



Fyziológia výmeny tepla

Termoregulácia

TERMOREGULÁCIA

- **Základná podmienka existencie človeka :**
UDRŽAŤ KONŠTANTNÚ TELESNÚ TEPLOTU – HOMEOSTÁZU
- Všetky biochemické, fyziologické procesy, fyzická, psychická aktivita **závisia od teploty**
- Všetky funkcie organizmu **vyžadujú stálosť teploty vnútorného prostredia**
- **TERMOREGULÁCIA** – schopnosť udržiavať stálu telesnú teplotu v určitom rozmedzí
- je podmienená **rovnováhou medzi tvorbou a výdajom tepla** v organizme a ich presnou reguláciou

TERMOREGULÁCIA

- **Poikilothermné – studenokrvné živočíchy** - živočíchy, kt. nedokážu reflexne riadiť produkciu a výdaj tepla – (teplota ich tela je v dynamickej rovnováhe s teplotou vonkajšieho prostredia = zmena teploty prostredia = zmena ich telesnej teploty)
- **Homoiothermné – teplokrvné živočíchy** (človek) – majú schopnosť udržiavať svoju stálu tel.teplotu v úzkom rozsahu aj pri meniacej sa teplote prostredia
- teplota jadra človeka - udržiavaná v rozmedzí 36 – 38°C.

TERMOREGULÁCIA



- Telesná teplota – dôležitý diagnostický znak zdravotného stavu a pohody človeka !!!
- Meranie TT : axilárna 36,5 °C
sublingválna 36,8 °C (+0,3 °C)
rektálna 37,0 °C (+0,5 °C)
- Telesná teplota kolíše aj v priebehu dňa – v priebehu 24 hodín sa mení – **cirkadiánnny rytmus**
- najnižšia skoro ráno 2 – 6 hod
- najvyššie nameraná: 16 –18 hod



Cirkadiánný rytmus TT



- Teplota tela nie je rovnaká vo všetkých častiach tela
- V hlbšie uložených orgánoch tvoriacich **tepelné jadro** (brušná, hrudníková a lebková dutina) je teplota vyššia ako teplota okrajových častí tela (**tepelnom obale**, tvorený svalstvom a kožou)
- **Najreprezentatívnejšie miesto na meranie teploty jadra je krv v pľúcnej artérii – invazívne**
- **Rektálna teplota** je najbližšie k teplote jadra – mení sa len veľmi málo
- **Orálna teplota** – môže významne ovplyvniť teplota predtým prijatej potravy alebo nápoja, fajčenie alebo dýchanie ústami

Zmeny telesnej teploty

- TT podlieha cyklickým aj necyklickým zmenám
- **Cyklické:**
- cirkadiánnny rytmus
- bazálna TT – najnižšia teplota tela v pokoji – počas spánku – meria sa hneď ráno po prebudení, bez žiadnej fyzickej námahy
- menštruačný cyklus - cyklické zmeny TT - po ovulácii – pokles koncentrácie estrogénov a zvýšenie koncentrácie progesterónu – vzostup metabolizmu - vzostup bazálnej teploty – plánovanie rodičovstva
- **Necyklické:**
- príjem potravy
- fyzická aktivita – dospelý – intenzívne cvičenie – 40 C
- psychický stres – zvýšenie TT - vzostup svalového tonusu

- **Výnimka:**
- Funkciou skróta: udržať teplotu testes o 1-2 C nižšiu ako je teplota tela (nižšia teplota v semenníkoch – potrebná pre tvorbu spermií) !!!
- Teplota je regulovaná kontrakciou a relaxáciou m. cremaster
- (v teplom prostredí – relaxácia svalu – oddialenie testes od trupu – zvýši odvod tepla, v chlade – kontrakcia svalu – pohyb testes k brušnej stene – ohriatie)
- **Povrchová teplota** – nie je všade rovnaká, mení sa od miesta merania a vlastností okolia – teplota, vlhkosť, rýchlosť vetra

Rozdelenie TT

- **HYPOTERMIA** : menej ako 36 °C
 - **NORMOTERMIA** : 36 - 37 °C
 - **SUBFEBRILITA** : 37 - 38 °C
 - **FEBRILITA** vyššia ako 38 °C
 - **HYPERPYREXIA** vyššia ako 40 °C
-
- termoregulačné chovanie – homoiotermné organizmy pri udržiavaní stálej tel. teploty (vyhľadávanie tieňa – silné slnečné žiarenie alebo vyhriatych miestností – mráz)

