



MASARYKOVA UNIVERZITA

# Vliv prostředí na výkonnost vysokohorské prostředí, potápění, horko, chlad

MUDr. Kateřina Kapounková, Ph.D.  
MUDr. Zdeněk Pospíšil



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru  
Regenerace a výživa ve sportu  
(CZ.107/2.2.00/15.0209)



Vliv prostředí může být hlavním faktorem  
ovlivňujícím výkonnost



Skoro každá veličina zevního prostředí může nabýt  
extrémních hodnot



# Stádia odpovědi na extrémní expozici

- Akutní reakce
- Adaptace
- Vyčerpání
- "Vývojové" přizpůsobení

# Akutní ("poplachová") reakce

- **Maximální využití rezerv**, nespecifická stresová odpověď

např. pád do ledové vody

- Nebývá trvale udržitelná
- Příliš dlouhá/silná expozice – vyčerpání
- ( Titanic )

# Adaptace (odolnost)

- **Selektivní rozvoj** nejvhodnějších specifických způsobů ochrany

např. otužilci ve Vltavě

- **Má meze**

např. ani otužilci by nepřežili ztroskotání Titanicu



# ”Evoluční” přizpůsobení

- Druh (populace) po mnoho generací

např. Eskymáci  
(odolnější k zimě)



# Nízký parciální tlak $O_2$

- **Vysoká nadmořská výška**

Nadmořská výška	% na tlak u hladiny moře
1000 m	89%
2000 m	79 %
3000 m	69%

- **Plicní a srdeční nemoci**

- **Letadla**

- Dekomprese

- V kabině normálně tlak ~1800-2500 m



## ■ Výška do 2 500 m:

- postížena vytrvalost ( limitace oxidativní produkce energie)
- výkony do 1 min ( hody, sprinty) nejsou ovlivněny( ATP,CP)

## ■ Velehory

2 500 - 5 300 m

- prahová výška pro aklimatizaci je 2 500 m
- výskyt AHN : v 3 000 m je asi 20%  
v 3 500 m 40%
- nejvýše položené trvale obývané místo v Peru 5 100 m

## ■ Extrémní výška

> 5 300 m

Nelze se přizpůsobit



# Další faktory ve velehorách

- teplota vzduchu - chlad ( $\sim 1^{\circ}\text{C}$  na 150 m)
- ↓ vlhkost ( zvyšuje dehydrataci)
- sluneční záření (hlavně UV)
  - menší část odfiltrována vzduchem
  - odraz od sněhu
- Koncentrace bakterií a alergenů ↓ s výškou  
(sterilní vzduch )

# Akutní reakce na výšku

od 3 500 m:

- svalová únava
- malátnost
- mentální výkonnost ↓
  - (úsudek, paměť, jemná motorika)
  - přispívá k mortalitě ve velehorách
  - pomalu reversibilní  
(kognitivní abnormality rok po Everestu)
- nauzea
- euforie
- bolesti hlavy
- tachykardie, hyperventilace, námahová dyspnoe, noční probouzení, zvýšená diuréza, respirační alkalóza

# Akutní reakce na výšku

> 5 500 m:

■ křeče

> 7 000 m:

■ koma

(při  $S_aO_2$   
~ 40-50 %)



# Průběh aklimatizace

= stupňovitě po etapách

Nadmořská výška	Délka aklimatizace
3 000 m	2 – 3 dny
4 000 m	3 – 6 dní
5 000 m	2 – 3 týdny
nad 5 300 m	nelze

1.hyperventilace

2. erythropoeza - erythropoetin

3. ↑ difuze plynů do krve

4.vaskularizace tkání

# Poruchy aklimatizace

- Akutní výšková nemoc (AHN)- selhání aklimatizace
- Výškový edém mozku ( HACE)- mozková forma AHN
- Výškový plicní edém (HAPE)- plicní forma AHN
- Chronická výšková choroba

# Akutní horská nemoc ( AHN)

- **Aklimatizace pomalejší** než výstup
- Častá, zejména po **náhlém výstupu** do výšky
  - 15-25 % lidí v 2000-3000 m
  - až 67% lidí v 4300 m
- Asi mírný **edém mozku** (a plic a nohou-vazodilatace díky hypoxii)
- Také oligurie nejasného původu - retence  $\text{Na}^+$  a vody

