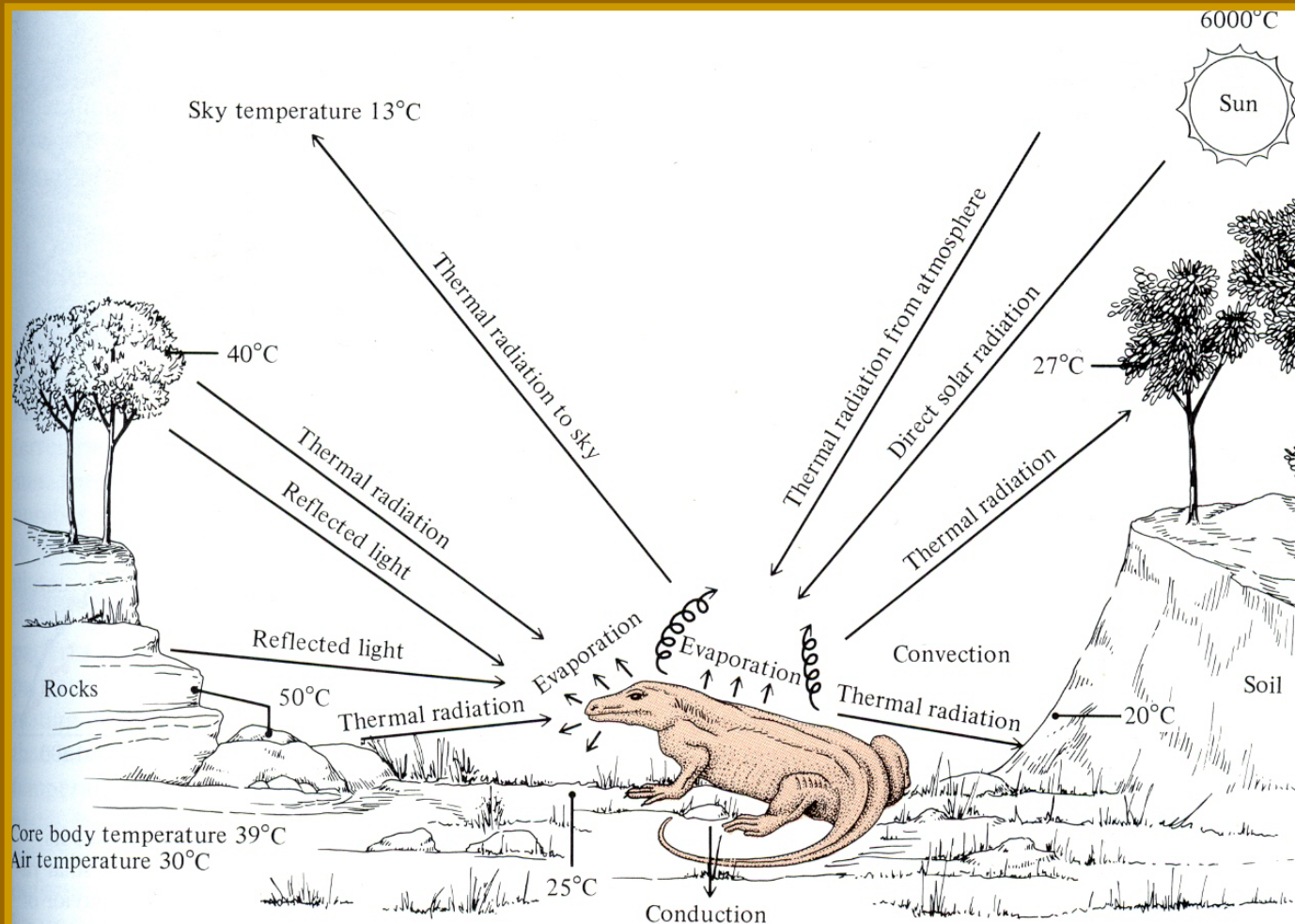


# 4. TERMOREGULACE

## Teplota prostředí a organismus, tepelná výměna

vodivost (*conduction*), proudění (*convection*), odpar (*evaporation*), záření (*radiation*),



**TERMOKONFORMEŘI** většina ryb, obojživelníků a plazů

někteří vodní obratlovci  
některé ryby  
několik obojživelníků

**TERMOREGULÁTOŘI** někteří plazi  
některé velké a aktivní ryby/paryby (tuňáci/žraloci)  
některé krajty při péči o mláďata  
ptáci a savci

**EKTOTERMOVÉ**

**ENDOTERMOVÉ**

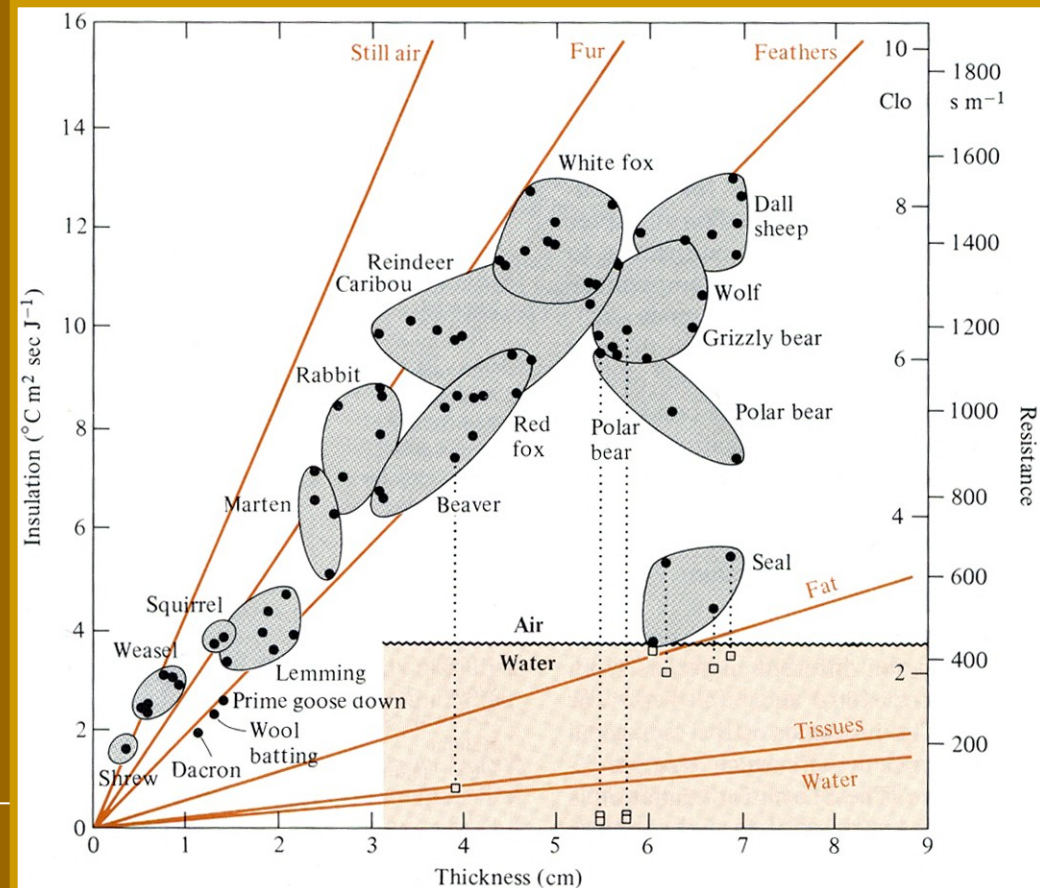
### Klíčové faktory termoregulace

- fyzikální vlastnosti tkání a jejich derivátů
- fyzikální vlastnosti prostředí
- intenzita metabolismu
- chování

## Teplotní vodivost a izolační vlastnosti různých materiálů

| materiál         | vodivost<br>(J/sec m °C) | schopnost izolace<br>(°C m sec / J) |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| vakuum           | 0                        | ∞                                   |
| vzduch           | 0,024                    | 269                                 |
| kožešina lišky   | 0,036                    | 179                                 |
| kožešina rysa    | 0,038                    | 170                                 |
| kožešina huskyho | 0,041                    | 157                                 |
| husí peří        | 0,053                    | 122                                 |
| ovčí vlna        | 0,063                    | 102                                 |
| Dacron II        | 0,065                    | 99                                  |
| dřevo            | 0,13                     | 50                                  |
| hovězí kůže      | 0,13                     | 50                                  |
| helium           | 0,14                     | 46                                  |
| tuk              | 0,17                     | 38                                  |
| guma             | 0,17                     | 38                                  |
| suchá zemina     | 0,33                     | 20                                  |
| lidská tkáň      | 0,46                     | 14                                  |
| voda             | 0,59                     | 11                                  |
| sklo             | 1,0                      | 6,5                                 |
| led              | 2,2                      | 2,9                                 |
| ocel             | 46                       | 0,14                                |
| stříbro          | 430                      | 0,015                               |

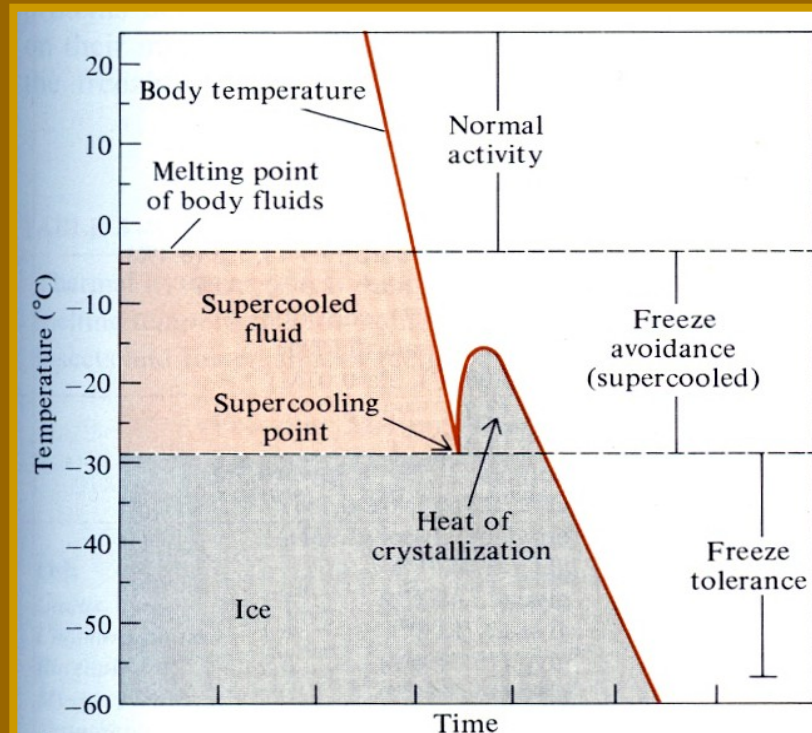
## Závislost izolačních vlastností tělního pokryvu na jeho tloušťce



# ADAPTACE NA CHLAD

## 1. Zmrznutí netolerující druhy

- brání se zmrznutí zvyšováním koncentrace rozpustných látek v tělních tekutinách, což vede ke snížení bodu zmrznutí (**supercooling**), zvyšování osmotického tlaku tělních tekutin
- nejčastěji dochází k akumulaci **cukrů** (glukóza, fruktóza, *trehalóza*), **cukerných alkoholů** (glycerol, sorbitol, mannitol,..), tyto látky mají i kryoprotektivní účinek = chrání membrány a enzymy před chladovou denaturací, brání tuhnutí lipidů, a také chrání tkáň před vysoušením.