Telesná teplota



Telesná teplota v číslach

| telesná teplota meraná v konečníku | telesná teplota meraná v podpazuší | pomenovanie stavu |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| viac než 41 °C | viac než 40,5 °C | vysoká horúčka (hyperpyrexia) |
| viac než 38,5 °C | viac než 38 °C | horúčka (febrilia) |
| 37,5 °C – 38,5 °C | 37 °C – 38 °C | zvýšená teplota (subfebrilia) |

Celkové príznaky zvýšenej TT

- **Pocit chladu – zimnica**
 - vazokonstrikcia s piloerekciou – triaška
- **Potenie**
 - vazodilatácia v koži
- **Rôzne subjektívne ťažkosti** – bolesť hlavy, svalov, kĺbov, nauzea
- **Hyperventilácia** – zvyšuje spotreba kyslíka – pri vzostupe o každý stupeň – 13 %
- **Tachykardia** – vzostup o 10-15 úderov/min na každý stupeň Celzia
- **Extrasystoly**



Celkové príznaky zvýšenej TT

- **KVS** - zmeny TK - hypertenzia – vazokonstrikcia, hypotenzia – vazodilatácia, potenie
- strata tekutín potením – hypovolémia, dehydratácia
- **obličky** - klesá diuréza, v moči - bielkoviny, valce, kreatinín
- **GIT** – znížená motilita, sekrécia tráviacich štiav, znížená absorpčná schopnosť – zápcha
znižuje sa sekrécia slín
- aktivácia latentného vírusu herpes simplex
- **CNS** – apatia, znížená schopnosť koncentrácie
nechuť do jedenia
hyperalgézia, febrilné kŕče



Komplikácie spojené s horúčkou



Dehydratácia – nedostatočné zavodnenie organizmu môže byť pre dieťa nebezpečnejšie ako samotná príčina horúčky (u bábätiok sú znakom suché pery a sliznica, povlak na jazyku, ochabnutá, akoby starecká koža v podbrušku, apatia). Dbáme teda na to, aby dieťa vypilo minimálne toľko tekutín ako v normálnom stave, tekutiny môžeme prisladzovať.

Febrilné krče – Od 6 mesiacov do 6 rokov sa môžu pri horúčke vyskytnúť krče. Dieťa náhle stuhne, zbledne až zmodrá okolo úst, vyvracia oči dohora, myká rukami i nohami.

- Zvýšenie TT znamená zvýšenie spotreby kyslíka v organizme, každé zvýšenie TT o 1 C znamená zvýšenie spotreby kyslíka o 13%
- Horúčka tiež redukuje mentálnu pohotovosť, u detí sa môžu objaviť kŕče
- Epizóda horúčky nad 37,8 °C v prvom trimestri gravidity môže viesť k defektu neurálnej trubice u fétu

Príčiny horúčky



Horúčku môžu vyvolať:

- **Exogénne pyrogény** – baktérie a ich endotoxíny, vírusy, kvasinky, imunitné reakcie, niektoré hormóny (katecholamíny a hormóny štítnej žľazy)
- **Endogénne pyrogény** – cytokíny, ktoré produkujú bunky stimulované exogénnymi pyrogénmi

Príčiny horúčky - každá zmena, ktorá spustí tvorbu endogénnych pyrogénov

- **1. infekcie** baktériami, rickettsiami, chlamýdiami, vírusmi a parazitmi de o každú zmenu, ktorá spustí tvorbu endogénnych pyrogénov
- **2. imunitné reakcie**, poruchy väziva, imunologické abnormality a imunodeficientné stavy
- **3. poškodenie tkanív**, trauma, lokálna nekróza a zápalová reakcia v tkanivách, infarkt pľúc, myokardu

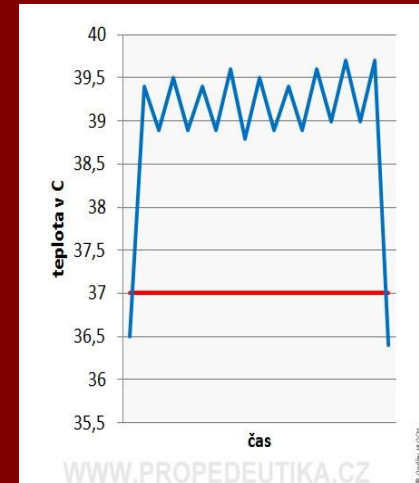
- 4. špecifické zápaly – sarkoidóza,
granulomatózna hepatitída
- 5. zápaly čriev – Crohnova choroba
- 6. nádorové procesy
- 7. akútne metabolické poruchy – dna, porfýria,
feochromocytóm
- 8. aplikácie niektorých liekov
- 9. dehydratácia, (hnačka – často sprevádzaná horúčkou)

