

Termoregulace

Udržení optimální tělesné teploty navzdory podmínkám okolního prostředí je nezbytnou funkcí organismu teplokrevných živočichů včetně člověka. Relativně stálá tělesná teplota je nutná pro normální činnost metabolismu a průběh enzymatických reakcí. Tělesná teplota je dána výsledkem mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla. Rovnováhu mezi těmito ději zajišťuje termoregulace.

Termoregulace lidského těla je založena na principu záporné zpětné vazby či homeostáze. Regulačním centrem je **hypothalamus**, kde jsou vyhodnocovány signály z termoreceptorů. Na základě toho je kontrolována produkce a výdej tepla organismem. Jádro lidského těla je teplokrevné (*homioi termní*) – i v případě velkých výkyvů okolní teploty se jeho teplota mění jen minimálně. Periferní části těla (kůže, končetiny) se naproti tomu chovají studenokrevně (*poikilothermně*) a částečně přizpůsobují svoji teplotu okolí, což zabraňuje vysokým ztrátám tepla.

Průměrná tělesná teplota v klidu je v ústech **36,6–37 °C^[1]**, v rektu o 0,6 °C^[1] vyšší. Většina orgánů vyžaduje teplotu okolo 37 °C, běžně se ale pohybujeme v rozmezí až 35,5–40 °C, to je dáno různými fyziologickými vlivy jako cirkadiálními rytmy (v průběhu dne kolísá od 36 do 37,5 °C^[1], minimum ráno, maximum odpoledne), menstruačním cyklem (během ovulace pokles o 0,3 °C, v druhé polovině cyklu vlivem progesteronu a také v těhotenství až + 0,5 °C^[2]), fyzickou zátěží, příjmem potravy, věkem (větší vliv teploty okolí na děti), okolním prostředím (tepelná pohoda je stav, kdy díky přiměřené okolní teplotě organismus nemusí zapojovat termoregulační mechanismy (20–21 °C oblečený, 28–30 °C nahý) i psychickým stavem (až + 2–3 °C). V námaze může teplota v rektu stoupnout až na 40 °C^[2].

Produkce tepla v organismu

Teplo vzniká v těle především jako vedlejší efekt metabolických procesů a důsledek svalové práce. V klidu je více než **polovina** (56 %^[3]) tepla produkována **ve vnitřních orgánech**. Na tvorbě tepla se podílí:

- *průměrný bazální metabolismus všech buněk* Množství uvolněného tepla takovýmto způsobem lze měřit buď kalorimetricky nebo nepřímou, tedy měřením spotřeby kyslíku podílejšího se na uvolnění 95 % energie z přijaté potravy. Jestliže známe energetický ekvivalent kyslíku u jednotlivých živin, tedy kolik energie se uvolní spotřebou 1 litru kyslíku, můžeme celkovou uvolněnou energii za daný časový úsek vypočítat;
- *termogenní efekt potravy*;
- *zvýšený metabolismus* aktivovaný v důsledku působení regulačních hormonů, např. sympatikem, adrenalinem, noradrenalinem, tyroxinem atd. (Tento faktor se projevuje zejména dlouhodobě.);
- *zvýšený metabolismus* podmíněný svalovou námahou, chladovým třesem, trávením;
- *zvýšený metabolismus* podmíněný zvýšenou teplotou buněk v důsledku růstu rychlosti probíhajících chemických reakcí;
- *termogeneze v hnědém tuku* (chemická netřesová termogeneze).

Přibližně 18 %^[3] tepla vzniká v klidu ve svaích. Zbytek tepla je produkován mozkem a ostatními tkáněmi. V námaze může podíl svalové práce stoupnout až na 90 %^[3]. Klesne-li teplota lidského těla pod 35,5 °C^[2], nastupuje svalový třes.