## Příklady organismů využívajících „supercooling“ efekt založený na nízkomolekulárních solventech

| organismus          | teplota (°C)<br>supercooling | solventy<br>(plasma)                      |
|---------------------|------------------------------|---|
| člověk              | -0,6/-0,7                    | glukóza (0,003-0,006M)                    |
| <i>Hyla1</i>        | -2,0                         | glukóza (0,02M)                           |
| <i>Pseudacris</i>   | -2,0                         | glukóza (0,06M)                           |
| <i>Hyla2</i>        | -2,2                         | glukóza (0,18M)                           |
| <i>Rana</i>         | -3,0                         | glukóza (0,41M)                           |
| želvy               | -3,3                         | glukóza (0,01M)<br>aminokyseliny (0,047M) |
| arktická veverka    | -2,9                         | ?   |
| brouci <i>Pytho</i> | -54                          | 13,2%glycerol / 5,5%cukrů                 |



- produkce **proteinů bránících zmrznutí**

- z obratlovců ryby severních moří (nemohou použít supercooling)

- 3 skupiny proteinů bez cukerných zbytků (AFPs (anti-freezing proteins))

- s vysokým obsahem alaninu a  $\alpha$  helix strukturou; 3,3-4,5 kDa (platýs, vranka)

- s vysokým obsahem cysteinu a  $\beta$  strukturou; 11-13 kDa (vranka\*)

- bez vysokého obsahu alaninu a cysteinu s kompaktní strukturou; 6 kDa

(ryba *Rhigophila*; 3 různé proteiny o 6,9kDa)



- zmrznutí bránící glykoproteiny – AFGPs (anti-freezing glycoproteins)

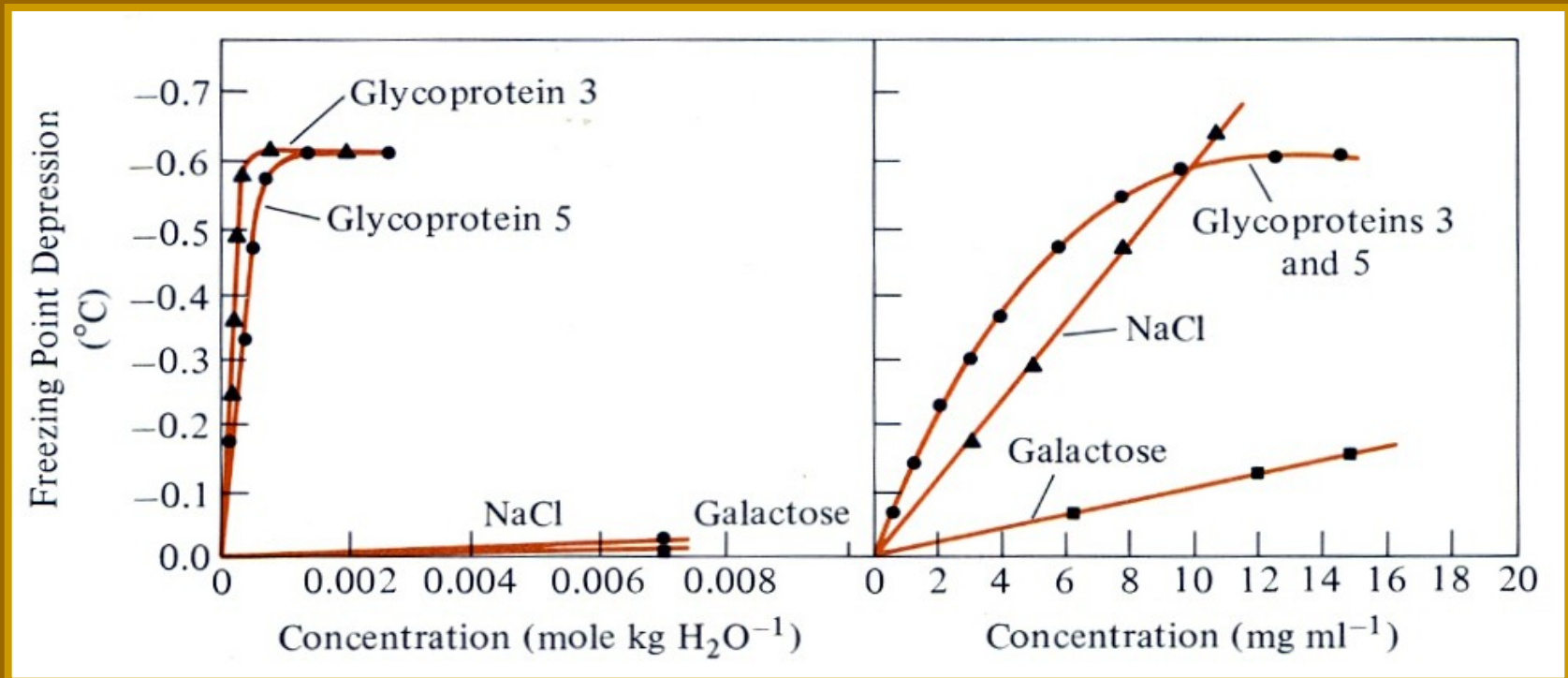
peptidy s opakujícím se tripeptidem (alanyl-alanyl-threonin) spojený

s galaktose-N-acetylgalaktosaminem, celkem 5 typů; ryba *Pagothenia borchgrevink*

| ryba                  | teplota (°C) |      |        |
|-----------------------|--------------|------|--------|
|                       | tuhnutí      | tání | rozdíl |
| <i>Gadus</i>          | -1,1         | -0,7 | 0,4    |
| <i>Chaenocephalus</i> | -1,5         | -0,9 | 0,6    |
| <i>Rhogophalia</i>    | -2,0         | -0,9 | 1,1    |
| <i>Myxocephalus</i>   | -2,0         | -1,1 | 0,9    |
| <i>Notothenia</i>     | -2,1         | -1,1 | 1,0    |
| <i>Eleginus</i>       | -2,2         | -1,1 | 1,6    |



Schopnost různých v tělních tekutinách rozpuštěných látek na snížení bodu tuhnutí vody v závislosti na jejich koncentraci molární a hmotnostní



## 2. Zmrznutí tolerující druhy

- některé žáby a plazi(želvy), tolerují 35-50% zmrzlých tělních tekutin
- led se vytváří extracelulárně, cytoplasma buněk se zahušťuje
- deformaci buněk je zabráněno akumulací glukózy uvolněné z jaterního glykogenu, při rozmrzání je pak glukóza zpět resorbována do jaterního glykogenu
- tyto organismy musejí být také tolerantní k velkým ztrátám vody
- s ochlazováním produkce proteinů tvořících nukleační jádra pro led v extracelulárních prostorech a omezujících „supercooling“, další typy proteinů pak zabraňují růstu těchto krystalů
  - => hodně malých krystalů ~ nedeformují se tkáně
- zmrzlé jsou zejména periferní části (nohy, ocas, kůže a podkožní oblasti)





# ADAPTACE NA TEPLU

## 1. tolerance k vysokým teplotám

- rozdíly podle prostředí
- závislé na vlhkosti

Tolerance k vysokým teplotám koreluje s teplotami prostředí kde se daný organismus vyskytuje příklad vnitrorodové variace rodu *Anolis*.

### Druhy

|                  |          |
|------------------|----------|
| otevřené krajiny | 38-41 °C |
| smíšené krajiny  | 33-36 °C |
| lesní            | 33-35 °C |



max teplota °C

halančík (*Fundulus*) 35

mloci

*Rhyacotriton* 29

*Ensatina* 34

*Ambystoma* 35,6

žáby

*Hyla* 36

*Rana* 37

*Bufo* 41

aligátoři 38

želvy 41

ještěři 43

scinci 41,2

varani 42,0

gekoni 43,7

leguáni 45

pygopodi 46

hadi 40,4

korálovci 40,4

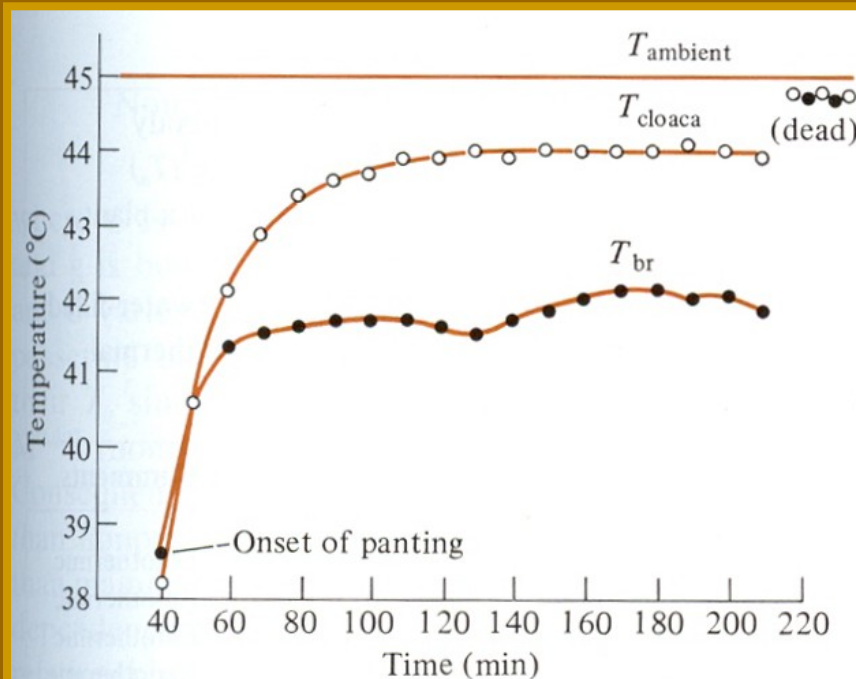
chřestýši 41,3



©W. Wüster

## 2. schopnost ochlazování evaporací (pocením)

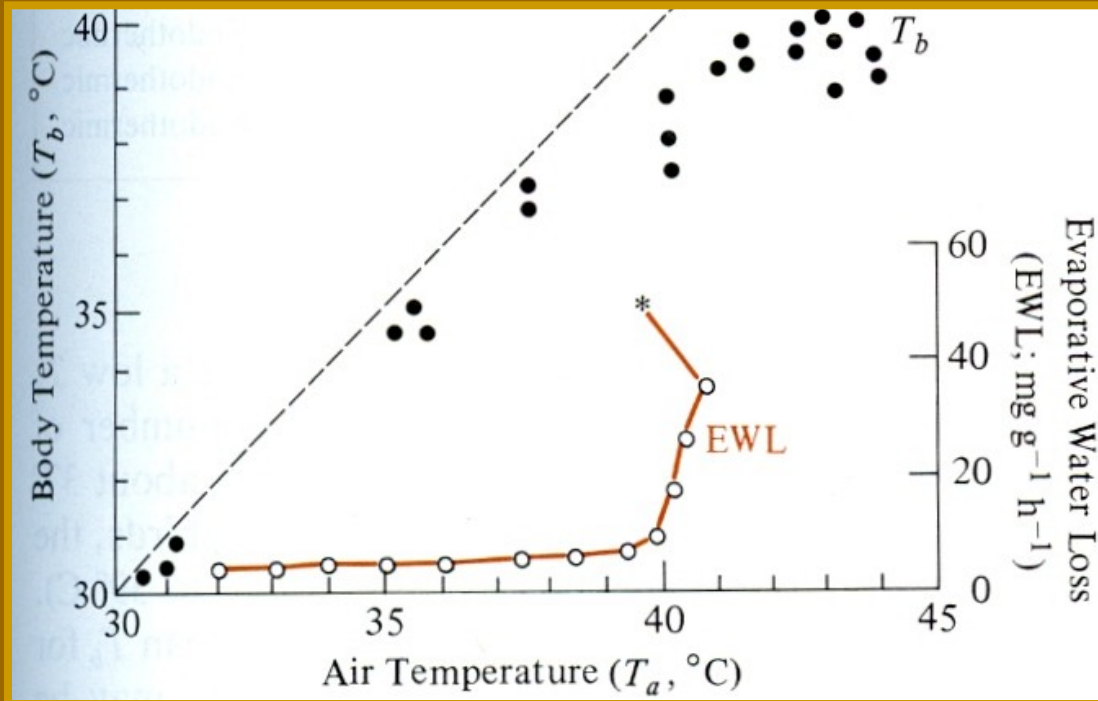
- účinnost závislá na vlhkosti a teplotě prostředí
- u obratlovců většinou aktivní evaporace (mukózní žlázy proti vyschnutí v kombinaci s intenzivním prokrvením kůže)
- metabolické teplo často snižováno i vodními ztrátami při respiraci a pasivním odparem
- je třeba zabránit vyschnutí organismu



Schopnost čukvaly (*Sauromalus*) snižovat teplotu mozku oproti okolí ztrátami vody při respiraci



Závislost tělní teploty ( $T_b$ ) na teplotě prostředí ( $T_a$ ) a intenzita evaporace (EWL) u rosničky *Phyllomedusa*. Tato rosnička je navíc chráněná proti ztrátám vody tenkou vrstvou epidermálního vosku, ten při vysoké teplotě ale taje, což usnadňuje evaporaci. Hlavní roli však hrají mukózní žlázy. \* zvýšení při aktivitě.