Príčiny horúčky

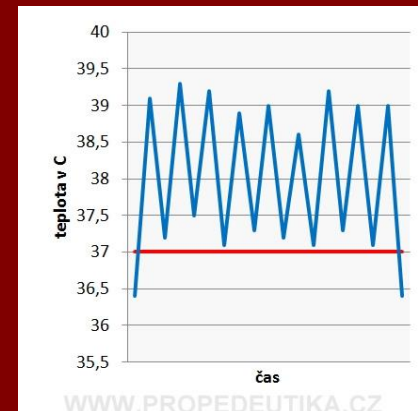
- Existujú situácie, kedy horúčka vzniká priamo ovplyvnením termoregulačného centra, bez účasti exogénnych a endogénnych pyrogénov pri:
 - mozgových nádoroch
 - intrakraniálnom krvácaní
 - trombóze

Teplotné krivky

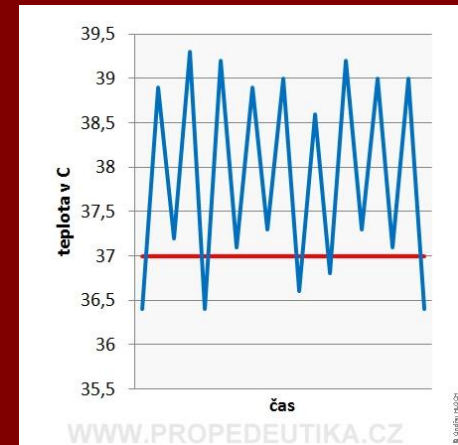
1. **Febris continua:** pretrvávajúca horúčka s niekoľkodenným rovnomerným zvýšením teploty, väčšinou cez $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ a s výkyvmi nepresahujúcimi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ behom 24 hod (brušný týfus, krupózna pneumónia, erysipel, brucelóza, rôzne vírusové ochorenia)



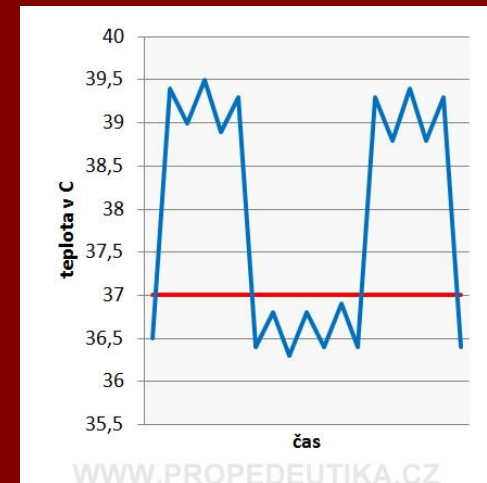
2. **Febris remittens:** denné výkyvy väčšie ako $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimálna teplota však nedosahuje normálnych hodnôt – (infekčné ochorenia)



3. Febris intermittens: (septická teplota) - teplota prudko stúpa k 39 °C, prudko klesá pod 37°C, v priebehu 24 hodín je rozdiel maximálnej a minimálnej teploty vyšší ako 1°C (sepsy, napr. cholangitída, urosepsy, infekčná endokarditída)



4. Febris recurrens: zvýšená teplota sa periodicky opakuje s viac alebo menej pravidelnými afebrilnými intervalmi – horúčkovité a afebrilné fázy trvajú niekoľko dní



5. Febris inversa: horúčka je ráno vyššia ako večer (typická pre TBC)

Význam horúčky

- Zvyšuje imunitné reakcie
- Zvyšuje chemotaktickú, fagocytovú a baktericídnu aktivitu leukocytov
- Stimuluje tvorbu protilátok
- Spomaľuje rast mikroorganizmov
- Deštruuje lyzozómy
- Proti vírusom súčasne pôsobí zvýšená produkcia interferónov

- Veľmi vysoká horúčka
 - tlmí imunitné reakcie
- Dlhodobá horúčka spôsobuje poškodenie parenchymatóznych orgánov
(obličky, mozog)

