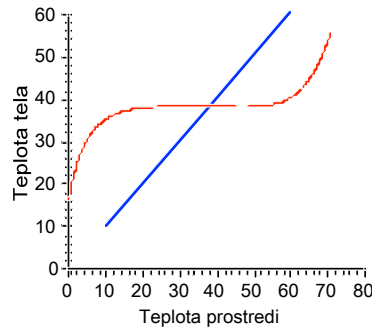


FYSIOLOGIE TERMOREGULACE

1 Úvod



- Σ **Poikilotermové:** v laboratorních podmínkách je teplota těla úměrná teplotě prostředí, v přírodě většinou ne díky chování (aktivita, úkryty, migrace, sluníčko/stín, noc /den)
- Σ Vědy regulují teplotu v úlu - seskupování a pohyb v zimě, víření křídly v horku
- Σ Receptory na teplotní změny až teprve u plazů (v hypothalamu)
- Σ **Homoiothermové:** teplota těla je v širokém rozmezí relativně stálá
- Σ kolísá: -bůhem dne
-podle námahy
-v menstr. cyklu apod.
- Σ teplota různých částí těla se může lišit velmi značně (obr.) (scrotum přesně regulováno lokální vazomotorikou a pocením a m. cremaster)
- Σ Rozdíly mezi druhy: -slon, velryba ~36°C
-člověk ~37°C
-krysa ~40°C
-ptáci až ~43°C
- Σ Co je regulovanou veličinou není přesně jasné (kombinace teploty mozku a těla, obsah tepla?)
- Σ Celkové schéma termoregulace (obr.)
- Σ Jedna z nejvýznamnějších účinností mezi fyziologickými regulačními mechanismy (teplota těla se mění cca o 1°C na každých 30°C změny teploty okolí)
- Σ člověk a steak na 20 min do suché sauny 130 °C, člověk OK, steak well done (obr)

2 Fyzika

- Σ **Sálání:** infračervené elektromagnetické vlnění (5-20 mm) vyzařované vším, co není absolutní nula (tedy důležitě pro nás je rozdíl mezi tím, co jde od nás pryč a od okolí k nám)
-proto lze cítit zimu v teplé místnosti se studenými stěnami
- Σ **Vedení (kondukce):** Přidávání kinetické energie molekul jednoho objektu molekulám druhého objektu (prostředí) vzájemným narážením
- Σ Vedení do okolního vzduchu je relativně selflimiting tím, že se bezprostřední nejbližší vrstvička ohřeje,
-to se může zvětšit oblečením,
-je to mnohem horší ve vodě (voda pojme mnohem víc tepla než se ohřeje a vede teplo líp než vzduch)
- Σ **Proudění (konvekce):** Odvádění ohřátých (ochlazených) molekul prostředí (je vdechování aspoň trochu díky stoupání ohřátého vzduchu)
- Σ **Vypařování:** "topení pod kotlem parní lokomotivy", jediný mechanismus který zbývá když je okolí teplejší než kůže (ostatními mechanismy se pak teplo naopak přijímá)
- Σ Tepelná kapacita závisí na objemu, tepelné ztráty na povrchu, proto mršata (relat. velký povrch) termoregulují obtížněji

