

Niekoľko fyziologických poznatkov o termoregulácii

Jozef Repčík

Človek patrí medzi živočíchy so stálou telesnou teplotou (homoiotermné). To znamená, že potrebuje a v určitých hraniciach je aj schopný udržiavať si relatívne konštantnú telesnú teplotu. Na teplote vnútorného prostredia závisí rýchlosť chemických procesov prebiehajúcich v organizme. V záujme fungovania organizmu je, aby tieto procesy kolísali len málo. Krátkodobé výchylky zmien telesnej teploty môžu byť hladko vykompenzované bez následkov. Výrazne alebo dlhodobé odchýlky od normálnej telesnej teploty môžu viesť spomaleniu až zastaveniu procesov látkovej výmeny, odumretiu tkanív, v krajnom prípade ku smrti. Je preto nutné, aby telesná teplota bola regulačnými mechanizmami udržiavaná na približne rovnakej výške. Obvykle sa organizmus snaží udržať výdaj tepla a jeho tvorbu v rovnováhe tak, aby sa vydávalo práve toľko tepla, koľko sa vyrobí.

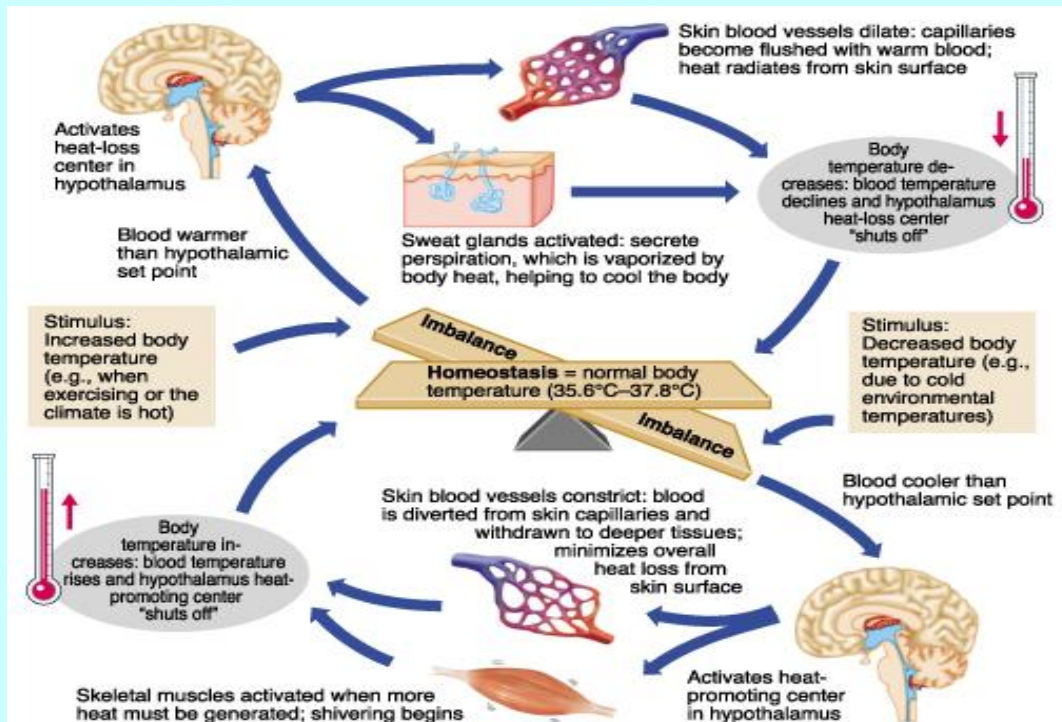
Odklonu od optimálnej úrovne teploty je schopný rôznymi reakciami čeliť. K dispozícii má dva základné mechanizmy:

- a) **chemická termoregulácia** - zvýšená tvorba tepla (zvýšenie tepelného výkonu) prevažne úpravou metabolických pochodov. Tvorba tepla nastáva predovšetkým vo svaloch, z ktorých krv rozvádza vytvorené teplo rovnomerne do celého tela. Veľká tvorba tepla je spojená s veľkým zvýšením metabolizmu. (V pokoji je produkcia tepla asi 80 cal. za hodinu, pri telesnej práci stúpa i na 250 cal.). Nahrádzať straty tepla len chemickou termoreguláciou má zmysel len do určitej miery, pretože potom dochádza k neekonomickým stratám energie. Preto telo súčasne používa aj fyzikálnu termoreguláciu.
- b) **fyzikálna termoregulácia** - ovplyvnenie toku tepla prúdiaceho z tela do okolitého prostredia fyzikálnymi procesmi – zmenami prekrvenia kože a vylučovaním potu.

Tieto zmeny predstavujú **autonómne** (teda na našej vôli nezávislé) **termoregulačné reakcie**.