MECHANIZMY TERMOREGULÁCIE

- dospelý človek si udržiava stálu tel. teplotu svojimi regulačnými schopnosťami vo fyziologickom rozpätí pri teplotách okolia od 12 do 55 °C (ak je suchý vzduch, bez prúdenia), aj pri rozličnej telesnej námahe
- **Centrálным sídlom termoregulácie je HYPOTALAMUS**
- prijíma informácie o telesnej teplote aj o teplote okolia, po ich integrácii s ďalšími nervovými a humorálnymi podnetmi aktivuje jednotlivé výkonné mechanizmy

TERMOREGULÁCIA

- Človek toleruje iba niekoľkostupňové výkyvy telesnej teploty
- pri poklese TT pod 30 °C sa z homoiotermného jedinca stáva jedinec poikilotermný
- pri poklese TT pod 20 °C nastáva enormné spomalenie biochemicko-fyziologických funkcií vedúce k smrti
- pri udržiavaní stálej tel.teploty musia byť v dynamickej rovnováhe dva procesy – tvorba tepla a výdaj tepla

Tvorba tepla

- V každom organizme vzniká TEPLLO počas metabolických reakcií
- Hlavným zdrojom tepla sú biochemické reakcie biologických oxidácií, kt. neustále prebiehajú v tkanivách
- Väčšina tepla sa tvorí vo vnútorných orgánoch – v pečeni, mozgu, srdci a pri fyzickej aktivite v kostrových svaloch
- Vytvorené teplo sa rozvádza krvným obehom do celého organizmu

Tvorba tepla

- **Teplo sa tvorí :**
- **1. ako vedľajší, ale mimoriadne dôležitý produkt metabolizmu** v aktívnych štruktúrach tela (pečeň, svaly)
- **2. príjmom potravy** (špecificko- dynamický efekt živín)
- **3. svalovou prácou**

Tvorba tepla sa zvyšuje:



- **1. účinkom niektorých hormónov**, ktoré ovplyvňujú metabolizmus
 - hormóny štítnej žľazy,
 - drene nadobličky – katecholamíny
- adrenalín, noradrenalín– krátkotrvajúci vzostup tepla s rýchlym nástupom
- T3, T4 – dlhotrvajúci vzostup s pomalším nástupom
- **2. autonómnym nervovým systémom – sympatikus**
- **3. svalovou aktivitou**