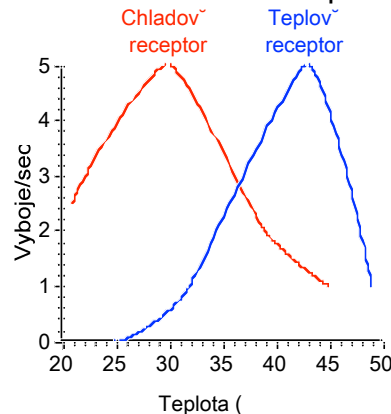
Σ
Σ

3 Thermorecepce

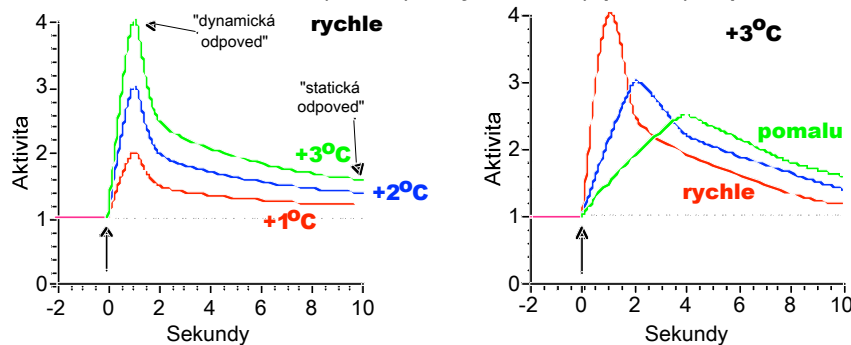
- Σ Receptory (zvlá‰ na teplo a zvlá‰ na chlad) jsou v kŮli, pŕední (preoptické) áasti hypothalamu a ve vnitřních orgánech
- Σ Mnohé mozkové thermoreceptory odpovídají i na zmŕny osmolarity a krevního tlaku (tím se brání jejich pŕíli‰nŕm zmŕnám v dŮsledku termoregulačních dŮjŮ)
- Σ Cladové receptory jsou blí k povrchu epidermis neŕ teplové (kratiá‰ paradoxní pocit chladu pŕi velkém ohřevu kŮie)
- Σ Mozkové thermoreceptory se morfologicky nelí‰ od okolních bunŕk

3.1 Vlastnosti thermoreceptorŮ:

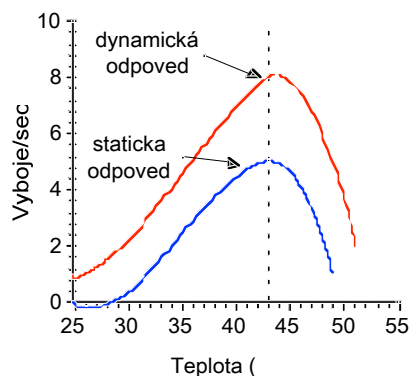
- Σ Vykazují spontánní frekvenci vzruchŮ závislou na teplotŮ:



- Σ Velikost odpovŕdi ůmŕrná velikosti (vlevo) a rychlosti (vpravo) tepelné zmŕny



- Σ Vrcholy statické a dynamické senzitivity pŕi stejné teplotŮ, ale rezmezí je ‰ir‰ u dynamické

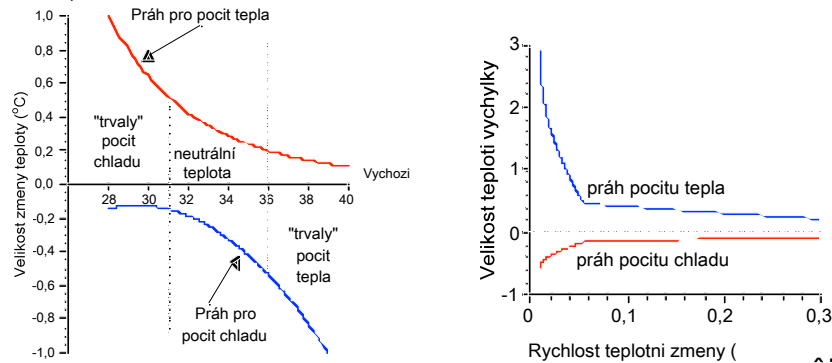


3.2 Lokalizace thermoreceptorŮ

- Σ NerovnomŕrnŮ v chladovŕch a teplovŕch bodech
- Σ V kŮli je chladovŕch je cca o řád vĕc neŕ teplovŕch (v mozku je pomŕ obrácenŕ, 1/3)
 - obliãej 19/cm² (nejvĕc kolem oka, nosu, rtŮ, vnitřinĕ okraj ucha)
 - ruka 7-9/cm²
 - trup 3/cm²
- Σ V obranŮ proti chladu je dŮležitŮj‰ teplota kŮie, proti teplu teplota hypothalamu
- Σ Viscerální receptory obvykle myŕ vŕznam, protože se jejich teplota mŕní poslední

