Монгольська крупна рогата худоба



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!