

# Působení nízkých teplot na organismus

**Homoitermní živočichové** se snaží uchovat stálou tělesnou teplotu, z důvodu funkčnosti enzymů právě při této teplotě. Lidský organismus je otevřeným termodynamickým systémem, tedy systémem, který si vyměňuje energii s okolím. Na změnu teploty prostředí existuje celá řada mechanismů udržující **stálou tělní teplotu**:

1. **Třesová termogeneze**
2. **Netřesová termogeneze**

Mezi prostředím a organismem s rozdílnou teplotou dochází ke **stálé tepelné výměně**, tyto děje směřují ke stavu **tepelné rovnováhy**. K výměně tepla dochází kondukcí, radiací a konvekcí. Ideální teplota lidského těla je 36,6 °C.

Homoitermní živočichové produkují teplo a udržují stálou **teplotu jádra** (vnitřních orgánů), která je skoro nezávislá na okolí. **Tepelnou rovnováhou těla** rozumíme stav, kdy **produkce tepla odpovídá jeho výdeji**. Živočichové udržují tepelnou rovnováhu hlavně regulací rychlosti odvádění tepla a jeho produkce je regulována málo. Teplo je odváděno kůží a plícemi, uvnitř těla probíhá jeho odvod převážně výměnou krve a tím pádem Tepelná vodivost vnitřních tkání pro rozvod tepla nemá za normálních okolností až tak velký význam.

## Tepelné ztráty

Ke ztrátě tepla z organismu dochází mechanismy, které rozdělujeme na přímé a nepřímé:

**Přímé ztráty tepla:**

- radiace (záření)
- kondukce (vedení)
- konvekce (proudění)

**Nepřímé ztráty tepla:**

- evaporace (pocení)
  - znatelné
  - neznatelné
- odpařování z plic

## Radiace (záření, sálání)

Každé těleso vyzařuje teplo v podobě elektromagnetického záření. Vlnové délky tohoto vyzařování se liší v závislosti na okolní teplotě, tj. při vysokých teplotách odpovídají ultrafialovému záření, při nízkých teplotách viditelnému světlu a v běžných podmínkách infračervenému záření.

Podle Stefan-Boltzmannova zákona je množství vyzařované energie úměrné čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa. Vzhledem k tomu, že okolí působí na organismus stejným způsobem, je potom celková vyzářená energie úměrná rozdílu čtvrtých mocnin povrchové teploty těla a teploty objektů v jeho okolí.

Pro intenzitu záření (odvozeno pro ideální případ záření absolutně černého tělesa) platí:

$$E = \sigma T^4$$

$\sigma$  - Stefan-Boltzmannova konstanta =  $5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Tepelné ztráty zářením tvoří okolo 40–60 % celkových tepelných ztrát, jejich přesná velikost závisí také na okolní teplotě a vlhkosti. Množství vyzářeného tepla je regulováno mírou prokrvení, změnami teploty kůže a velikostí povrchu. Velikost tepelných ztrát se dá zmenšit použitím vhodného oblečení (nebo barvou srsti u zvířat). Vlnová délka záření kůže je 5–20 mikrometrů.

## Kondukce (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Kondukce>) (vedení)

Vedením tepla rozumíme přechod tepla z teplejšího místa na místo studenější, přičemž molekuly teplejšího místa odevzdávají svoji kinetickou energii sousedním molekulám ve studenější oblasti. Při kondukcí se nepřenáší hmota ale pouze tepelná energie.

Množství energie  $Q$  předané za čas  $t$  [s] mezi dvěma místy vedením závisí na rozdílu vzdálenosti míst  $d$  [m], rozdílu jejich teplot  $\Delta t$  [K], ploše  $S$  [m<sup>2</sup>], přes kterou se přenos uskutečňuje, a na koeficientu tepelné vodivosti ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1\\_vodivost](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost))  $\lambda$  [J/m.s.K], který udává schopnost dané látky vést teplo, podle tohoto vztahu:

$$Q = \lambda S \Delta t \tau / d$$

Kapaliny jsou dobré vodiče, v těle je tedy vedení tepla zajišťováno krví. Funkci tepelného izolantu v lidském těle zaujímá zejména tuková tkáň. Ztráty vedením dosahují 15–30 % celkových ztrát a jsou ovlivněny okolními podmínkami.