3.3 Percepce tepla a chladu

- Σ Prostorovou sumaci zajišťuje hypothalamus (práh vnímání změny teploty je vyšší než práh citlivosti termoreceptorů, ať aby nám začalo být zima, musí být zima většímu množství receptorů)
- Σ Vnímáme pouze změny teploty periferie, nikoliv útrobu ani mozků
- Σ **Komfortní zóna:** rozsah teplot, kdy pocítujeme teplotní komfort (~32-35°C nahř bez pohybu) **vs. thermoneutrální zóna** (thermoregulační mechanismy nejsou aktivní)
- Σ **Habituace** (odeznění pocitu chladu/tepla po určité době, tj. posun termokomfortní zóny)
- Σ Pocit bolesti při teplotě kůže nad 43°C a pod 17°C
- Σ Pocit chladu/tepla ovlivňuje vchozí teplota kůže, velikost a rychlost tepelné změny a velikost části kůže, které se to týká



- Σ čím pomalejší změna, tím musí být větší, aby byla vnímána (proto může člověk velmi pozvolna prostydnout a umřít)

4 Centrální regulace

- Σ Přední (preoptický) hypothalamus - smyslové (hl. teplo) a integrační centrum
- Σ Zadní hypothalamus (bilaterální) - výkonné centrum
- Σ Thermoneutrální zóna je rozmezí teplot prostředí ve kterých nejsou termoregulační mechanismy v činnosti - kolem 30 stupňů, u arktických zvířat může jít díky izolaci až do -50
- Σ Meziprahová (intertreshold) zóna: mezi prahem pro třes (39°C v hypothalamu) a pro pocení (41°C v hypothalamu) (vs. thermoneutrální zóna je rozmezí teplot prostředí)
- Σ Rozvíjí se při anestézii, posunuje se nahoru při horečce a dolů při spontánní periodické hypothermii (rekurentní, centrální, bez známé příčiny, klinické příznaky hypothermie, snad něco jako epilepsie termoregulačního centra)
- Σ Signály z periferních termoreceptorů ovlivňují práh hypothalamického integračního centra (2 obrázky) a tím vlastní dopředu zabraňují změnám periferní teploty
- Σ Vztah pro periferní vazodilataci je skoro stejný jako pro pocení
- Σ Thermoregulace se zhoršuje při spánku
- Σ Kooperace s regulací tlaku - při dlouhém velkém teple dehydratace, pokles tlaku, aktivace baroreceptorů, periferní vazokonstrikce kompetuje s teplotní vazodilatací a produkcí potu (hyperosmolarita taky přímo zhoršuje tvorbu potu)

5 Efektorová sloika

5.1 Změny chování

- Σ Úkryt, migrace, choulení, zvěšená či snížená aktivita
- Σ Jediná možnost pro poikilothermy, velmi důležitá pro lidi

5.2 Izolace

- Σ Piloerectice v zimě
- Σ Kožní vazodilatace/vazokonstrikce (chladič těla) (od cca 5 do 30% CO) působením termoregulačního centra na sympatické vazokonstrikční centrum v zadním hypothalamu

Σ Podkožní tuk (vede teplo 3x hůř než ostatní orgány)

5.3 Produkce tepla

- Σ Vedlejší produkt metabolismu a pohybu (cca 80 procent energie na svalovou kontrakci skončí jako teplo)
- Σ Potrava se liší podle množství tepla, které udělá (např. kořím se v horku nemá dávat seno nebo oves)
- Σ Výtřina tepla je produkována hluboko v těle, proto se musí krví odvádět na povrch

5.3.1 Třies

- Σ Hlavní mechanismus obrany proti chladu
- Σ podmiňuje vývoj homeoie (poikilothermové ho nemají, u jeřury a ptakopyska nedokonalě)
- Σ Primární motorické centrum třiesu v dorzomediální části zadního hypothalamu je normálně inhibováno termoregulačním centrem v optické oblasti
- Σ Nesynchronizované rytmické zářkuby současně flexorů a extenzorů které nevedou ke změně polohy (nejdřív nespecificky roste tenze vřech svalů, třies je pravděpodobně důsledkem reflexního mechanismu svalového vřetěna)
- Σ třiesou se prakticky vřechny svaly (kromě okulárních, rektálních, středního ucha), ale ne vřechny stejně
- Σ inhibuje ho pohyb a bolest
- Σ zvyšuje produkci tepla až 3x
- Σ aby to mělo cenu, snižuje se prokrvení kůře (současně se zvyšěm prokrvením svalů)