## Ektotermové

eurytermové – teplota těla vždy stejná jako teplota prostředí

- neinvestují žádný čas a ani energii do termoregulace
- životní funkce plně závislé na aktuální teplotě

stenotermové – v určitém rozsahu aktivně termoregulují, často spojeno s chováním

- termoregulace je závislá a možná jen v určitém teplotním rozmezí, jinak jak eurytermové
- při stejné teplotě těla mají 10x menší energetické nároky oproti endotermům
- na noc většinou snížení v důsledku snížení teploty prostředí. Celkově u aktivních ektotermů je denní spotřeba energie 20x menší jak u endotermů



# ENDOTERMIE

- zdrojem tepla je zejména vlastní metabolismus
- většina endotermních organismů, jsou i dobří termoregulátoři
- na schopnost udržet teplotu má zásadní vliv metabolismus (zdroj) a tepelná vodivost tkání a pokryvu

Intenzitu termoregulace lze vyjádřit rovnicí

$$T_b = a + bT_a$$

$T_b$  – teplota těla

$T_a$  – teplota prostředí



Příklady hodnot „a“ a „b“ pro různé organismy

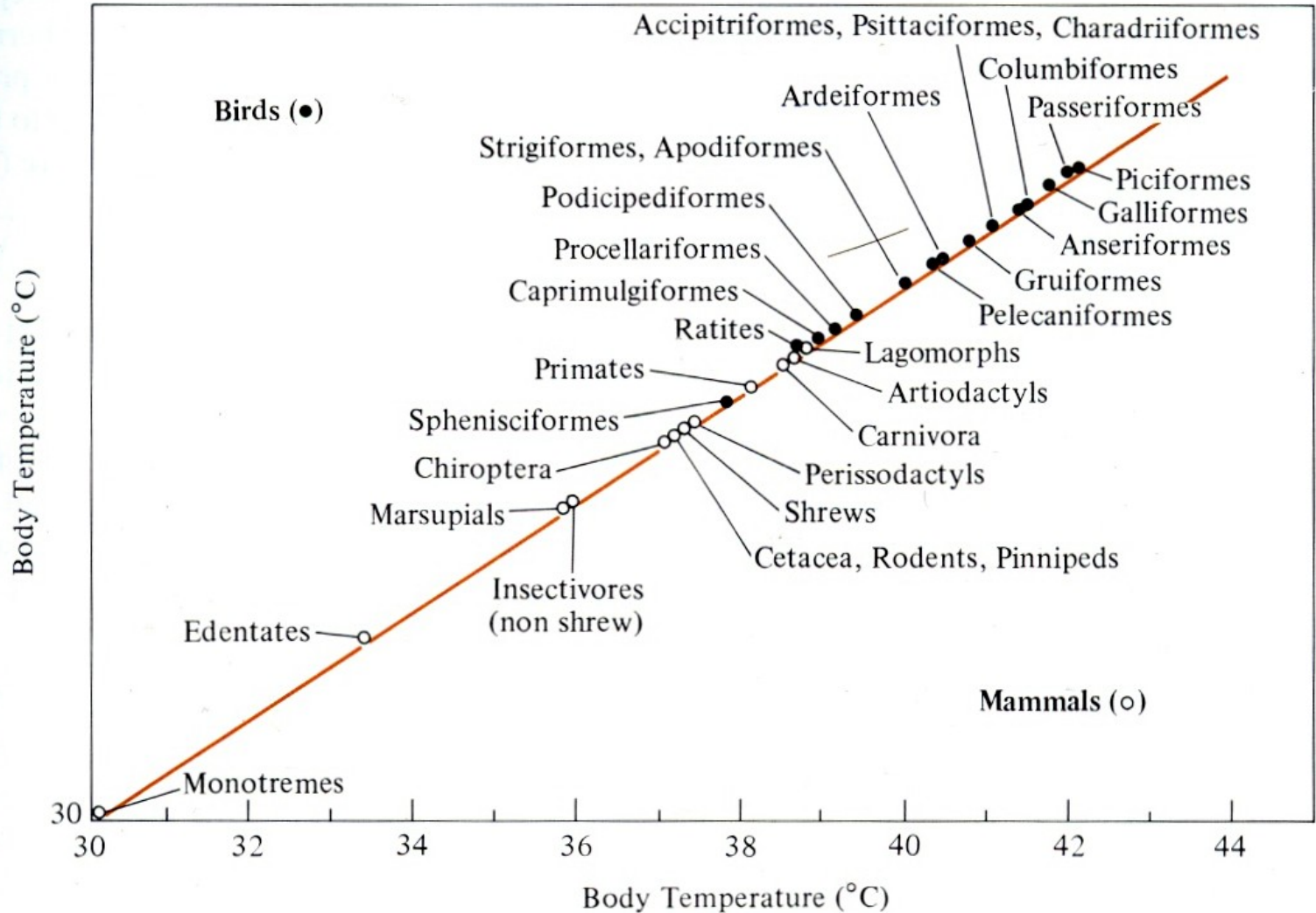
|                      | a    | b    | kategorie |
|----------------------|------|------|-----------|
| lesní <i>Anolis</i>  | -3,8 | 1,17 | ektoterm  |
| vodní mlok           | 0,0  | 1,0  | ektoterm  |
| krajta (male)        | 9,6  | 0,67 | ektoterm  |
| skokan               | 12,0 | 0,60 | ektoterm  |
| krajta (female)      | 14,5 | 0,48 | ektoterm  |
| stepní <i>Anolis</i> | 16,4 | 0,43 | ektoterm  |

(kovový kanistr s vodou 24,3 0,30 pasivní)

|                            |      |       |          |
|----------------------------|------|-------|----------|
| tuňák                      | 25,5 | 0,24  | endoterm |
| krajta s mláďaty           | 28,0 | 0,12  | endoterm |
| myš ( <i>Chaetodipus</i> ) | 35,4 | 0,081 | endoterm |
| amazoňan                   | 40,9 | 0,01  | endoterm |
| vrabec                     | 40,0 | 0,05  | endoterm |
| hranostaj                  | 39,5 | 0,00  | endoterm |
| tabon                      | 40,3 | -0,04 | endoterm |

*Philodendron* 38,0 0,18 endoterm

# Průměrná teplota těla jednotlivých skupin savců a ptáků



- zdrojem tepla je **vlastní metabolismus** ~ spotřeba  $O_2$  ( $VO_2$ )

$$VO_2 = C (T_b - T_a)$$

$T_b$  – teplota těla

$T_a$  – teplota prostředí

C – tepelná vodivost (tepelná konduktance;  $J g^{-1} hr^{-1} °C^{-1}$ )

- tepelná vodivost je u různých organismů různá

savci  $C = 20,5 g^{-0,426}$

ptáci  $C = 19,0 g^{-0,583}$

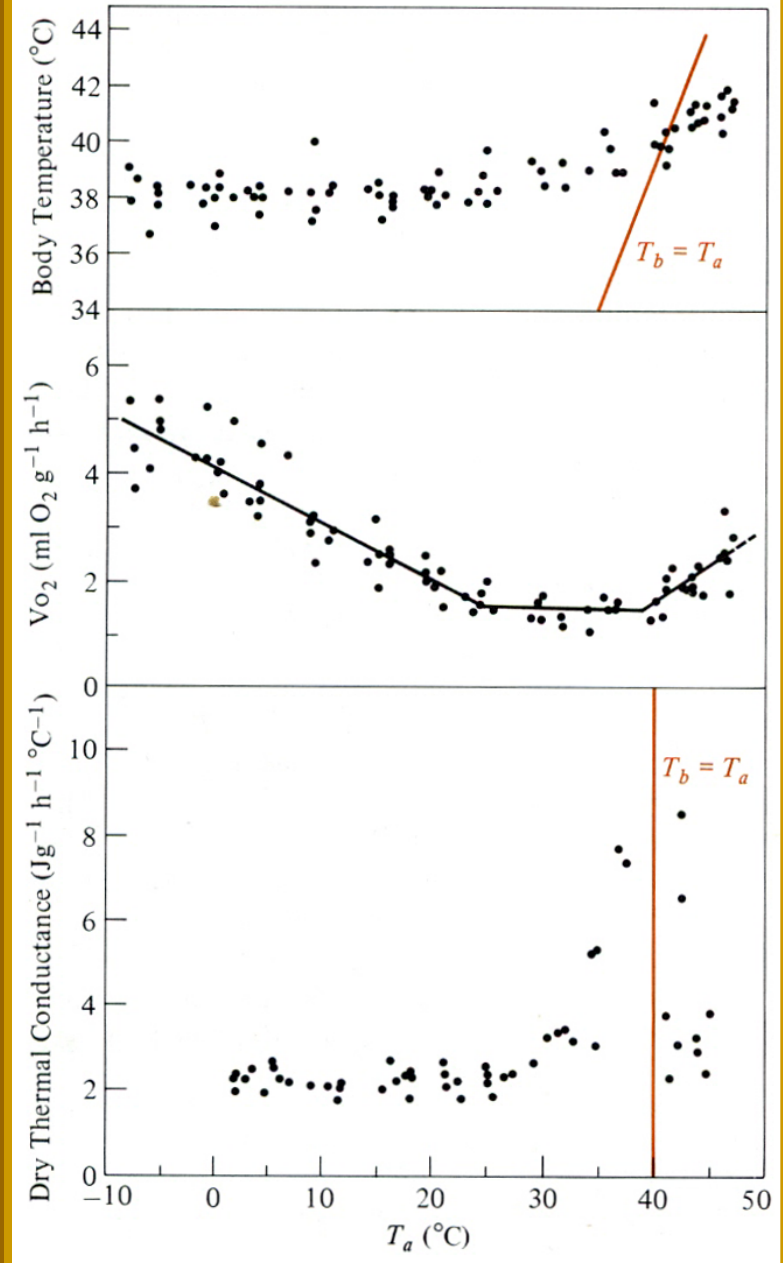
zpěvní ptáci  $C = 11,6 g^{-0,576}$

- tepelná produkce, teplota těla, spotřeba  $O_2$ /metabolismus také kolísá v průběhu dne (  $1-2 C$ )

Závislost spotřeby  $O_2$  (metabolický obrat),  
teploty těla a tepelné vodivosti na teplotě  
prostředí u papouška myšího.