Výdej tepla

Pro kontrolu tepelných ztrát organismu jsou zásadní termoizolační vlastnosti jednotlivých tkání:

Tepelná izolace

Cévní systém přenáší teplo velmi dobře a to je z jádra na periferii vedeno především touto cestou. **Regulací průtoku krve** podkožními žilními pleteněmi je možné významně **ovlivnit ztráty tepla**. Kůže, podkoží a tuk jsou oproti tomu izolátory – mají třetinovou schopnost vést teplo a před ztrátami organismus chrání. Velkým úbytkům tepla na periferii zabraňuje také **protiproudový mechanismus**, kdy teplá tepenná krev tekoucí z jádra na periferii předává teplo chladnější krvi žilní vracující se zpět.

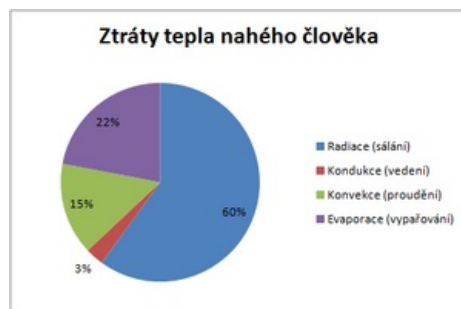
Běžné oblečení snižuje ztráty tepla na polovinu, speciální až na jednu šestinu. Mokré oblečení naopak umožňuje až 20x vyšší ztráty tepla.^[1]

Ke ztrátám tepla dochází mechanismy, které dělíme na přímé a nepřímé.

"Přímé ztráty tepla"

- radiace (vyzařování);
- kondukce (vedení);
- konvekce (proudění).

"Nepřímé ztráty tepla"



- odpařování z plic;
- evaporace (pocení), neznatelné/znatelné.

Přímé ztráty tepla

- **radiace, vyzařování** – v našich klimatických podmínkách významný faktor ztráty tepla tvořící až 60 % celkových tepelných ztrát (pokud pomineme extrémní klimatické podmínky jako např. vysokou teplotu vzduchu, vysokou vlhkost, vysokou rychlost proudícího vzduchu apod.). Organismus tak jako jakýkoliv jiný hmotný objekt o teplotě vyšší než je hodnota absolutní nuly vyzařuje do okolí tepelné elektromagnetické záření. Pro lidský organismus je významné infračervené záření o vlnové délce 5–20 μm . Množství vyzařené energie je dle Stefan-Boltzmanova zákona přímo úměrné čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa. Zcela stejným mechanismem však působí okolní tělesa na lidský organismus. Celková vyzařená energie je tedy dána rozdílem čtvrtých mocnin povrchové teploty lidského těla a teploty těles v jeho bezprostředním okolí. S radiací přímo souvisí i tzv. tepelná pohoda člověka v obytných prostorech, na níž má vliv jak teplota vzduchu v místnosti, tak i teplota povrchu stěn. (Součet těchto dvou teplot je cca 37 °C)
- **kondukce, vedení** – přechod tepla v hmotném prostředí z místa o vyšší teplotě do místa o teplotě nižší předáváním kinetické energie kmitavého pohybu elementů tohoto prostředí. Kondukce tedy není proces spojený s přenosem hmoty, nýbrž pouze s tepelné energie. Množství takto předané energie Q za čas τ (s) mezi dvěma místy závisí na rozdílu jejich teplot Δt (K), vzdálenosti d (m), ploše S (m^2), přes kterou se tepelný přenos uskutečňuje, a na koeficientu tepelné vodivosti λ (J/m.s.K) vyjadřující schopnost dané látky vést teplo, dle následujícího vztahu: $Q = \lambda \cdot S \cdot \Delta t \cdot \tau / d$. V lidském organismu je dobře vodící látkou krev, tepelným izolantem potom zejména tuková tkáň. Člověk ztrácí za standardních podmínek, tedy v uzavřené místnosti za normální teploty bez ošacení, přibližně 15 % tepelné energie. Teplo je vedeno do vzduchu a těles, jež jsou v bezprostředním kontaktu s povrchem lidského těla (kůží). Vzduch je za běžných podmínek, tedy pokud kolem těla neproudí, velice dobrým tepelným izolantem. Diametrálně odlišná situace však nastane, je-li okolním prostředím voda nebo hodně vlhký a rychle proudící vzduch. Potom budou rozhodující tepelné ztráty dány kondukcí.
- **konvekce, proudění** – proces úzce související s kondukcí. Nejdříve musí být teplo kondukcí předáno látce, jejíž konvekci je potom odvedeno do okolí. Při konvekci dochází na rozdíl od radiace a kondukce kromě přenosu energie i k přenosu látky. Množství tepla Q , které je za daný čas τ (s) odvedeno z povrchu tělesa o ploše S (m^2) do okolí o teplotě nižší o Δt (K) je dáno vztahem: $Q = \alpha \cdot S \cdot \Delta t \cdot \tau$, kde α (W/K.m^2) je koeficient přestupu tepla rozhraním.