5.3.2 Netřiesová termogeneze

- Σ Můře za ní termogenní účinek noradrenalinu (obr. D-R) ze sympatiku (obr. s hexamethoniem - inhibuje sympatická ganglia) v BAT a (snad i v částech v kosterních svalech)
- Σ charakteristická pro postnatální stav
- Σ U dospělých jen asi do 10 kg BW
- Σ Zvyšuje produkci tepla asi 2x
- Σ Adrenalin má taky termogenní účinek, ale jině než NA (odstraní BAT ho neovlivní, snad stimule Na/K pumpy), a to i u velkých zvířat, kde NA účinek nemá
- Σ Thyroxin zvyšuje produkci tepla asi o 50 procent ve vřech orgánech, ale trvá to několik dnů a taky pomalu odeznívá (nespecifická stimule proteosyntézy, zvyšěná aktivita Na/K pumpy spojená se zvyšěnou propustností pro tyto ionty), potencuje účinek NA. V zimě ho přibývá
- Σ Mechanismus: Betareceptory - adenylcykláza - cAMP - PKA - aktivace lipázy - štěpení tuků na glycerol a mastné kyseliny, ty se mění na acetylCoA, ten vytřsní GDP z jeho normální pevné vazby na **thermogenin** (existuje pouze v BAT), jeho protonový kanál se tím otevře (obr.)
-Za normálních podmínek není příliš malé spotřebě ATP dostatek ADP, to zastaví ATPsyntházu, tedy se H+ neodebírají z vnějškové strany IMM a to posléze zbrzdí respirační řetězec. Proto otevření thermogeninu umožňuje kontinuální produkci tepla respiračním řetězcem.
- Σ NST ve svalu zahrnuje "zbytečné" uvolnění Ca²⁺ ze SR prostřednictvím ryanodinového kanálu a jeho zpětné pumpování, což vyžaduje spoustu ATP (mutace ryanodinového kanálu zodpovídá za vrozenou maligní hypertermii) {Sutko, 1996 #3089}

5.4 Tepelné ztráty

5.4.1 Nepozorovatelné vypařování (perspiratio insensibilis)

- Σ pasivní neregulovatelně důj
- Σ asi 0.5 l/den (1/4 klidového tepla v normálních podmínkách)

5.4.2 Pocení

- Σ Relativní význam se zvyšuje s okolní teplotou
- Σ účinnost závisí na vlhkosti okolí
- Σ Potní žlázy: celkem 2.5 milionu, cca 200/mm² na dlani, 10-20 na těle
- Σ V hlubší smotané části se dává primární sekret podobný plasmu bez proteinů, cestou přímou částí se reabsorbují Na a Cl a v důsledku zvýšení osmolarity i voda, to je víc při nízkém pocení, kdy je pak v potu větší koncentrace ostatních složek (močovina, draslík)
- Σ Bez aklimatizace asi 700 ml potu za hodinu (15-30 g NaCl/den), po 1-6 týdenní aklimatizaci až 2 litry za hodinu (3-5 g NaCl/den) díky zvýšenému aldosteronu
- Σ Sympatická cholinergní inervace

5.4.3 Dýchání

- Σ U člověka asi 1/4 klidové tepelné produkce v normální teplotě, nepodléhá termoregulaci
- Σ Ufiady druhů polyptnou velmi důležitým termoregulačním efektem
- Σ Nepravá - hrdeční vibrace ptáků (v mžna vzduchu jen v dýchacích cestách)
- Σ Pravá - zrychlené, ale mělké dýchání (frekvence se zvyšují ~5x víc než ventilace)
- Σ Evolučně staré (plazi)
- Σ Oteplování vzduchu plus vypařování vody (u ovce až 10x víc než pocením)