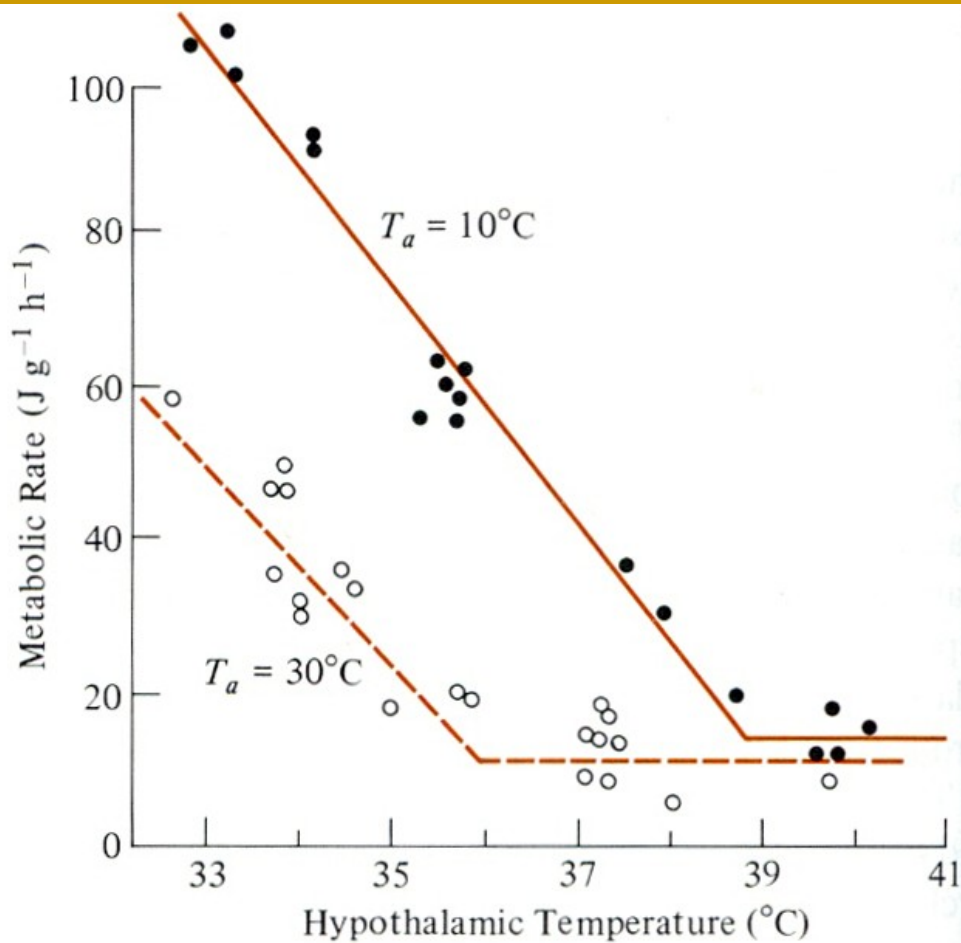
$T_b$  – teplota těla

$T_a$  – teplota prostředí





Tělní teplota je primárně řízena **hypotalamem** a **mozko-míšními termoreceptory** napojenými na periferní termoreceptory



Př. Závislost intenzity metabolismu na teplotě hypothalamu pro dvě různé teploty prostředí u tarbíkomyši (*Dipodomys ordii*)



## Adaptace na chlad II.

- zlepšení izolačních vlastností svrchních vrstev těla a jeho proporcí
- zvýšení metabolismu => větší produkce tepla
- přechod na hypotermii = hibernace (dny-týdny), strnulost / torpor (hodiny)
- změna prostředí (tahy do teplejších krajů)

### Zvýšení izolačních vlastností svrchních vrstev

- hustší a delší srst/peří
- zvětšení podkožní vrstvy tuku

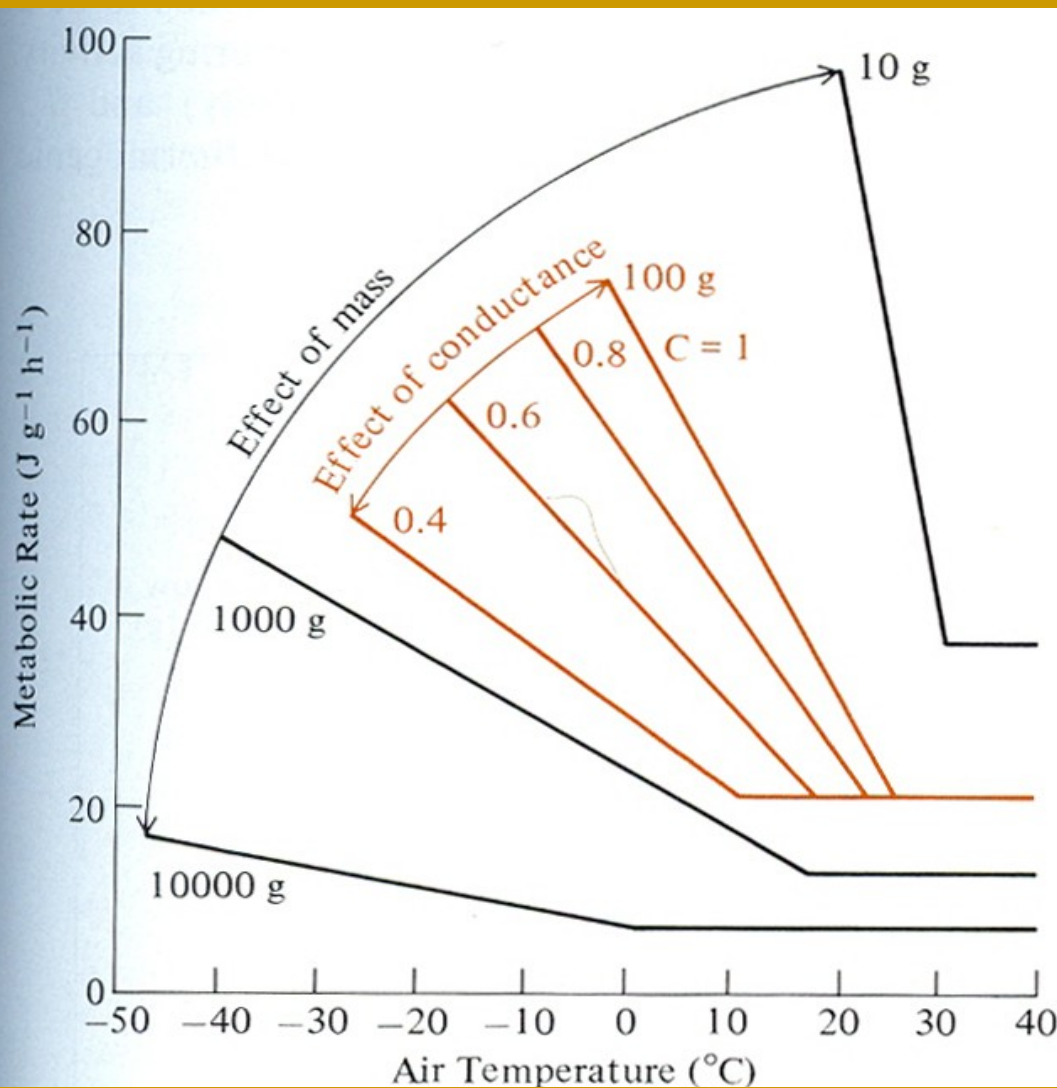
=> snížení tepelné vodivosti

sezónní změny tepelné vodivosti u arktických savců

$$\text{zima: } C = 13,9 \text{ g}^{-0,534}$$

$$\text{léto: } C = 23,5 \text{ g}^{-0,534}$$





Účinek velikosti těla a změn tepelné vodivosti na intenzitu metabolismu pro různou teplotu prostředí u savců

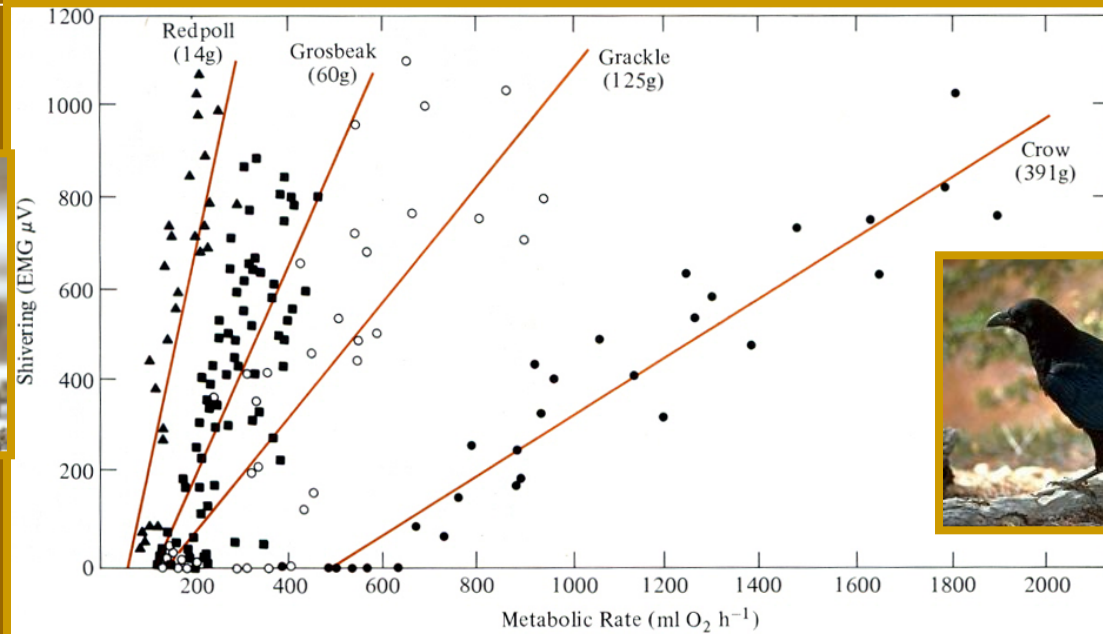


# Metabolické navýšení tepelné produkce

## 1. Třesová termogeneze

- běžné u savců i ptáků, obecně základní mechanismus
- opakované svalové kontrakce zprostředkované eferentními nervovými vlákny ■ stimulujícími svalová vřeténka
- závislé na cerebelu a drahách vedoucích prodlouženou míchou
- využíváné i plazy (krajty) a některým hmyzem

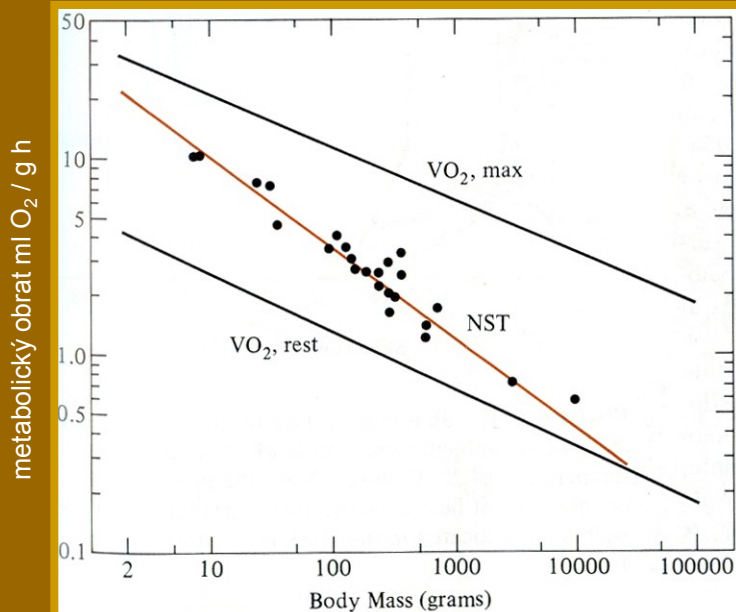
Intenzita třesové termogeneze (elektromyogram) je lineární závislá na intenzitě metabolismu



## 2. Netřesová termogeneze

- mnozí placentální savci, někteří vačnatci a několik ptáků
- významnější u malých savců, zvýšení metabolické spotřeby  $O_2$  2-4x
- speciální tkáň pro metabolickou produkci tepla – hnědá tuková tkáň (BAT – brown fat)
- BAT detekovaná jen u placentálů (netopýři, hmyzožravci, hlodavci, zajíci, sudokopytníci, šelmy, primáti)