Termoregulačným reakciám môže organizmus vypomáhať aj zámerným **termoregulačným správaním** (vyhľadávanie tieňa, ochladzujúca kúpeľ v lete, odkladanie odevov, alebo naopak vyhľadávanie vyhriateho priestoru, oblečenie teplého odevu, zhlukovanie väčšieho počtu jedincov - tučniaky sú ukázkovým príkladom, schúlenie do kľbka, aktivita, pohyb, cvičenie, beh ...).

- ad a) **Zvýšená produkcia tepla** - predstavuje zmeny tepelného výkonu organizmu v súlade s potrebami udržiavania stálej telesnej teploty, a to:
 - aktívnou činnosťou pohybového aparátu (práca, cvičenie, beh ...)
 - mimovoľnými zmenami tonického alebo rytmického svalovej činnosti (trasenie, kmitanie, zášklby, zvýšené svalové napätie, kŕče)
 - zvýšením metabolických pochodov, ktoré nie sú spojené s kontrakciou svalov
- ad b) **Transport a výdaj tepla** – z teplého jadra do povrchových vrstiev závisí na prietoku krvi.
 - pri reakcii na chlad dochádza ku **vazokonstrikcii** (stiahnutie, zúženie ciev), čo spôsobuje zníženie prietoku krvi povrchovými vrstvami kože, a tým aj zníženie prúdenia tepla (konvencie) ku kožnému povrchu a jeho výdaj do okolia,
 - opačný proces **vazodilatácia** (rozšírenie ciev) naopak zvyšuje prietok krvi kožou, uľahčuje výdaj tepla a niekoľkonásobne znižuje tepelnú izoláciu kože,
 - najmohutnejšie zvýšenie výdaja tepla spôsobuje **potenie**.



Produkcia tepla a teplota jadra

Homoiotermný organizmus, na rozdiel od bežných fyzikálnych termostatov, je schopný riadiť svoj tepelný výkon len v obmedzenom rozsahu.

Dolná medza tohoto rozsahu predstavuje tzv. **bazálny metabolizmus** (základná tepelná výmena, základný tepelný výkon) – je to metabolické teplo, uvoľňované v organizme pri minimálnej činnosti jeho orgánov a buniek v miere nevyhnutnej na udržanie života (dýchanie, krvný obeh, trávenie ...).

Horná medza dlhodobého tepelného výkonu sa pohybuje u zdravého človeka v rozmedzí **3 až 4-násobku základnej výmeny**. Krátkodobo je človek schopný zvýšiť tepelnú produkciu aj na 10-násobok (šprint na krátkej trati), ale takýto špičkový výkon nemôže používať dlhodobo pre zachovanie tepelnej rovnováhy.

Bazálny tepelný výkon a tepelný výkon dlhodobo únosný predstavujú dolnú a hornú medzu regulačného rozsahu. V tomto rozsahu je teplokrvný organizmus schopný udržiavať normálnu teplotu jadra tela (normotermia).

Pri raste chladiaceho účinku vonkajšieho prostredia (znižovaní teploty okolia) postačuje spočiatku fyzikálna termoregulácia, t.j. obmedzenie výdaja tepla vazokonstrikciou. Ak klesá vonkajšia teplota ďalej, musí sa zvýšiť tvorba tepla. Po prekročení hornej medze regulačného rozsahu narastá chladiaci výkon prostredia (odber tepla) rýchlejšie ako tepelný výkon organizmu a teplota jadra sa začína znižovať. Telo prechádza do stavu **hypotermie**. Teplota jadra napriek obmedzeniu výdaja tepla a vysokej úrovni tepelnej produkcie klesá, čo v konečnej fáze vedie k smrti chladom.

Výdaj tepla pri plávaní v chladnej vode je obrovský (voda odvádza z povrchu tela teplo 3 až 5 krát rýchlejšie, ako vzduch rovnakej teploty, pri prúdiacej vode je to ešte viac) a výrazne presahuje termoregulačné možnosti organizmu. Samotné plávanie síce zvyšuje produkciu tepla, ale množstvo tepla získané svalovou činnosťou na zastavenie ochladzovania organizmu

nestačí, naopak, skôr sa môžu objaviť dýchacie problémy (najmä u chudých ľudí a slabých plavcov, tučnejší alebo tuční jedinci sú na tom trochu lepšie). Dnes sa strokotancom, ktorí majú záchrannú vestu odporúča, aby radšej zostali v pokoji a plávanie obmedzili len na dosiahnutie najbližších predmetov, ako sú trámy, záchranné člny a pod.