Koeficient přestupu tepla rozhraním α (W/K.m^2) nelze zařadit mezi tzv. materiálové konstanty, jež jednoznačně charakterizují danou látku či prostředí, neboť hodnota závisí na mnoha teoreticky nejasně formulovaných a prakticky nesnadno měřitelných faktorech. Koeficient α nelze tudíž vypočítat, ale lze jej stanovit experimentálně pomocí tzv. alfametrů.

Účinky kondukce a konvekce jsou patrné zejména za extrémních klimatických podmínek. Příkladem může být například různá snášenlivost organismu za různých podmínek: Lidský organismus snáší mnohem lépe mráz za bezvětří při malé relativní vlhkosti vzduchu než teplotu mírně nad bodem mrazu při intenzivním proudění vzduchu a vysoké vlhkosti.

Nepřímé ztráty tepla

Vypařování vody

Vzhledem k velkému měrnému skupenskému teplu vypařování vody tvoří vypařování za běžných podmínek až 25 % tepelných ztrát z organismu. K vypařování vody dochází při **respiraci** a **evaporaci**. Při respiraci je vydechovaný vzduch téměř zcela nasycen vodní parou, jejíž parciální tlak dosahuje za normálního atmosférického tlaku hodnoty až 6,3 kPa. Evaporaci rozlišujeme na znatelnou a neznatelnou (inspiratio insensibilis). **Neznatelná evaporace** je proces samovolné difúze vody pokožkou bez účasti potních žláz, která je lidským organismem téměř neregulovaná. Kvantitativně je dána zejména povahou vnějšího prostředí (teplota, relativní vlhkost, rychlost vzdušného proudění apod.) Neznatelnou evaporací ztrácí lidský organismus za normálních podmínek přibližně 660 ml vody denně. **Znatelné pocení**, tedy evaporace za účasti potních žláz, je energeticky významnější. Ztráta vody může za extrémních podmínek činit až 1,5 litru za hodinu. Znatelná evaporace je organismem regulována, její účinnost je však opět znatelně ovlivněna vlastnostmi okolního prostředí.

Znatelné pocení je základní mechanismus odvodu tepla v lidském organismu za podmínek, kdy vysoká teplota prostředí neumožňuje uplatnění jiných mechanismů ztráty tepla (v sauně, kde je suchý vzduch, může člověk pobývat při daleko vyšší teplotě než v parní lázni, kde je 100% vlhkost vzduchu).

Potní žlázy jsou inervovány **cholinergně ze sympatického nervového systému** (jediná výjimka, kdy je acetylcholin postgangliovým neurotransmiterem sympatiku). Pot se tvoří nejdříve jako primární pot (přefiltrovaná plasma bez proteinů). V duktu dochází k reabsorbci v závislosti na rychlosti sekrece:

- *pomalá* – reabsorbce Na a Cl → reabsorbce vody → ↑ urea, laktát, draslík;
- *rychlá* – malá reabsorbce → ↓ urea, laktát, draslík.