5.4.4 Salivace

- Σ Lízání srsti, např. krysy

6 Abnormality

6.1 Horečka

- Σ Fylogeneticky velmi stará (i bezobratlí), u poikilothermů změnou prostředí
- Σ Přestavení regulačního prahu k vyšším teplotám působením pyrogenů
- Σ IL-1 je endogenní pyrogen z monocytů a makrofágů (v odpovědi na bakteriální toxiny apod.), působí asi prostřednictvím PGs (účinek aspirinu)
- Σ Nejříve se pociťuje chlad, protože centrum vnímá normální nebo zvýšenou teplotu jako chlad, proto vyvolává kožní vazokonstrikci, tím se může ochladit a to stimuluje kožní chladové receptory
- Σ Zlepšuje průběh infekce (infikované je tělo držené v různých teplotách)
- Σ čím to je?: - zvýšená pohyblivost neutrofilů (fagocytují infekci)
- zvýšená produkce a protivirová a protibakteriální účinnost interferonu
- zvýšená proliferace T buněk

6.2 Přehřátí

- Σ Když se dosáhne limitu odvodu tepla (např. společenské důvody, koncerty apod.), hypothalamus se začne přehřívát a tím ztrácí schopnost regulovat teplotu - začarované kruhy
- Σ neurologické příznaky, malátnost, bezvědomí
- Σ Pouze pár minut velmi vysoké teploty může být fatální rovnou anebo po několika dnech v důsledku selhání poškozených orgánů (játra, ledviny)
- Σ Je možné, že SIDS je vlastně důsledek (hl. lokálního mozkového) přehřátí (důti se SIDS víc nabalené a víc se jim topí)

6.3 Podchlazení

- Σ 20-30 min v ledové vodě bez pomoci fatální (teplota těla spadne na cca 25 stupňů) - arytmie, srdeční selhání
- Σ Někde pod 28°C ustává schopnost regulace teploty a spontánního návratu
- Σ Může by se vyloučit u pacientů se změnou psychikou nebo arytmiemi

6.4 Omrzliny

- Σ Zmrznutí tkánû
- Σ Při rozsáhlé tvorbû ledovûch krystalû je poškození ireverzibilní - gangréna
- Σ Periodická krátká košní vazodilatace tomu brání u fiady živoûichû, ale ne moc u lidí

6.5 Umûlá hypothermie

- Σ Silné sedativum na potlaæení hypothalamického thermoregulaûního centra
- Σ Pomalé ochlazování zabrání vzniku krystalû ledu
- Σ âlovûk v pohodû snáûí 24-21 stupûû
- Σ âasté pro srdeûní operace - bradykardie, malû nárok tkánû na kyslík, malé krvácení díky nízkému tlaku krve

6.6 Alkohol

- Σ Zhorûuje obranu proti teplu i chladu
- Σ Periferní vazodilatace rzchlejc odvádí teplo, pfiitom dává pocit tepla ohfiátím košních receptorû

7 Ontogeneze

- Σ fétus dûlá aû 2x víc tepla (per kg) neû dospûlû, pfiitom je ve velmi teplém prostfiedí
 - Σ zejména mozek velmi citlivû na hypertermii
 - Σ 85% odvodu tepla placentou, zbytek vedením pfies dûlošní stûnu
 - Σ fetální teplota sleduje teplotu matky, akorát je o 0.5 stupnû vyûûí
 - Σ F-M gradient se sniûuje pfii zvûûení teploty matky (cca na 0.2) zfiiejmû placentární vazodilatací (uterus odpovídá na teplo stejnû jako kûûle)
 - Σ není tomu tak pfii horeâce, nejspíû vazokonstrikce pfii poâáteûní fázi horeâky se zûká i uteru
 - Σ zima není takovû problém, F-M gradient stoupá
 - Σ Narození je velkû tepelnû insult - zima plus vypafiování fetálních tekutin, pokles teploty o nûkolik stupûû - tfies, NST
 - Σ je mošné, ûe NST v BAT souvisí s krmením kojencû: postupné prochládání - zapojí BAT prostfiednictvím sympatiku, tím se vzbudí a zaâne jeâet a klesne mu glukosa, nají se, ohfiije se, pfiestane jíst
- Zhorûená thermoregulace ve stáfií - horûí vazomotorika, vetûí úmrtnost pfii zimû i vedru - obojí je kardiovaskulárnû nároûné. Nûkterfií stafií ani nemaj horeâku