Športové otužovanie vedie k „trénovaniu“ termoregulačných mechanizmov, ktoré má telo k dispozícii a v praxi ukazuje reálnu možnosť ich výrazného zlepšenia. Umožňuje pobyt vo vode okolo 0°C a vonkajšej teplote pod bodom mrazu. Ale ani tu nedochádza k zastaveniu ochladzovania tela. Individuálne rozdielny čas je otužilec schopný udržiavať únosnú tepelnú bilanciu, ale po jej prekročení takisto dochádza k hypotermii so všetkými ďalšími následkami. **Aj pre otužilca je pobyt v studenej vode zvládnutelný len krátkodobo !**

Hypotermia pri plávaní sa prejaví poruchami dýchania (povrchné, zrýchlené, nepravidelné), intenzívnymi pocitmi chladu, postupne sa objavia nervové poruchy, kŕče, nekoordinované pohyby, tuhnutie svalstva, malátnosť, ľahostajnosť, apatia, spomalenie dýchania a srdčej činnosti, zastavenie činnosti srdca (fibrilácia), strata vedomia. Smrť nastáva v dôsledku zastavenia srdca, alebo utopenia (buď vdychovaním vody do pľúc, alebo udusením – reflexným podráždením a kŕčovitým uzavretím oblasti hrtana).

Podchladenie sa môže týkať celého tela (zamrznutie, smrť chladom), alebo nastane zníženie telesnej teploty len tej časti tela, ktorá je vystavená chladu (omrzliny). Omrzliny môžu vznikáť aj pri teplotách nad nulou.

Princíp fyzikálnej termoregulácie, t.j. zúženia alebo rozšírenia ciev, intenzívneho alebo naopak obmedzeného zásobenia kože krvou, a tým vlastne regulácie tepelného výdaja je aj pre laika ľahko pochopiteľný. Má však aj svoje zvláštnosti.

Zvláštnym prípadom je **chladová vazodilatácia** (rozšírenie ciev), tzv. Lewisová reakcia. Pri silnej chladovej záťaži (ihneď po ponorení do studenej vody) dochádza najprv k maximálnej vazokonstrikcii (stiahnutiu ciev) a povrchová teplota kože začína prudko klesať. Reakcia je viditeľná ako zblednutie a človek ju pociťuje ako krutú bolesť. U otužilcov postupným a častým prekonávaním tohoto „tepelného šoku“ dochádza k posunu subjektívneho prežívania od pólu bolestivosti k viac či menej príjemnému nárazu chladu. Keď sa koža ochladí na teplotu okolitej vody, bolesť spravidla zmizne a pretrváva len v citlivejších častiach tela (krk, prsty na rukách).

V dôsledku intenzívneho ochladenia sa koža stáva menej citlivou na bolesť pri mechanickom narušení (porezanie, odretie a pod.) – je tu riziko, že si plavec takéto poranenie ani nevšimne a môže dôjsť aj k väčším stratám krvi.

Po určitom čase ale dôjde k prudkému prekrveniu, prejavujúcemu sa očervenením a oteplením kože. Pri dlhšie trvajúcim účinku chladu sa tento jav periodicky opakuje. Chladová vazodilatácia plní ochrannú funkciu, ktorá zabraňuje poškodeniu kože v dôsledku dlhotrvajúceho zníženia prietoku krvi a nedostatočného okysličenia, vzniku omrzlín a odumretiam (nekróze) tkaniva. Napriek chladovej vazodilatácii pri nadmernej chladovej záťaži dochádza k miestnym omrzlinám. Ochranná funkcia chladovej vazodilatácie je dokonalejšia u chladovo adaptovaných ľudí (otužilcov).

Pri výstupe z vody vidíme intenzívne začervenanie pokožky spojené s prekrvením, pociťujeme napínanie kože, pichanie, mravčenie, pálenie alebo teplo v dôsledku intenzívneho prekrvenia teplou krvou z jadra tela. Koža je tiež citlivejšia na dotyk. Presun krvi do chladnej povrchovej časti kože má prispieť k jej návratu povrchu tela do normálnej teploty. Tým ale

krv odovzdáva časť svojho tepla koži a vracia sa ochladená do jadra tela. Jeho teplota sa preto znižuje aj po výstupe z vody, osušení a oblečení - *after drop* fenomén (následný pokles teploty jadra). V priebehu niekoľkých minút sa preto dostavuje pocit chladu hlboko vo vnútri tela s typickou reakciou – *chladovou triaškou*.

Chladová triaška (trasová termogenéza) – je jedným z mechanizmov výroby tepla. Pomáha zvýšiť tepelný výkon organizmu pri pôsobení chladu. Telo je ním schopné výrazne zvýšiť produkciu tepla. Trasenie sa však objavuje až vtedy, keď organizmus stratil viac tepla, než si ho môže touto cestou vyrobiť. Bez ďalších opatrení (oblečenie, pohyb, teplé tekutiny, prechod do teplého prostredia, trenie povrchu tela) nepostačuje.