Běžný člověk je schopen vypotit 1 litr za hodinu, po aklimatizaci na teplé prostředí stoupá pocení až na 3 litry za hodinu. Zároveň je díky vyšší produkci aldosteronu zabráněno nadměrným ztrátám Na a Cl .^[1]

Termoregulace

Centrum regulace teploty je hypothalamus. V **předním hypothalamu** (*ncl. preopticus, ncl. hypothalami anterior*^[1]) se nacházejí **centrální termoreceptory**. Dvě třetiny z nich reagují na teplo, třetina na chlad.^[4] **Zadní hypothalamus** obsahuje centrum vyhodnocující signály z předního hypothalamu (inhibice) a z **periferních termoreceptorů**, které se nacházejí především v kůži a v míše. Na periférii je desetkrát více chladových receptorů než tepelných.

Snížení teploty

V případě zvýšené teploty organismu dochází k aktivaci **předního hypothalamu**, což vede k inhibici sympatických center v zadním hypothalamu.

Základní regulační mechanismy snížení teploty organismu (zvyšující odtok tepla do okolí):

- **vasodilatace** – zatímco běžně proudí do kůže 5 % srdečního výdeje, maximální dilatací může být tento podíl zvýšen až na 30 %. To až osminásobně zvýší přenos tepla do kůže;^[1]
- **znatelné pocení** – od 37 °C;
- **omezení produkce tepla**.

Při zvýšení okolní teploty nad 30 °C dochází kvůli zvýšeným mechanismům výdeje (zvýšením metabolismu) k paradoxnímu vzestupu teploty!

Zvýšení teploty

Reakce na chlad probíhá opačně. Chladovými receptory z periferie je stimulován **zadní hypothalamus**.

Základní regulační mechanismy zvýšení teploty organismu (snižující odtok tepla do okolí):

- **vasokonstrikce** (od 36,8 °C);^[2]
- **zvýšení produkce tepla**;
- **termogeneze** – *chladový třes (vědomím neovladatelná svalová práce), chemická termogeneze, regulace tyroxinu*;
- **zvýšení metabolismu** (působení kalorigenních hormonů);
- **"husí kůže"** (reakce vegetativního nervstva, pozůstatek od živočichů, kteří zježením srsti zvyšují její izolační vlastnosti);
- **piloerectio** – u člověka malý význam;
- **hlad**.

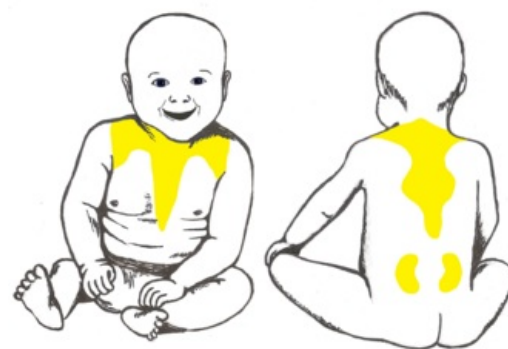
Svalový třes

Primární motorické centrum třesu nacházející se v dorsomediální části **zadního hypothalamu** je za normální teploty inhibováno z předního hypothalamu. V případě aktivace periferními termoreceptory (pokles teploty pod 35,5 °C^[2]) dochází ke stimulaci předních míšních motoneuronů, což **zvýší klidový svalový tonus**. Díky mechanismu zpětné vazby prostřednictvím svalového vřetenka pak pravděpodobně vzniká svalový třes. Produkce tepla ve svaích tak mohou stoupnout **až na pětinasobek**.^[1]

Chemická (netřesová) termogeneze

Noradrenalin ze sympatických nervových zakončení či zvýšená hladina adrenalinu v periferní krvi aktivuje přes β_3 -adrenergní receptory protein **termogenin** (uncoupling protein 1, UCP1).^[5] Ten umožní **odpojení dýchacího řetězce** od produkce ATP na vnitřní mitochondriální membráně. Gradient protonů je tak využíván k **produkci tepla**.