## Konvekce (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Konvekce>) (proudění)

Velice úzce souvisí s vedením tepla. Teplo musí být nejprve předáno vedením látce, jejímž prouděním je pak odvedeno do okolí. Při proudění dochází kromě přenosu energie i k přenosu látky. Množství tepla, které je za čas  $t$  (s) odvedeno prouděním z povrchu tělesa o ploše  $S$  (m<sup>2</sup>) do okolí o teplotě nižší o  $\Delta t$  (K), lze vyjádřit vztahem:

$Q = \alpha S \Delta t \tau$ , kde (W/K.m<sup>2</sup>) je koeficient přestupu tepla rozhraním.

Koeficient  $\alpha$  není materiálová konstanta, protože jeho hodnota závisí na mnoha nesnadno měřitelných faktorech. Stanovuje se experimentálně pomocí tzv. alfametrů. Je např. známo, že organismus lépe snáší mráz při malé [[w:cs:Vlhkost vzduchu|relativní vlhkosti vzduchu], než teplotu nad bodem mrazu při intenzivním proudění a vysoké vlhkosti vzduchu.

## cs:Vypařování vody

K vypařování vody dochází při [[w:cs:dýchání|dýchání] a pocení. Tyto ztráty tvoří až 25 % ztrát tepla organismu. Při dýchání je vydechovaný vzduch téměř nasycen vodní párou. Při nízkých teplotách k pocení nedochází.

## Třesová termogeneze

Je to prvotní reakce na chlad. Nejdříve se pouze zvyšuje **svalový tonus**, tento stav postupně přechází ve spontánní třes o frekvenci 10–20 stahů za sekundu, při kterém svaly nevykonávají žádnou práci, ale pouze generují teplo. Její spuštění a regulace je řízena v přední části hypotalamu, jedná se o vůli neřízený proces.

## Netřesová termogeneze

Zde jsou popsány dvě základní reakce:

1. Zvýšení metabolismu
2. Blokování oxidativní fosforylace v hnědém tuku

### Zvýšení metabolismu

Proces řízený humorálně vyplavením adrenalinu a noradrenalinu do krevního řečiště. Z toho plynou fyziologické reakce jako zvýšení tepové frekvence, odbourávání tuků a glykogenu, zvýšení koncentrace glukózy v krvi, zvětšení průměru bronchů v plicích. Při delším vystavení chladu přebírá funkci adrenalinu a noradrenalinu hormon thyroxin, který urychluje rozklad tuků a zvyšuje činnost mitochondrií.

### Blokování oxidativní fosforylace v hnědém tuku

**Hnědý tuk** je speciální tkáň, která se ve větším množství vyskytuje u mláďat neosrstěných savců a hibernantů. U dětí jsou největší ložiska hnědého tuku na šíji, v okolí lopatek a kolem ledvin. Zbarvení do hněda je dáno obrovským množstvím mitochondrií v této tkáni. Teplo je tvořeno v mitochondriích, které mají blokovanou syntézu ATP. Pro jednoduchou představu lze tento děj popsat jako protáčení ATP mlýnku naprázdno. Některé studie dokazují, že otužilci dokážou oddálit spuštění třesové termogeneze, vysvětlením by mohlo být právě využití hnědého tuku.