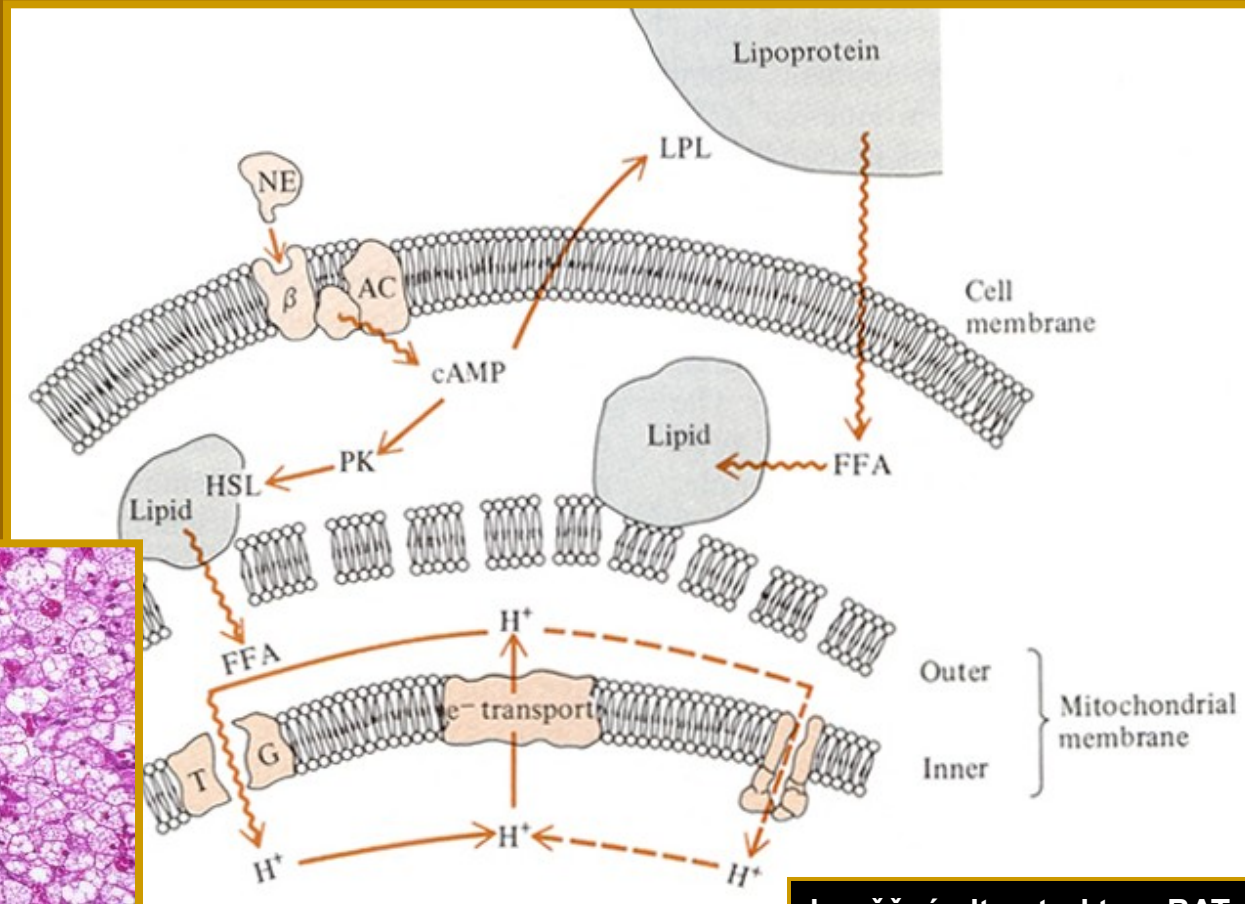
Intenzita netřesové termogeneze na velikosti těla / mezidruhová variabilita (hlodavci, netipýři, hmyzožravci, psi, králíci).



Celková spotřeba  $O_2$  a relativní průtok krve v jednotlivých orgánech u potkana aklimovaného na chlad

|   | teplota vzduchu ( $^{\circ}C$ ) |            |            |                   |
|---|---------------------------------|------------|------------|-------------------|
|   | -19                             | -6         | +6         | +21               |
| <b>Průtok krve</b><br>(% srdečního průtoku)   |                                 |            |            |                   |
| <b>BAT</b>                                    | 25,0                            | 22,6       | 20,2       | 5,6 (4,5x)        |
| <b>kosterní svalstvo</b>                      | 15,5                            | 14,2       | 15,8       | 17,3 (0,9x)       |
| <b>srdce</b>                                  | 5,2                             | 4,0        | 3,4        | 3,1 (1,7x)        |
| <b>ledviny</b>                                | 11,3                            | 12,1       | 13,6       | 15,7 (0,7x)       |
| <b>mozek</b>                                  | 1,6                             | 1,5        | 1,5        | 1,4 (1,1x)        |
| <b>játra</b>                                  | 14,9                            | 12,1       | 15,8       | 19,8 (0,8x)       |
| <b>total <math>VO_2</math></b><br>(ml / g hr) | <b>3,5</b>                      | <b>2,9</b> | <b>2,3</b> | <b>1,3 (2,8x)</b> |

# Struktura a mechanismus tepelné produkce hnědou tukovou tkání



hnědá tuková tkáň



normální tuková tkáň

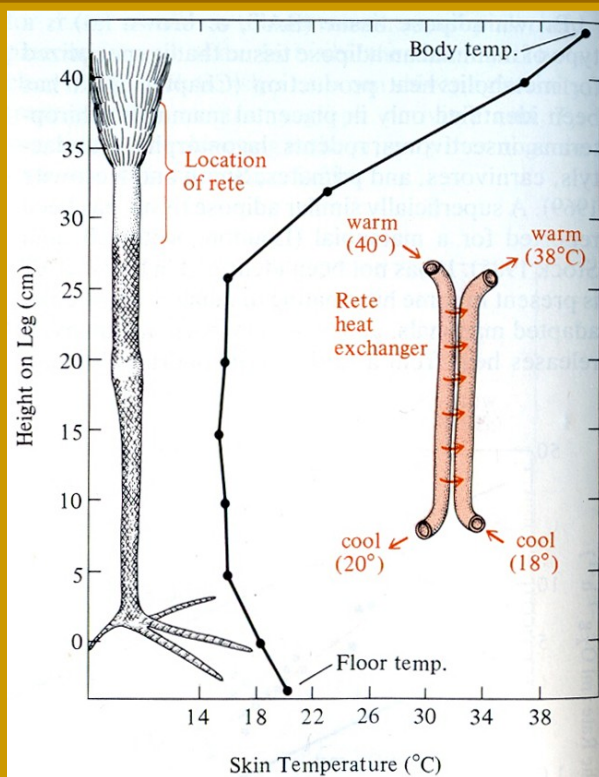


buněčná ultrastruktura BAT



FFA – volné mastné kyseliny  
(*free fatty acid*)  
NE – norepinefrin (noradrenalin  
- *buňky dřeně nadledvin*)  
TG – termogenin  
HSL – hormony aktivovaná lipáza  
(*hormone-sensitive lipase*)

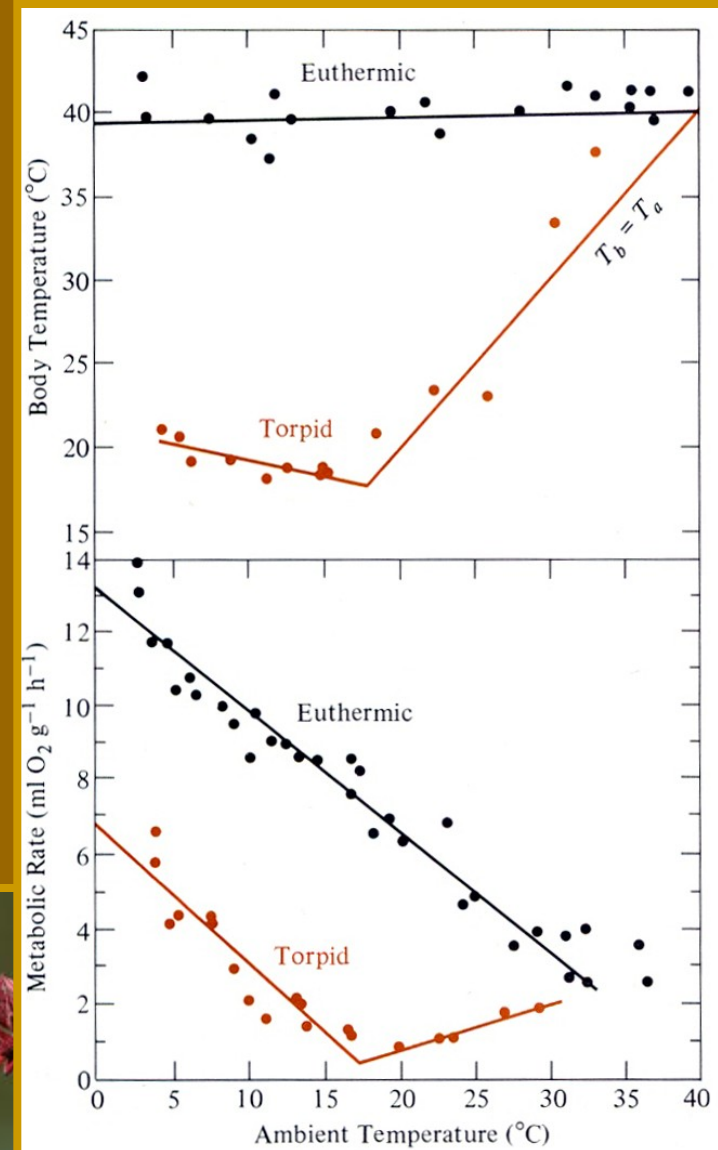
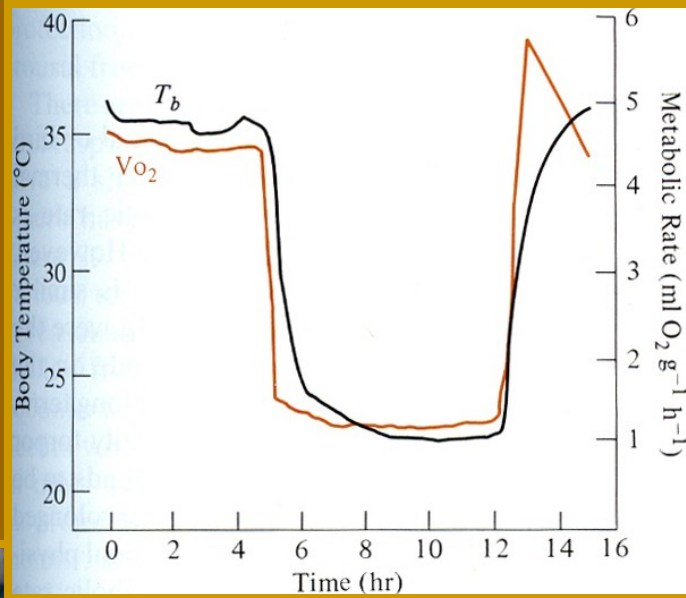
- obecně mají BAT(savci) zejména hibernující druhy, chladově adaptované druhy a novorozeňata
- někteří vačnatci mají tukovou tkáň podobnou BAT
- u ptáků (pokud je přítomná) je netřesová termogeneze lokalizována pravděpodobně do kosterních svalů a jater
- významným přínosem je i teplo produkované ze svalové činnosti spojené s pohybem
- podobně jako mnozí ektotermové (zejména plazi), i savci a ptáci akumulují teplo ze sluneční radiace



### Heterotermie:

- periferní / regionální (zejména končetiny), protiproudá výměna
- tělního jádra (dočasná heterotermie / strnulost / torpor)