Tento mechanismus probíhá v **hnědé tukové tkáni**, pro člověka má zásadní význam u novorozenců, kdy umožňuje zvýšit produkci tepla až na dvojnásobek. Hnědý tuk se nachází v oblasti pod lopatkou a kolem velkých cév a to i u dospělého jedince, význam tohoto mechanismu je však u dospělých podstatně nižší a umožňuje zvýšení produkce tepla o 10–15 %.^[1]



Rozložení hnědé tukové tkáně u dětí

 *Podrobnější informace naleznete na stránce **Hnědý tuk**.*

Regulace metabolismu tyroxinem

V důsledku dlouhodobého (několik týdnů) vystavení nízkým teplotám dochází u zvířat ke zvýšení produkce hormonu tyroxinu. Význam tohoto mechanismu u lidí je však zatím sporný.^[1]

Extrémní teploty

Regulační mechanismy lidského těla umožňují udržet stálou teplotu jádra při okolních teplotách 12–54 °C^[4]. V případě vyšších teplotních výkyvů a extrémních teplot je zásadní **volní regulace** – tedy oblečení, vyhledání úkrytu, aktivní pohyb.

Vysoké teploty

V případě vystavení vysokým teplotám dochází k nadměrnému pocení. Adaptačními mechanismy na vysoké teploty jsou např. nadprodukce aldosteronu, který při pocení zabraňuje vysokým ztrátám iontů či zvýšení objemu krve. Starší lidé mají tělesnou teplotu často nižší než normu kvůli nižší tělesné aktivitě a kardiovaskulární kapacitě. Při vysoké teplotě okolí hrozí nebezpečí periferní vazodilatace, zhoršený srdeční výdej, dehydratace, což může vést k tepelnému kolapsu.

Úpal

Úpal nastává, je-li teplota těla vnějšími vlivy zvýšena **nad 40,5 °C**^[6]. Takto vysoká teplota již není mozkiem tolerována, proto dochází zvýšeným pocením v zejména v obličeji k ochlazení venózní krve, která následně v *sinus cavernosus* snižuje teplotu krve v *a. carotis interna*.^[6] Trvá-li zvýšení teploty delší dobu, selhávají termoregulační centra, objevuje se zmatenost až ztráta vědomí, může dojít k rozvoji hypovolemického šoku v důsledku vysokých ztrát tekutin.^[1] Není-li teplota těla snížena (např. ponořením do chladné vody), vzniká edém mozku a pacient umírá.^[6]

Úžeh


Úžeh vzniká zejména **přímým slunečním zářením** dopadajícím na oblast hlavy a šíje, kdy dochází k rychlému vzestupu teploty v termoregulačních centrech. Vede k malátnosti, poruše koncentrace, bolesti hlavy, závratím, nevolnosti, zvracení, ztuhnutí šíje, překrvení mozkových obalů (až serózní meningitida, edém mozku), může být smrtelný.^[6]

Nízké teploty

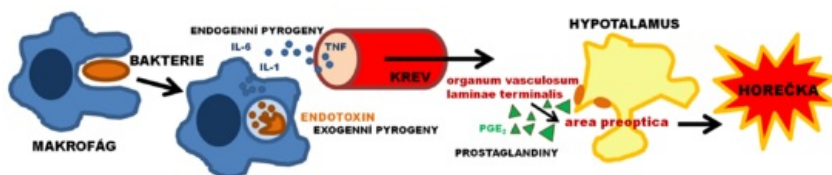
Odolnost vůči nízkým teplotám je vyšší. Při ochlazení o několik stupňů dochází po návratu do normálního prostředí ke spontánnímu zvýšení teploty a organismus zpravidla nebývá poškozen. Klesne-li teplota jádra **pod 28 °C**, je **spontánní návrat nemožný**, při zahřátí však dochází k návratu do normálu. Člověk snese bez následků pokles teploty až na 21 °C, toho se využívá v chirurgii.^[2] Ovšem dvacet až třicet minut v ledové vodě, kdy dojde k ochlazení lidského těla až na 24 °C, způsobí srdeční zástavu a bez pomoci smrt.^[1]

Větší tendenci k podchlazení mají novorozenci kvůli relativně velkému povrchu těla, malému množství podkožního tuku a nezralé třesové termogenezi.