## Řízení teploty v termoregulačních centrech hypotalamu

Řízení tělesné teploty probíhá prostřednictvím **termoreceptorů**, které se nacházejí v kůži, útrokách (tyto se nepodílejí na vědomém vnímání teploty) a CNS (hypotalamus). **Hypotalamus** má funkci **termoregulačního centra organismu**, je nadřazen ostatním termoreceptorům. Jsou do něj přiváděny informace z termoreceptorů (umístěných v kůži) pro chlad a teplo. Z hypotalamu jsou pak následně vysílány podněty, které mění **svalový tonus**. Hypotalamus může také dále vysílat vzruchy jdoucí do hypofýzy, která pomocí řízení činnosti štítné žlázy, tím i hormonu thyroxinu, napomáhá při dlouhodobé adaptaci na chlad. Mechanismy, které napomáhají zvýšení či snížení teploty organismu (vazokonstrikce, vazodilatace, termogeneze, chladový třes, apod.), se snaží vždy srovnat teplotu těla s teplotou v **termoregulačním centru**. Poté dochází k procesům udržujícím běžnou teplotu organismu.

## Patologické působení chladu

Při dlouhodobém působení chladu a celkovém vyčerpání organismu dochází k hypotermii, což je stav kdy teplota tělního jádra klesne pod 35 °C. Nejprve dochází k ochlazení periferních částí těla a povrchových vrstev, následně se chlad šíří do jádra těla k hluboko uloženým orgánům. Faktorem, jenž rozlišuje jaké důsledky bude mít působení nízkých teplot na organismus, je **množství vydechovaného vzduchu** (způsobuje značné tepelné ztráty), doba, po kterou je tělo vystaveno chladu (postup ochlazování organismu z periferie do jádra je pozvolný) a povrch odkrytých částí těla (podíl na ztrátě tepla tímto způsobem je tím větší, čím větší je rozdíl teplot mezi odkrytými a nezakrytými částmi těla).

Při **hypotermii** zpočátku nastává **tachykardie** (navyšuje tělesnou teplotu) a **změna krevního oběhu**. Krevní oběh se v tomto stavu snaží o zajištění udržení teploty nutné pro výkon základních životních funkcí, čímž dochází ke značným rozdílům teploty krve mezi jádrem a periferií. Při ošetření jedince postiženého dlouhodobým působením chladu je nutné na toto dbát, a proto je tedy např. podání alkoholu podchlazenému jedinci značně kontraproduktivní, protože dojde ke zředění krve z jádra a periferie, což může mít fatální následky, neboť dojde k rychlému zchlazení krve v jádru.

Po **tachykardii** nastupuje **bradykardie**, která je součástí postupného **utlumování organismu**, jenž může vést až ke spánku (důsledkem všeobecného útlumu).

Při snížení teploty jádra na 34 °C začínají poruchy vědomí, při 32 °C nastává bezvědomí. Pokud teplota jádra klesne pod 24 °C, jedná se o letální stav a dochází k selhání srdce.

Při dlouhodobém působení nízkých teplot na končetiny může docházet ke vzniku **omrzlin**. K tomuto procesu dochází při okolní teplotě 15 °C a méně. Organismus se s tímto stavem snaží vyrovnat pomocí snížení průtoku krve na periferiích, **aby jádro těla zůstalo nepoškozeno**. Omrzliny dělíme do 4 skupin podle závažnosti (může dojít až k nekróze postižené části těla).

Působení nízkých teplot na organismus má ovšem i pozitivní využití. Kromě **kryoterapie** se jedná zejména o **podchlazení organismu při operacích**. Například při operaci srdce, kdy dochází k vyřazení krevního oběhu, jenž by za normálních podmínek vedlo k poškození CNS, se díky podchlazení těla snižuje spotřeba kyslíku mozkem (při 30 °C na polovinu, při 20 °C dokonce jen na desetinu), což vede k prodloužení doby, kdy pacient snese i delší přerušení krevního oběhu bez následků.

## Zdroje

- TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 568. ISBN 80-247-0512-5.
- TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 568. ISBN 80-247-0512-5.
- NAVRÁTIL, Leoš, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. s. 76. ISBN 80-247-1152-4.
- BENEŠ, Jiří, Pravoslav STRÁNSKÝ a František VÍTEK, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2005. 196 s. s. 67, 68. ISBN 80-246-1009-4.
- BALÁŽOVÁ, Martina. *Stres a chování živočichů a člověka*. Praha, 2009,