# Intenzita metabolismu a tělní teplota u aktivní a strnulé myši a kolibříka



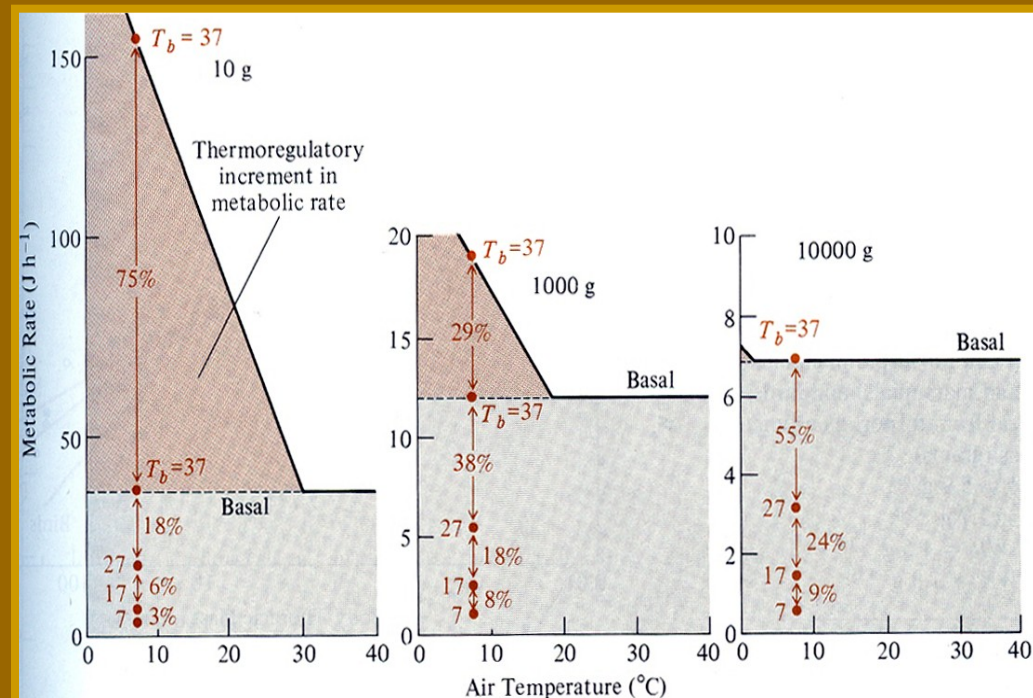


Čas potřebný pro nástup a probuzení ze strnulosti u různě velkých druhů  
(přepočítáno na teplotu prostředí 15°C a změnu tělní teploty z 37 -> 17°C)

|          | hmotnost<br>(g) | nástup<br>(min) | probuzení<br>(min) |
|----------|-----------------|-----------------|--------------------|
| rejsek   | 2               | 35              | 13                 |
| kolibřík | 4               | 59              | 17                 |
| possum   | 10              | 80              | 24                 |
| lelek1   | 40              | 224             | 41                 |
| lelek2   | 86              | 350             | 55                 |
| kondor*  | 230             | 39h             | 3,2h               |
| ježura   | 3500            | 27h             | 3,8h               |
| svišť    | 4000            | 29h             | 4,0h               |
| jezevec* | 9000            | 45h             | 5,4h               |
| medvěd*  | 80000           | 138h            | 12,3h              |

\* tolerují jen mírnou hypotermii  
(hluboká strnulost < 12°C > mírná strnulost)

Odhadovaná intenzita metabolismu v závislosti na teplotě pro různě velké jedince během aktivity a strnulosti

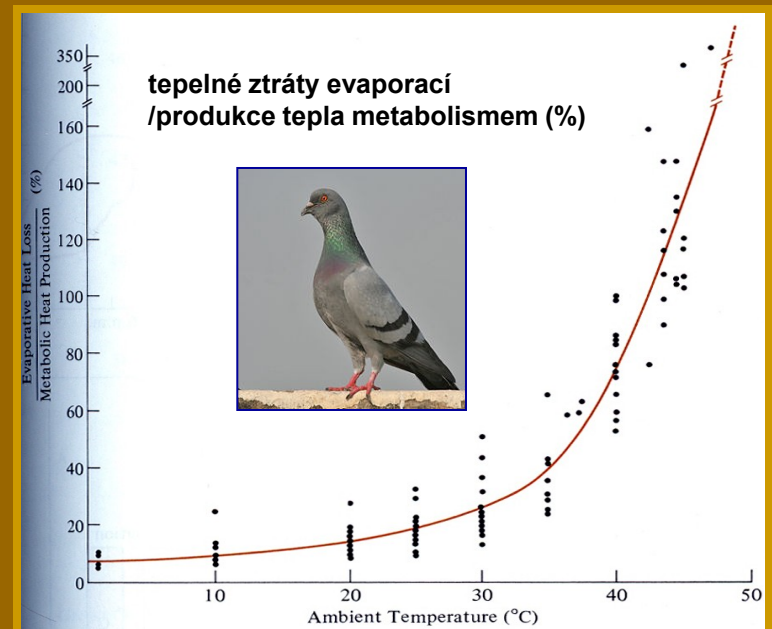


# Adaptace na teplo II

## 1. Základním mechanismem je ochlazování odparem / evaporací vody

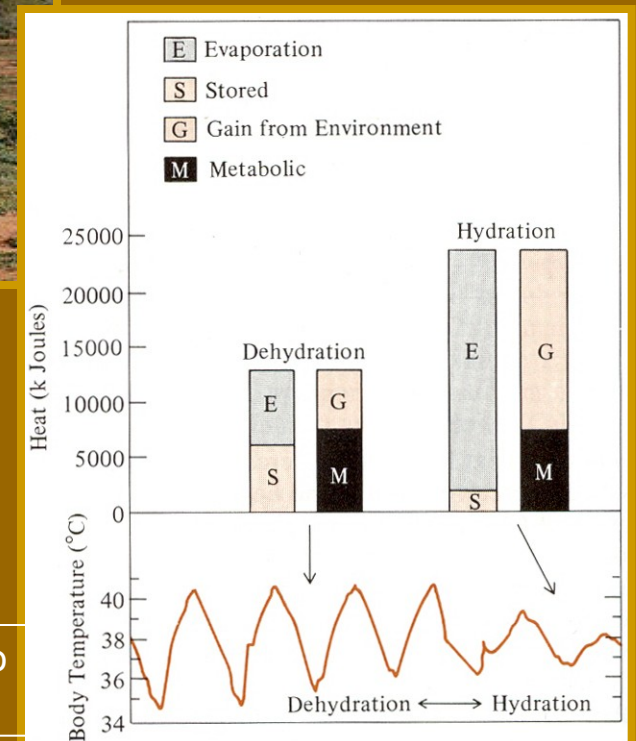
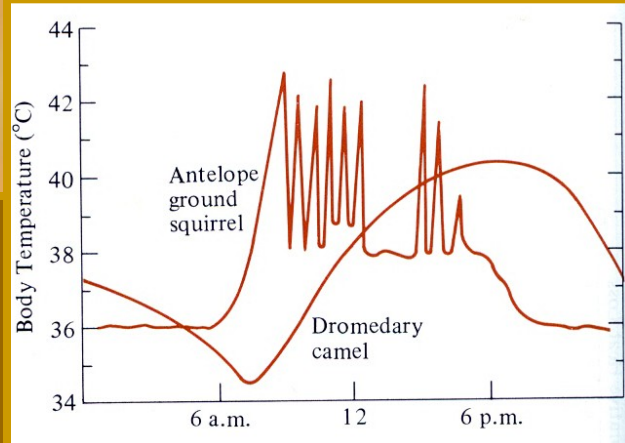
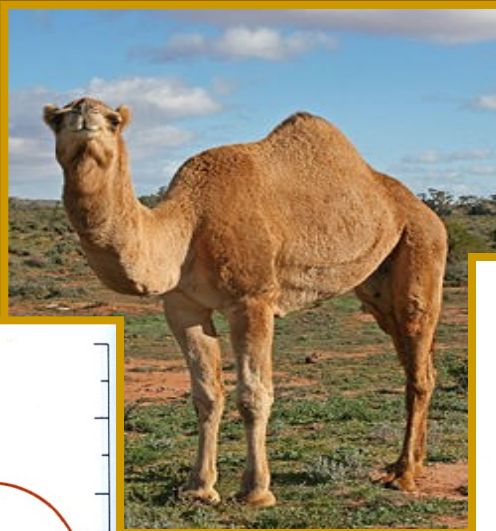
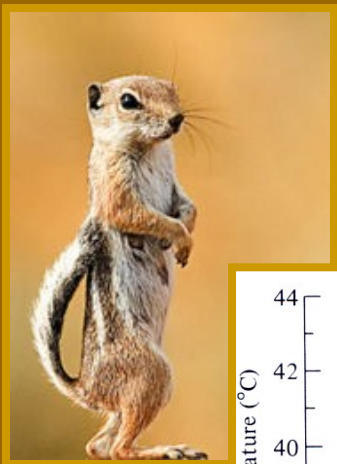
- samotný odpar vody přes kůži – málo účinné, vrstvy keratinu jsou málo propustné
- pocení (ne ptáci a hlodavci), u člověka (0,1 – 23 ml / m<sup>2</sup> minutu)
- někteří ptáci mohou navýšit odpar kůží zvýšením její teploty a podkožního průtoku krve
- respirační evaporace vody (ptáci a savci co nemají možnost pocení)
  - ptáci intenzivní dýchání nebo pohybem jícnu
    - pohyb jícnu závislý na dýcháním (holubi, kačeny, husy, kurovití)
    - pohyb jícnu nezávislý na dýchání (kormoráni, pelikáni)
  - respirační alkalóze je zabráněno výměnou vzduchu zejména v respiračně mrtvém objemu plic
- slinění (vačnatci, hlodavci)
- močení si na nohy (*urohidrosa*) (supi, čápi)

|        | rozsah respirační frekvence (min <sup>-1</sup> ) | rezonanční frekvence plic (min <sup>-1</sup> ) |
|--------|--|--|
| pes    | 32-320   | 317  |
| holub  | 29-612   | 564  |
| pštros | 4-40   |  |



## 2. Akumulace tepla

- zvyšování teploty těla při stoupající okolní teplotě – akumulace metabolického tepla
  - krátké periody, několikrát denně (sysli)
  - ve 24 hodinovém rytmu (velbloudi)
- zvyšování tělesné teploty při práci (gazely; 6 km/h ukládá 8%, při 20 km/h ukládá až 80 % metabolické produkce tepla; člověk při maratonu až 42°C)

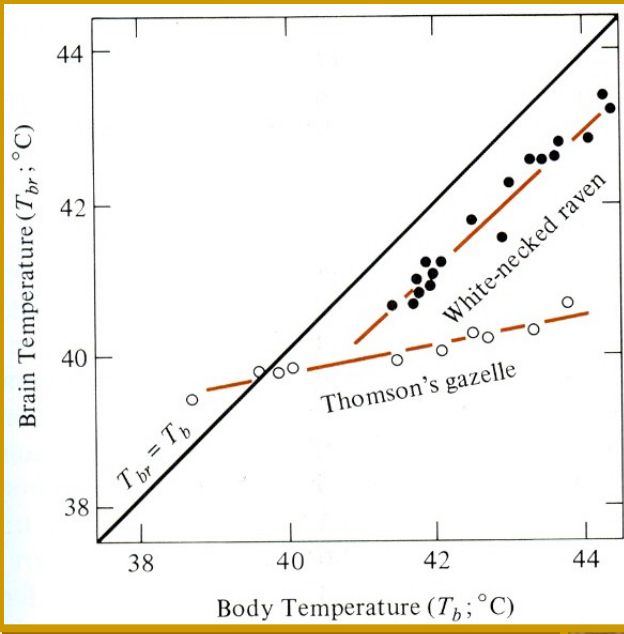
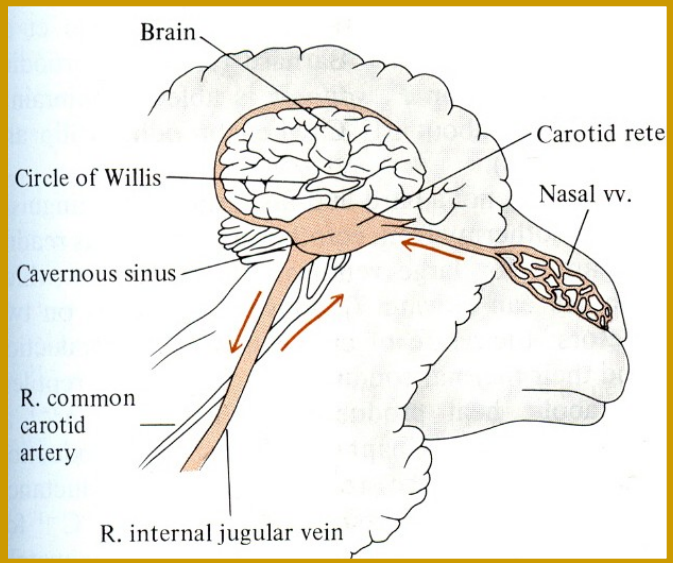