Horečka

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Horečka.*

Horečka vzniká **nastavením regulace (set-pointu) na vyšší teplotu** než je běžné. Vyvolá tak pocit chladu, zimnici, zjevení chlupů. Po nějaké době nastavená teplota klesne, což vede k přehřátí a vysokému pocení (flush).



Reakce regulace set-pointu

Horečka je odpovědí na zánětlivou reakci v těle. Infekcí aktivované buňky imunitního systému (monocyty, makrofágy a Kupfferovy buňky) spustí produkci cytokinů (IL-1, IL-6, β -IFN, μ -IFN, TNF- α), které jsou označovány jako tzv. **pyrogeny**. Přes *organum vasculosum laminae terminalis* (cirkumventrikulární orgán třetí mozkové komory) je aktivována *area preoptica* hypothalamu a dochází k produkci prostaglandinů, které nastaví regulační set-point na vyšší hodnotu a tím vyvolají horečku. Kyselina acetylsalicylová (aspirin) a další nesteroidní antirevmatika, podobně jako paracetamol, produkci prostaglandinů inhibicí cyklooxygenázy snižuje.

Význam horečky spočívá v inhibici aktivity mikrobů, mimo jiné snížením plasmatických koncentrací železa či mědi, a v omezení replikace buněk poškozených viry.^[6]

Odkazy

Související články

- Maligní hypertermie
- Vlivy extrémních teplot na živé organismy
- Termoterapie
- Působení vysokých teplot na organismus
- Tepelné ztráty organismu
- Hypertermie
- Horečka

Externí odkazy

- MEFANET – Pohybová aktivita v horku (<http://mefanet.lfp.cuni.cz/clanky.php?aid=335>)
- MEFANET – Pohybová aktivita v extrémním chladu (<http://mefanet.lfp.cuni.cz/clanky.php?aid=268>)

Reference

1. GUYTON, Arthur C a John E HALL. *Textbook of Medical Physiology*. 11. vydání. Elsevier, 2006. 11; s. 782–784. ISBN 978-0-7216-0240-0.
2. GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vydání. Praha : Galén, 2005. 890 s. s. 495. ISBN 80-7262-311-7.
3. SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha : Grada, 2004. 448 s. s. 238. ISBN 80-247-0630-X.
4. FRANĚK, Miloslav: *Termoregulace*. Přednáška pro 2. ročník 3. LF UK (Fyziologie), 10. 1. 2011. <[1] (http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fold.lf3.cuni.cz%2Fphysio%2FPhysiology%2Feducation%2Fmaterialy%2Fendo%2Ftermoregulace.ppt&rct=j&q=termoregulace%20fran%C4%9Bk&ei=cO19Td7JEor2sgbmX8jgBw&usq=AFQjCNHSu9LPzwiLXR19xOZli_jHmdTPfw&sig2=xsv_Kz4fj8QcHeJBcvTHmA&cad=rja)>
5. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Thermogenin* [online]. [cit. 2011-04-16]. <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermogenin&oldid=403720650>>.
6. SILBERNAGL, Stefan a Florian LANG. *Atlas patofyziologie člověka*. 1. české vydání. Praha : Grada, 2001. 390 s. ISBN 80-7169-968-3.

Použitá literatura

- GUYTON, Arthur C a John E HALL. *Textbook of Medical Physiology*. 11. vydání. Elsevier, 2006. 11; s. 782–784. ISBN 978-0-7216-0240-0.
- FRANĚK, Miloslav. *Termoregulace* [přednáška k předmětu fyziologie, obor všeobecné lékařství, 3. LF UK]. Praha. 10.1. 2011. Dostupné také z <<https://docplayer.cz/26965954-Termoregulace-doc-mudr-miloslav-franek-ph-d.html>>.