Praktická poznámka: objavenie sa triašky je prejavom tepelného deficitu organizmu a žiadosťou tela o urýchlené doplnenie vydaného tepla. Má v tomto zmysle aj ochrannú a signalizačnú funkciu. Viditeľná triaška je preto normálny, zdravý mechanizmus návratu tela do vyrovnanej tepelnej bilancie. Predstavuje skôr spoločenský, vizuálny problém (najmä pred neinformovanými a hyperkritickými divákmi) a praktické ťažkosti pri obliekaní. Násilné potláčanie triašky za každú cenu, či už intenzívnou snahou o psychickú relaxáciu, alebo farmakologickými relaxantmi nie je vhodné. Mierny tras trvá chvíľu, spravidla za 10 – 15 minút spontánne odoznie. Pri intenzívnom a pretrvávajúcom trasení je nutný výdatný pohyb, najlepšie v teplom prostredí alebo v oblečení a teplé tekutiny, prípadne vlažná sprcha.

Prekrvenie kože vykazuje miestne rozdiely. Rozlišujú sa tri funkčné oblasti:

- akrálne (vzdialené, vyčnievajúce nad povrch tela) časti – prsty, ruky, uši, nos, chodidlá
- trup a proximálne (bližšie k stredu, trupu) časti končatín
- hlava a čelo

Pri expozícii chladu sú citlivejšie akrálne časti tela, kde dochádza v dôsledku zníženia prietoku krvi k lokálnemu podchladeniu, nedostatočnému okysličeniu a vzniku omrzlín. Citlivá je tiež hlava, chlad v oblasti hlavy výrazne prispieva k celkovému pocitu chladu.

Pri športovom otužovaní sa preto odporúča nenamáčať si hlavu, naopak mať ju tepelne izolovanú vhodnou plaveckou čiapkou a používať plaveckú obuv. Žiaľ, pri otužileckých podujatiach nie sú povolené plavecké rukavice, ktoré by boli, najmä u otužilcov so slabším prekrvením prstov, veľmi vhodné.

Receptory (čidla, meracie elementy)

Automatické udržiavanie stálej teploty tela predpokladá prvky, schopné registrovať údaje o teplotnom stave organizmu a odovzdávať ich do riadiaceho centra (spätná väzba). Túto funkciu plnia **kožné (povrchové) termoreceptory**. V koži máme dva druhy receptorov: chladové receptory a teplotné receptory. Chladové receptory (Krausové telieska) sú početnejšie (6 – 23 bodov na 1 cm² kože) a sú rovnomernejšie rozložené v koži, než teplotné receptory (0 – 3 na cm²). Tieto receptory umožňujú spustiť obranné reakcie na chlad (vazokonstrikciu, zvýšenie tepelnej produkcie) podstatne skôr ako dôjde k zmenám teploty jadra tela.

Okrem termoreceptorov v koži boli preukázané aj **vnútorné termoreceptory** v oblasti hypothalamu (centrum termoregulácie) i v iných oddieloch centrálnej nervovej sústavy (termosenzitívne štruktúry v oblasti krčnej miechy prepojené so zadným hypothalamom).

Existencia termoreceptorov sa predpokladá aj vo svaloch a brušnej dutine. (Veľa ľudí udáva subjektívne pocity chladu až v kostiach).

Otužovanie žiadnym spôsobom nevyraďuje tieto receptory z činnosti, ani neblokuje signály z nich do centra. Teda otužilec pociťuje chlad rovnako, ako ktorýkoľvek iný človek. Rozdiel je v lepšej reaktivite obranných protichladových mechanizmov a najmä v **psychologickej rovine** prežívania chladu.

Poznámka: Časť stroskotancov pri leteckých a námorných nešťastiach umiera prakticky okamžite pri dotyku so studenou vodou v dôsledku reflexného zastavenia dýchania alebo fibrilácie srdечných komôr. Teda skôr, než mohli vyčerpať rezervy svojej termoregulácie.

Obmedzenú ale niekedy veľmi významnú rolu tu zohráva psychický stav stroskotanca. Ten spolu s pochodmi, ktorými sa telo vyrovnáva s náhlou zmenou prostredia spolurozhoduje o hraniciach tolerancie na chlad. **Toleranciou** sa pre tento účel rozumie čas užitočnej aktivity, teda čas, po ktorý je stroskotanec schopný aktívne sa podieľať na svojej záchrane. Je v prvom rade určovaný teplotou vody, izolačnými vlastnosťami odevu, a ďalšími situačnými faktormi. Ale tiež fyzickou i psychickou pripravenosťou jedinca na stret s chladom a jeho snahou vzdorovať a vzoprieť sa osudu. Aj tých niekoľko desiatok minút, ktoré trénovaný človek takto získa, môže byť rozhodujúcich pri jeho záchrane.