Výdaj tepla – fyzikálna termoregulácia

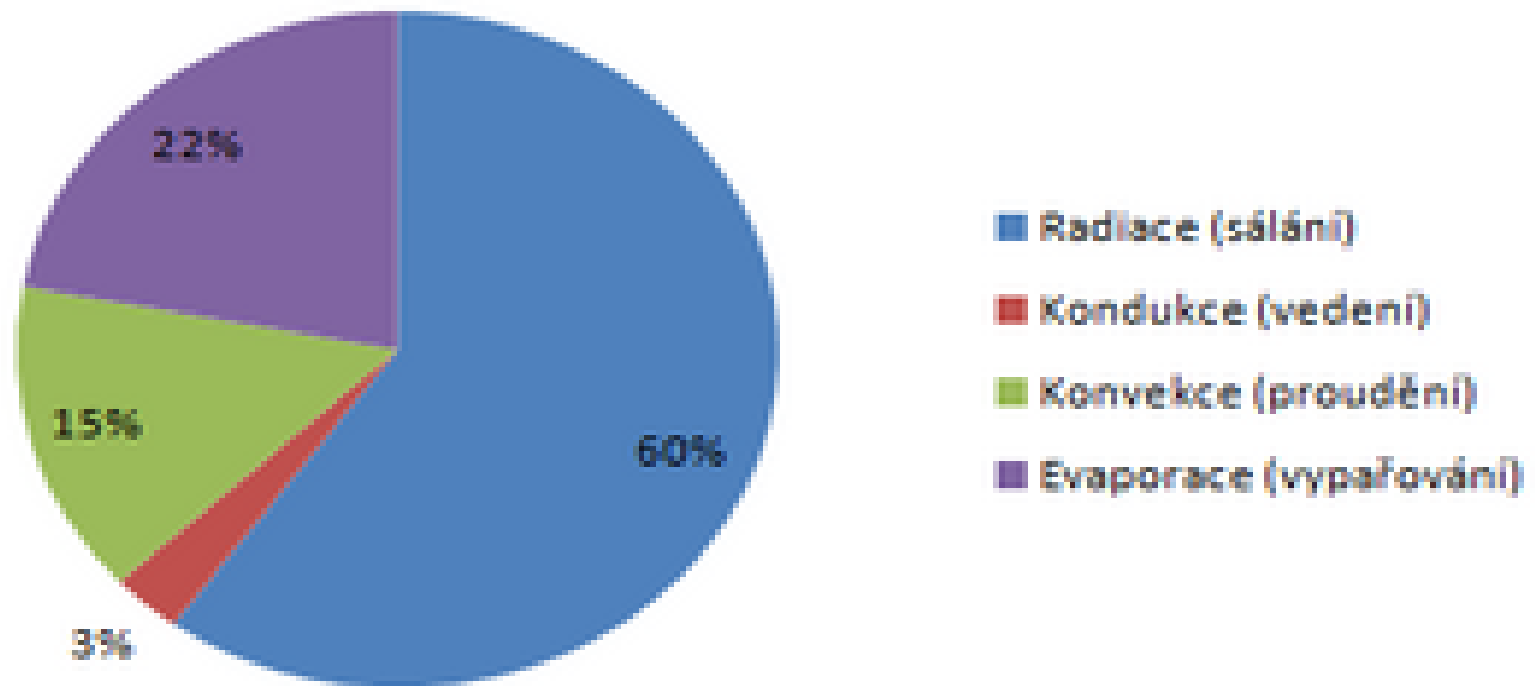
- Teplo sa vydáva z organizmu hlavne **povrchom tela (koža) a sliznicami**
- Straty tepla závisia od rýchlosti straty tepla, rýchlosti prenosu a rýchlosti odovzdávania tepla z kože do okolia
- Tepelné jadro je od okolia oddelené **izolačným systémom – koža a podkožné tkanivá**
- Prenos tepla závisí od prekrvenia kože – pre účely regulácie sú najvýznamnejšie **venózne plexy** zásobované kapilrami kože
- hlboké štruktúry sú obalené tukom – tepelná izolačná vrstva (tuková vrstva vedie teplo až o dve tretiny slabšie ako u iných tkanív – prispieva k udržiavaniu stálej vnútornej teploty tela

Výdaj tepla je zabezpečovaný :

- 1. **!!! KONVEKCIU** – prúdenie -15%- pohyb okolitého prostredia – pohyb vzduchu – vietor, prúdenie vody, stúpanie tepla smerom nahor, transport tepla krvou (hlavný vnútorný transport) – **zvieratá** sa bránia stratám tepla zväčšením izolačnej vrstvy (naježením srsti alebo peria), **človek** – oblečenie, perina
- 2. **!!! RADIÁCIU** – vyžarovanie (sálanie) – najväčší podiel na výdaji telesného tepla – (60% v klúde), realizuje sa v podobe infračervených vln všetkými smermi, radiáciou sa prenáša aj teplo zo Slnka, odráža žiarenie – sneh, deň s nízkou teplotou pri jasnom počasí na snehu sa nezdá taký mrazivý ako keď je zamračené počasie
- 3. **!!! EVAPORÁCIU** – odparovanie, potenie, 22% z povrchu tela a slizníc (resp. trakt) za 24 hodín sa vyparí 450 – 600 ml vody – potenie môže nastať pri fyzickej práci, horúčke, vysokej vonkajšej teplote
- odparením 1 l potu sa do okolia odovzdáva až 2400 kJ.

Straty tepla

Ztráty tepla nahého člověka



- max. kapacita potenia u dospelého človeka je 3litre za 1 h sa môže v extrémnych podmienkach vydať potením až 7200kJ
- **Pri profúznom potení vznikajú straty minerálov, najmä sodíka a chloridov – doplniť !!!!**
- u zvierat špeciálny spôsob evaporácie odparovaním vody z jazyka a horných dých. ciest pri osobitnom spôsobe dýchania – termoregulačné dýchanie – **panting (dychčanie)** napr.pes v horúcom prostredí – frekvencia dýchania 120 – 300/min s malým dychovým objemom – odparovaním vody zo serózných slín a z riedkeho hlienu sliznice nosa a horných dých. ciest sa ochladzuje krv, ktorá zvýšeným prietokom preteká cez uvedené oblasti
- **4.!!! KONDUKCIA – vedenie 3%** – odovzdávanie tepla z teplejšieho na chladnejšie teleso - priamym kontaktom kože a povrchu predmetu (studená stolička, oblečenie)