Denní změny v tělní teplotě u napitého a žíznivého velblouda, a jeho hospodaření s teplem

- V průběhu akumulace tepla je potřeba chránit proti přehřátí zejména mozek
- adaptovaný krevní oběh mezi nosem a mozkem (sít' arterií – *carotid rete*, obepínající větší žilné siny, např. *sinus cavernosus*)
  - u člověka zřejmě podobná funkce u cév tváře
  - u ptáků *ophthalmic rete* – malé arterie a žilky v blízkosti oka



*Carotid rete* u ovce, zajišťující tepelnou výměnu mezi ochlazenou krví z nosní sliznice a teplou arteriální krví přicházející do mozku



Srovnání teploty mozku a těla u krkavce a gazely Thomsonovy

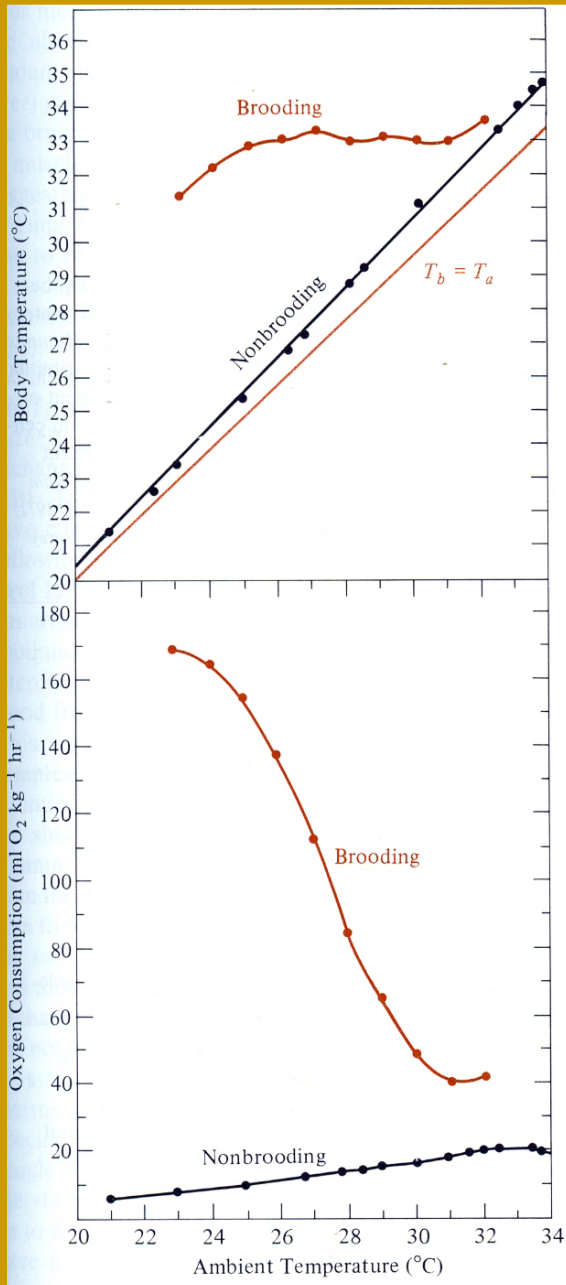


# Endotermie u plazů a ryb



U velkých krajt prokázána endotermie u samic během péče o potomstvo (třesová termogeneze)

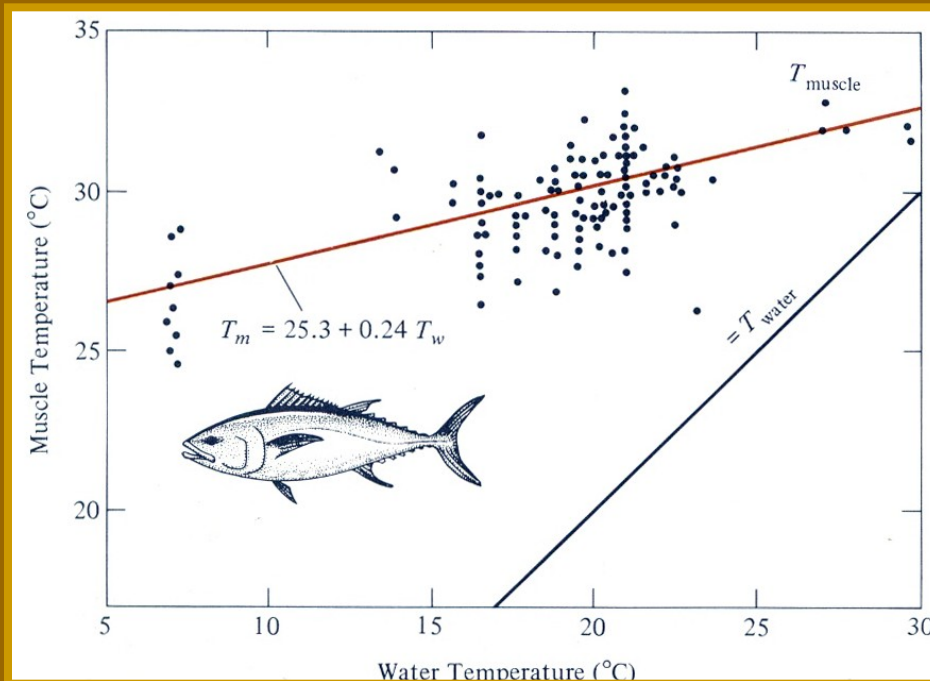
Čím větší tělní hmota, tím větší produkce tepla závislost na velikosti, tvaru a tepelné vodivosti



Srovnání rozdílů v teplotě těla a okolí u různě velkých plazů

|                        | tělo (kg) | teplota vzduchu(°C) | rozdíl oproti prostředí (°C, odhadované) |
|------------------------|-----------|---------------------|--|
| varan 1                | 7         | 25                  | 0,2-0,4 (0,2)                            |
| varan 2                | 12        | 25                  | 0,2-0,5 (0,3)                            |
| <i>Moschorhinid</i>    | 20        |                     | (0,4)                                    |
| varan 3                | 35        | 25                  | 0,2-0,6 (0,5)                            |
| <i>Pristerignathid</i> | 50        |                     | (0,7)                                    |
| kareta Kempova         | 120       | 28                  | 1-3 (1,2)                                |
| kareta zelenavá        | 127       | 20-30               | 3 (1,2)                                  |
| <i>Dimetrodon</i>      | 150       |                     | (1,4)                                    |
| želva galapázká        | 170       | 20-30               | 4,1 (1,5)                                |
| kožatka velká          | 420       | 8                   | 3-18 (2,6)                               |
| <i>Tyrannosaurus</i>   | 2000      |                     | (7,4)                                    |
| <i>Allosaurus</i>      | 3000      |                     | (9,6)                                    |
| <i>Ceratopsid</i>      | 4300      |                     | (12,2)                                   |
| <i>Hadrosaur</i>       | 5600      |                     | (14,5)                                   |

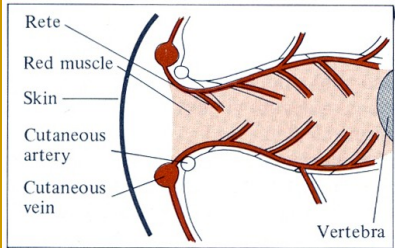
- Velké, aktivní ryby a paryby (tuňáci, mečouni a žraloci) mají díky metabolické produkci teplotu některých tkání (svaly, srdce, játra, mozek, oči) vyšší než okolní vody, svaly až o 10 °C
- jejich teplota však není přísně regulována, teplo je špíše tedy jen odpadní v důsledku intenzivní svalové činnosti
  - velké druhy používají k chlazení podkožní arterio-venézní plexy, malé druhy pak plexy v centru těla pod obratly, často jsou tyto plexy i okolo očí, v mozku, v játrech a okolo střev
  - některé druhy (mečouni) udržují vyšší teplotu mozku a očí i pomocí termogenní hnědé tkáně, asociované s očními svaly, s velkým množstvím mitochondrií a tak připomínající BAT



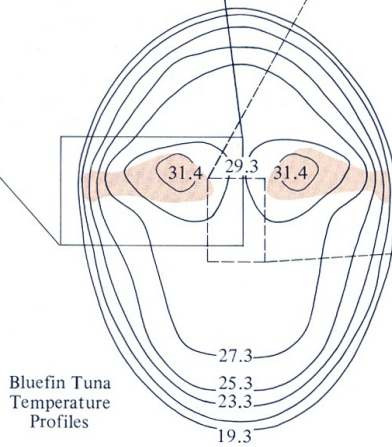
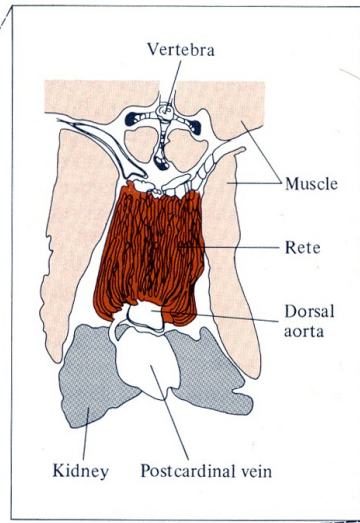
Poměr mezi teplotou svaloviny a okolní vody u tuňáka obecného



Bigeye Tuna Cutaneous Rete



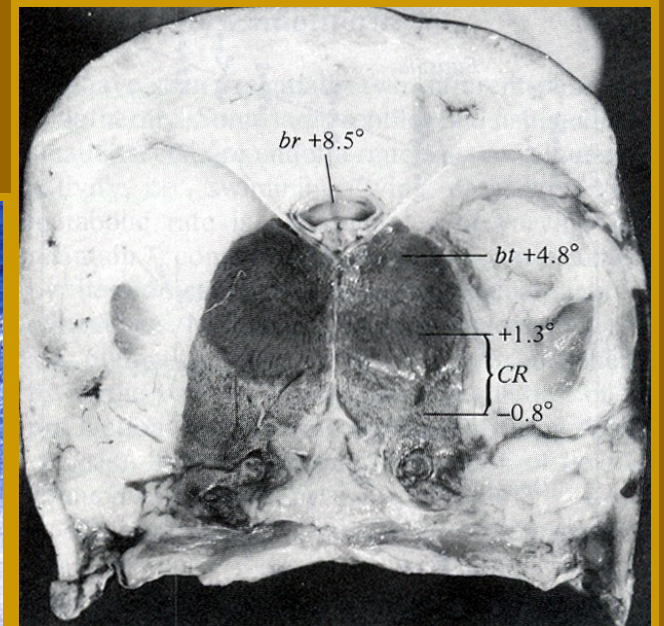
Skipjack Tuna Central Rete



Bluefin Tuna Temperature Profiles

# Arterio-venózní plexy u tuňáka obecného a tuňáka žlutoploutvého

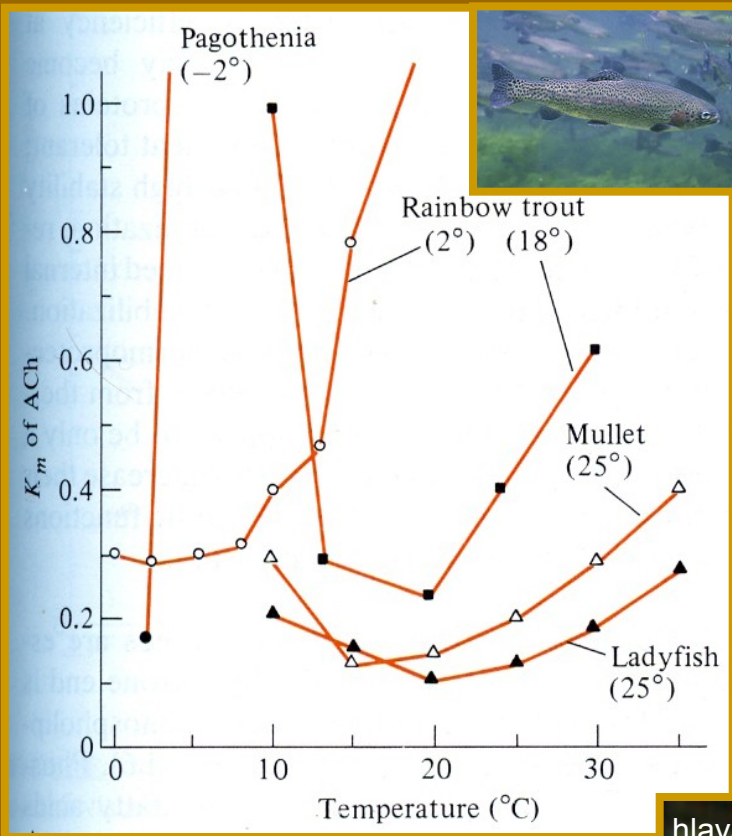
Hnědá tkáň v hlavě mečouna  
*br* – mozek  
*bt* – hnědá tkáň asociovaná s očním svalem  
*CR* – carotid rete





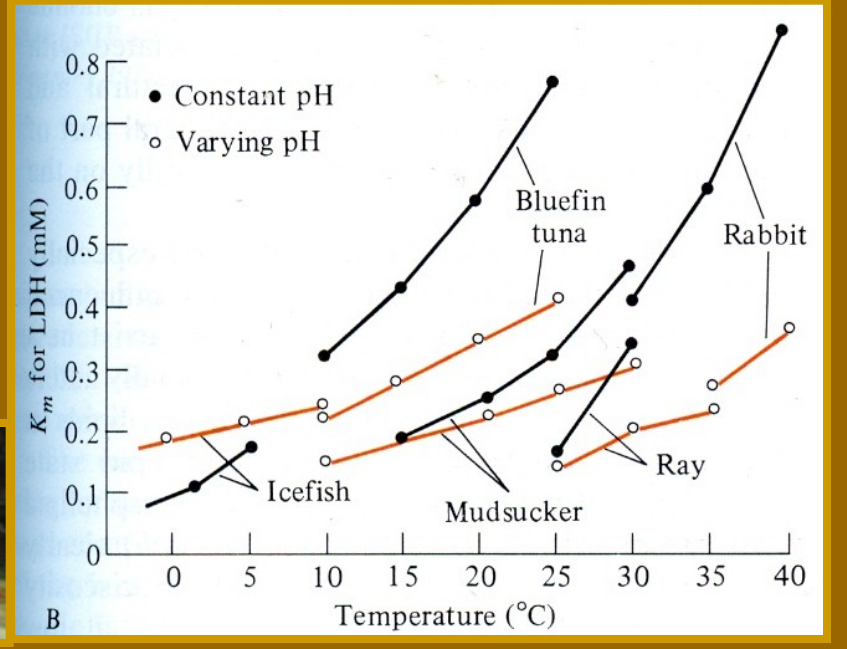
# Teplota modifikuje biochemické děje

- s vyšší teplotou se urychlují chemické reakce
- v závislosti na teplotě se mění i afinita substrátu k enzymům –  $K_m$  (Michaelis-Menten koeficient)

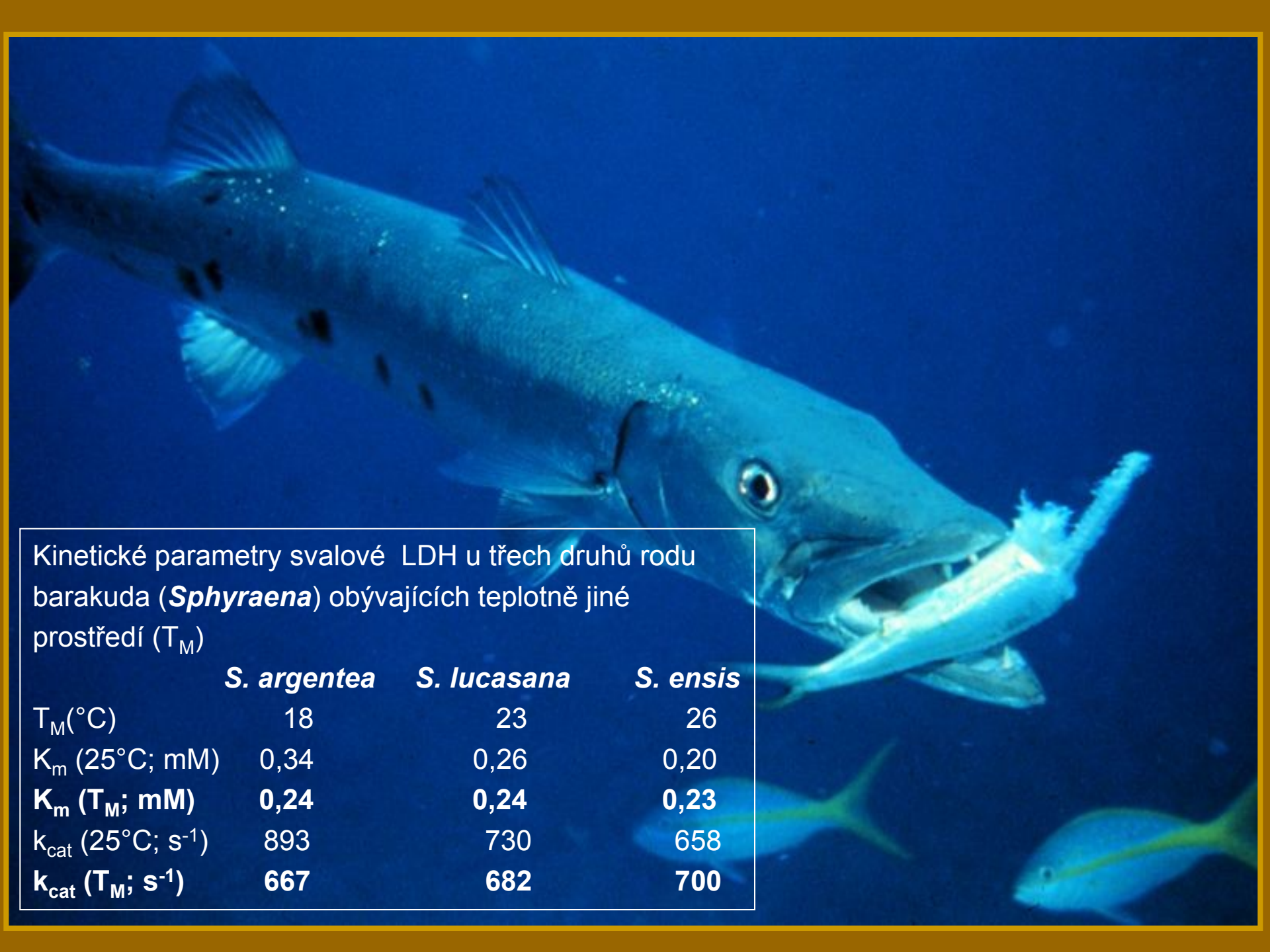


Změna velikosti  $K_m$  pro acetylcholin k acetylcholinesterázu (AChE)  
 P – hlaváč, Rt – pstruh duhový, M – cípal, L -Elops

Závislost  $K_m$  na teplotě pro pyruvát a LDH u různých obratlovců  
 Bt – tuňák obecný, R – králík, Ray – rejnok, M – hlaváč (Gobii)







Kinetické parametry svalové LDH u třech druhů rodu barakuda (*Sphyraena*) obývajících teplotně jiné prostředí ( $T_M$ )

|   | <i>S. argentea</i> | <i>S. lucasana</i> | <i>S. ensis</i> |
|---|--------------------|--------------------|-----------------|
| $T_M(^{\circ}\text{C})$                                 | 18                 | 23                 | 26              |
| $K_m (25^{\circ}\text{C}; \text{mM})$                   | 0,34               | 0,26               | 0,20            |
| <b><math>K_m (T_M; \text{mM})</math></b>                | <b>0,24</b>        | <b>0,24</b>        | <b>0,23</b>     |
| $k_{\text{cat}} (25^{\circ}\text{C}; \text{s}^{-1})$    | 893                | 730                | 658             |
| <b><math>k_{\text{cat}} (T_M; \text{s}^{-1})</math></b> | <b>667</b>         | <b>682</b>         | <b>700</b>      |



## ESTIVACE & HIBERNACE (dlouhodobá strnulost)



- schopnost umožňující dočasně snížit metabolismus a tím i výdej a příjem energie
- k uložení do strnulosti je třeba najít vhodné prostředí se stabilním klimatem
- **estivace** = letní strnulost, ochrana před přehřátím, nedostatkem vody a potravy
- **hibernace** = zimní strnulost, adaptace na chlad ~ nedostatek potravy (energetické zdroje)
- hibernace může trvat dny až měsíce (8 měsíců),
- indukované zejména změnou teplot, fotoperiodou (melatonin) a vnitřními cirkadiálními rytmy v závislosti na rezervních energetických zásobách (lipidy)
- řízeno zejména hormony hypotalamu, ale i metabolickými produkty a substráty
- dochází k zpomalení činnosti srdce, jater, ledvin, sníží se teplota těla a vzrušivost nervů, ke změnám v lipidovém složení buněčných membrán, poklesu glykémie v krvi a k snížení krevní srážlivosti, k roztažení cév
- nástup strnulosti je vždy velice pomalý a kaskádovitý, probuzení je rychlejší, jednotlivé části organismu se ochlazují a utlumují postupně, nejpozději hlavová část a tělní jádro
- mnohé druhy se musí opakovaně probouzet, aby se zbavili zplodin metabolismu (zejména dusíkatých sloučenin a keto sloučenin z metabolismu lipidů), případně doplnili energetické zásoby (obligátní x permisivní hibernanti)

- termoreceptory hypotalamu jsou stále aktivní a schopné řídit regulaci termogeneze
- osa hypotalamus – neurohypofýza je stále aktivní, utlumena je ale osa hypotalamus– kůra nadledvin ( ↓ kortikoliberin / kortikotropin ~ útlum stresových reakcí) – indukce ↑ serotoninu drahami vedoucími z mozkového kmene prodloužené míchy do hypotalamu
- specifické faktory tvoří zejména hibernaci spouštěcí faktor – **HIT** (hibernation induction trigger)
- mezi hibernační faktory je řazen i enkefalin, D-alanin-D-leucin enkefalin
- probuzení spontánní – endogenní cyklus (metabolity), zvýšení teploty prostředí, ..., pod kontrolou limbického systému a přední části hypotalamu
- nástup netřesové termogeneze (BAT, játra), přechod z lipidového metabolismu a cukerný, nástup třesové termogeneze (svaly)
- organismus se ohřívá postupně, prvně přední část, rozdíl teplot mezi hlavou a zadkem u organismu velikosti křečka může být až 20°C – rozdílná úroveň prokrvení
- nástup srdeční činnosti, lokálně velký krevní tlak ale celkový se zvyšuje se zpožděním (vazodilatace x vazokonstrikce cév v ohřátých x studených částech těla)



**Hibernují medvědi, mnozí hlodavci, netopýři, někteří hmyzožravci (ježek), lelkové, kolibříci, rorýsi.**



foto Jirí Bohdal

HIT – peptid přítomný v krvi hibernujících zvířat (sysli, medvědi, netopýři), pravděpodobně produkováný neuroendokrinně, je schopen spustit hibernaci i u aktivních zvířat.