Termoregulácia

- **Telesná teplota – povrchová – kožná**
- **hlboká – centrálna**
- **povrchovú kožnú teplotu výrazne ovplyvňuje teplota okolia a prekrvenie kože** -jej hodnota sa mení aj podľa toho kde sa meria
- **hlboká teplota – centrálna** - teplota mozgu v termoregulačnej oblasti, v hĺbke tela, vo svaloch ..- **závisí od metabolickej aktivity buniek a pracovnej aktivity svalov**
- **metabolicky najaktívnejší orgán – pečeň má najvyššiu teplotu-** slúži ako zdroj tepla aj pre menej aktívne orgány

Termoregulačné centrum

- **Hypotalamus – centrálné sídlo termoregulácie**
- V oblasti predného H, v area preoptica sa nachádzajú termosenzitívne neuróny – prevládajú neuróny citlivé na teplo
- **Periférne termoreceptory** – prevládajú receptory na chlad – informácie posielajú do zadného H – integrácia vstupov z periférnych termoreceptorov a termosenzitívnych neurónov area preoptica – **regulácia tvorby a výdaja tepla**

MECHANIZMY TERMOREGULÁCIE

- **periférne teplotné receptory** sa nachádzajú v koži (receptory chladu a tepla)
až 10 krát viac chladových receptorov !
- význam ochrany pred nebezpečným podchladením
- ďalšie dôležité termoregulačné centrum je v **zadnom hypotalame**
- neuróny zadného hypotalamu nemonitorujú tel. teplotu priamo, ale spracovávajú informácie z periférnych aj centrálnych teplotných receptorov z predného hypotalamu a **aktivujú výkonné funkcie termoregulácie**, kt. sú zamerané na udržanie **primárnej tel. teploty a ochranu organizmu pred podchladením**
- (experim. dráždenie tejto oblasti vyvoláva svalovú triašku, pri poškodení zvierat nedokáže udržať tel. teplotu, stáva sa poikilothermným živočíchom)

- Chlad aj nadmerné teplo pociťuje človek ako diskomfort - telesnú nepohodu a tento nepríjemný pocit ho upozorňuje na možnosť podchladenia alebo prehriatia.
- **AKLIMATIZÁCIA** - na pobyt v horúcom alebo chladnom prostredí.
- Na horúce prostredie – aklimatizácia vzniká po niekoľkých dňoch – rýchlejší nástup potenia a väčší objem potu, sekrécia potu sa môže zdvojnásobiť a aj prah potenia sa posúva k nižším teplotám tela.
- Na chladné prostredie –prejavuje sa zvýšeným metabolizmom, zvýšením činnosti štítnej žľazy , zväčšením izolačnej tukovej vrstvy , aj neskorším nástupom svalovej triašky.
- Dlhodobý pobyt v chlade sa prejavuje u človeka (aj u experiment.zvierat) zvýšeným metabolizmom a zväčšením štítnej žľazy.
- **HABITUALIZÁCIA** – lokálna aklimatizácia – tej časti tela , kt. je opakovane vystavovaná chladu.(rybár – ruky v chladnej vode, po ponorení prstov do chlad. vody si udržia lepšie prekrvenie akrálnych častí tela a vyššiu teplotu kože)

Termoregulácia

- **Reakcie na chlad a teplo závisia aj od aktivity mozgovej kôry.**
- **V hlbokkej celkovej anestézii alebo v spánku , v bezvedomí sú reakcie na chlad výrazne utlmené.**
- **Pri anestézii alebo v bezvedomí treba venovať veľkú pozornosť udržiavaniu telesnej teploty. Pozor na podchladenie.**

VÝKONNÉ FUNKCIE TERMOREGULÁCIE

- **Termoregulačné mechanizmy sa zapájajú do činnosti pri:**
- **narušení dynamickej rovnováhy medzi produkciou a výdajom tepla, prípadne pri telesnej teplote**
- **Do výkonných funkcií je zapojený motorický, vegetatívny nervový a endokrinný systém**

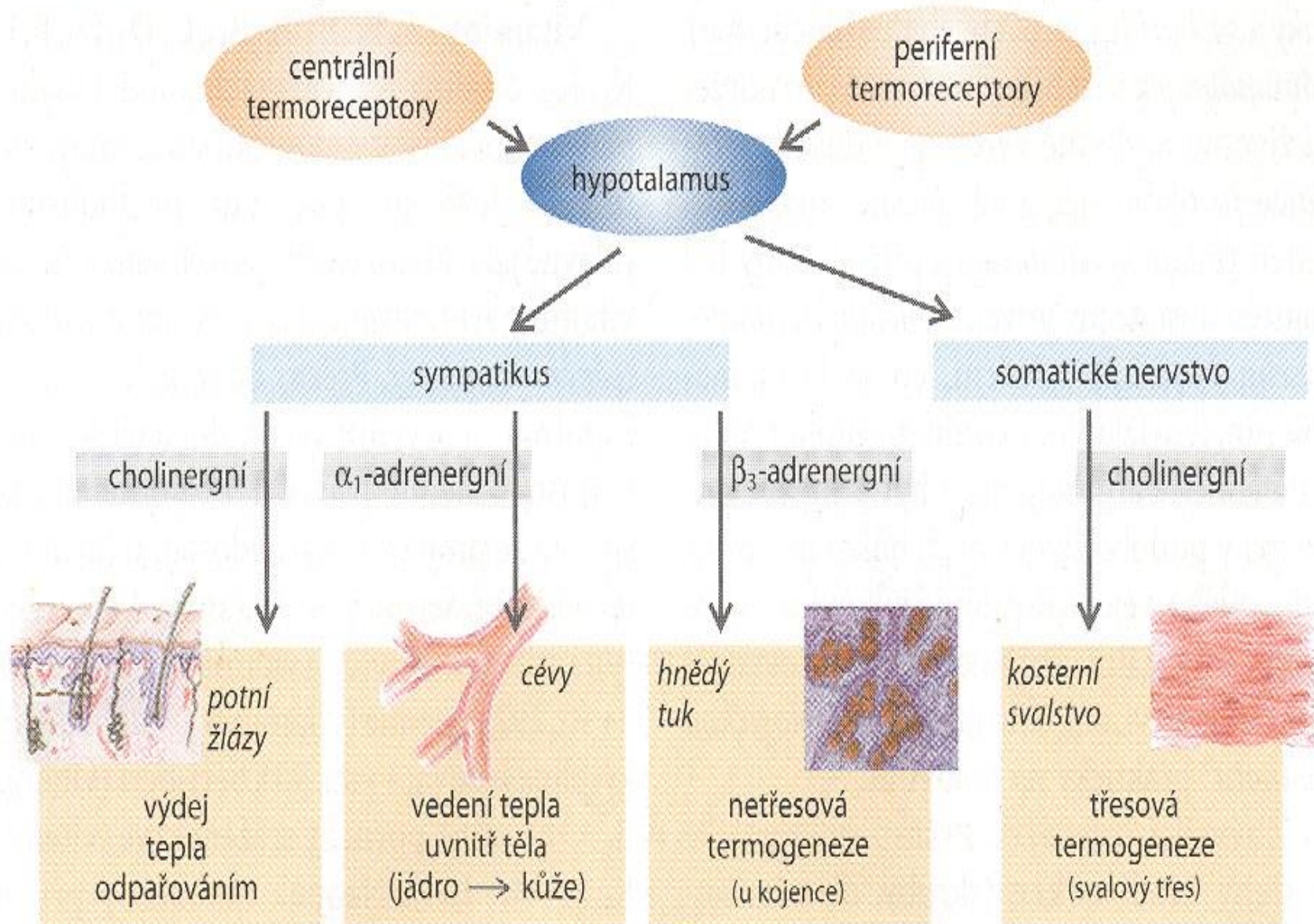
VÝKONNÉ FUNKCIE TERMOREGULÁCIE

- **1. SOMATOMOTORICKÝ NERVOVÝ SYSTÉM** – sprostredkúva zvýšenú tvorbu tepla **svalovou prácou** a **triaškovou termogenézou** (účelové správanie v chladnom prostredí)
- **2. AUTONÓMNY NERVOVÝ SYSTÉM**
pôsobí na hladké svalstvo ciev – ovplyvňuje prietok krvi kožou, upravuje minútový vývrhový objem srdca, reguluje potenie,
- u novorodencov spúšťa netriaškovú termogenézu v hnedom tukovom tkanive

3. ENDOKRINNÝ SYSTÉM

- hlavnú úlohu majú **hormóny štítnej žľazy** – kalorigénny efekt ochladenie preoptickej oblasti hypotalamu s centrálnymi termoreceptormi zvyšuje tvorbu **thyreoliberínu**, ktorý v adenohipofýze stimuluje sekréciu tyreotropínu (TSH) a tým aj sekréciu hormónov štítnej žľazy
- **Hormóny štítnej žľazy aktivujú metabolické procesy v bunkách, čím urýchľujú chemickú termogenézu**
- **Hormóny drene nadobličiek – katecholamíny** – majú menej výrazný, ale rýchlejší efekt – môžu vyvolať chemickú termogenézu hlavne u jedincov s hnedým tukom
- **Systém renín – angiotenzín –aldosterón** sa aktivuje v chlade a zvyšuje sekréciu vazopresínu – podporuje vazokonstrikciu a svojím antidiuretickým účinkom zabraňuje stratám tepla spojených s močením

D. Nervové řízení tepelné bilance organismu



TERMOREGULAČNÉ MECHANIZMY V CHLADE 1. svalovou prácou

- **Zvýšená tvorba tepla** - tvorba tepla sa najefektívnejšie zvyšuje – ovplyvnením rýchlosti metabolických procesov hormónmi štítnej žľazy, sympatiko-adrenálnym systémom, lipolytickou termogenézou v hnedom tuku (novorodenci)
- produkcia tepla sa zvyšuje aj svalovou prácou – účelovými, vôľovými alebo mimovoľovými svalovými kontrakciami až svalovou triaškou – **TRIAŠKOVÁ TERMOGENÉZA** - špeciálny jav – rýchle krátkotrvajúce kontrakcie kostrových svalov – produkcia tepla

TERMOREGULAČNÉ MECHANIZMY V CHLADE – 1.svalovou prácou

- **primárne motorické triaškové centrum – zadný hypotalamus** reaguje na signály z periférnych chladových receptorov
- **informácie – cez tr.cerebrospinalis a tr.reticulospinalis do predných motorických neurónov – tonické a motorické odpovede kostrového svalstva**
- Zvýšenie svalového tonusu – prvotná somatomotorická reakcia na chlad – fenomén pocitu stuhnutia svalstva pri pôsobení chladu
- -zvýšením tónusu nad určitú kritickú úroveň –vznikajú **synchrónne výboje – svalová triaška**
- **PRODUKCIA TEPLA – úmyselná svalová práca (podupkávanie nohami, skákanie,tlieskanie...)**

TERMOREGULAČNÉ MECHANIZMY V CHLADE - 2. znížený výdaj tepla

- sa obmedzuje znížením prítoku krvi do horných vrstiev kože
kožnou vazokonstrikciou
- hlavná úloha - hypotalamus a zvýšená aktivita sympat.nervov inervujúcich cievy kože ako aj účinky hormónov(noradrenalín,vazopresín ,angiotenzín II) –
- **Generalizovaná vazokonstrikcia** – centrálné vyvolaná cez hypotalamus
- **Lokálna vazokonstrikcia** – priame pôsobenie chladu (ruky v studenej vode)
- **Piloerekcia** - termoreg. mechanizmus – konstrikcia - **mm.arrectores pillorum (husia koža)** – u človeka nemá na tvorbu a udržanie tepla rozhodujúci vplyv

TERMOREGULAČNÉ MECHANIZMY

v teple- 1.znížená tvorba tepla

- inhibíciou sekrécie hormónov štítnej žľazy a ďalších hormónov sa spomaľujú metab.procesy - stráca sa chuť do jedla- znižuje sa schopnosť fyzicky pracovať – klesá tónus kostrových svalov

TERMOREGULAČNÉ MECHANIZMY

V teple- 2. zvýšený výdaj tepla

- pomocou **väčšieho prítoku krvi do kože - kožná vazodilatácia** a to pri utlmení aktivity sympat. centier zodpovedných za pokojový tonus ciev v koži a zvýš. minút.objemu srdca
- **vazodilatácia je najvýraznejšia v akrálnych častiach tela (prsty na rukách, nohách, uši ,nos, pery)**
- vazodilatácia súvisí aj so zvýšenou činnosťou potných žliaz a vyvoláva ju **tkan. vazodilatačný hormón bradykynín**, kt. sa vylučuje aj do potu
- veľmi účinným výdajom tepla je **potenie**
- v chladnom ale aj v nadmerne teplom prostredí má u človeka významnú úlohu **vôľové účelové konanie**