# Akutní horská nemoc: příznaky

- Nástup obvykle do 6 hod, ale často až po 12-24 hod
- Vrcholí 2-3 den



# Akutní horská nemoc:

příznaky (alespoň 3)

## lehká benigní forma

- cefalea
- nespavost
- neúměrná únava
- vertigo
- nechutenství
- nausea, zvracení

## těžká maligní forma

- extrémní únava
- ataxie
- desorientace
- nesoustředěnost
- centrální cyanóza ( rty)
- klidová dyspnoe
- kašel
- tlak na hrudníku
- tachykardie
- palpitace
- edém nohou

# Akutní horská nemoc: léčba

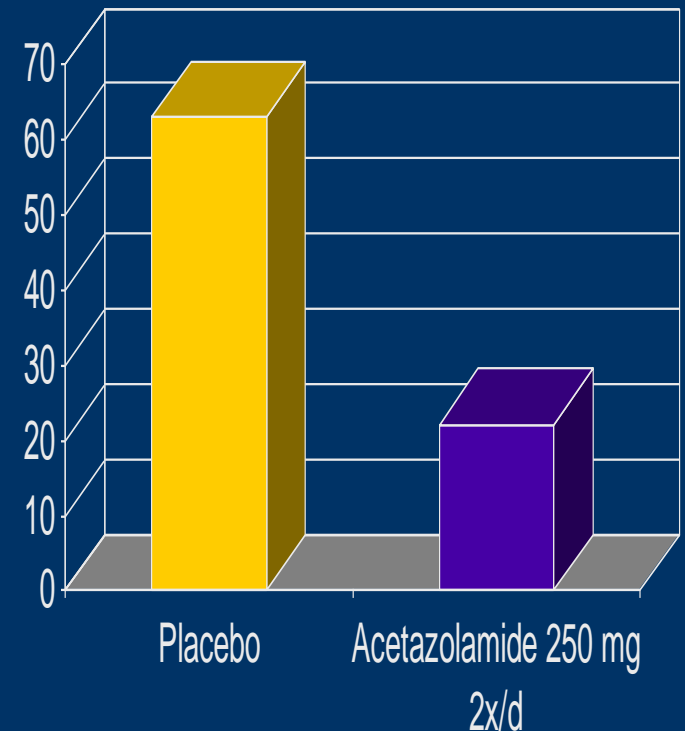
- Obvykle spontánní ústup za 3-4 dny
- O<sub>2</sub> moc nepomáhá
- Diuretika
- Klid
- Zastavit výstup do odeznění!!!
- Nepomůže-li, sestoupit

Dexamethason (4 mg po 6 h)

# Akutní horská nemoc: prevence

- Pomalý výstup
  - (následující noc max 600 m výš)
- Hodně pít, ne alkohol
- Inhibitor karboanhydrázy  
acetazolamid  
(250 mg 2x/d, začít předem)
  - ↑ exkrece bikarbonátu
  - ↓ pH (~metabolická acidosa)
  - ↑ dýchání
- Dexamethason (8 mg/d)
- Antioxidační vitamíny

AMS score 24 hr at 3630 m (% at 0 hr)



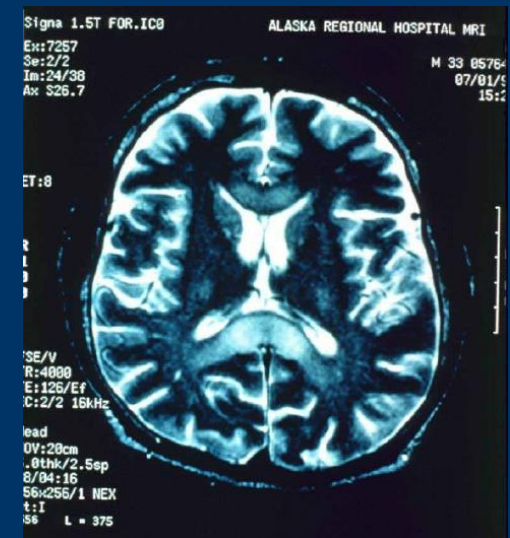
# HAPE- plicní forma AHN



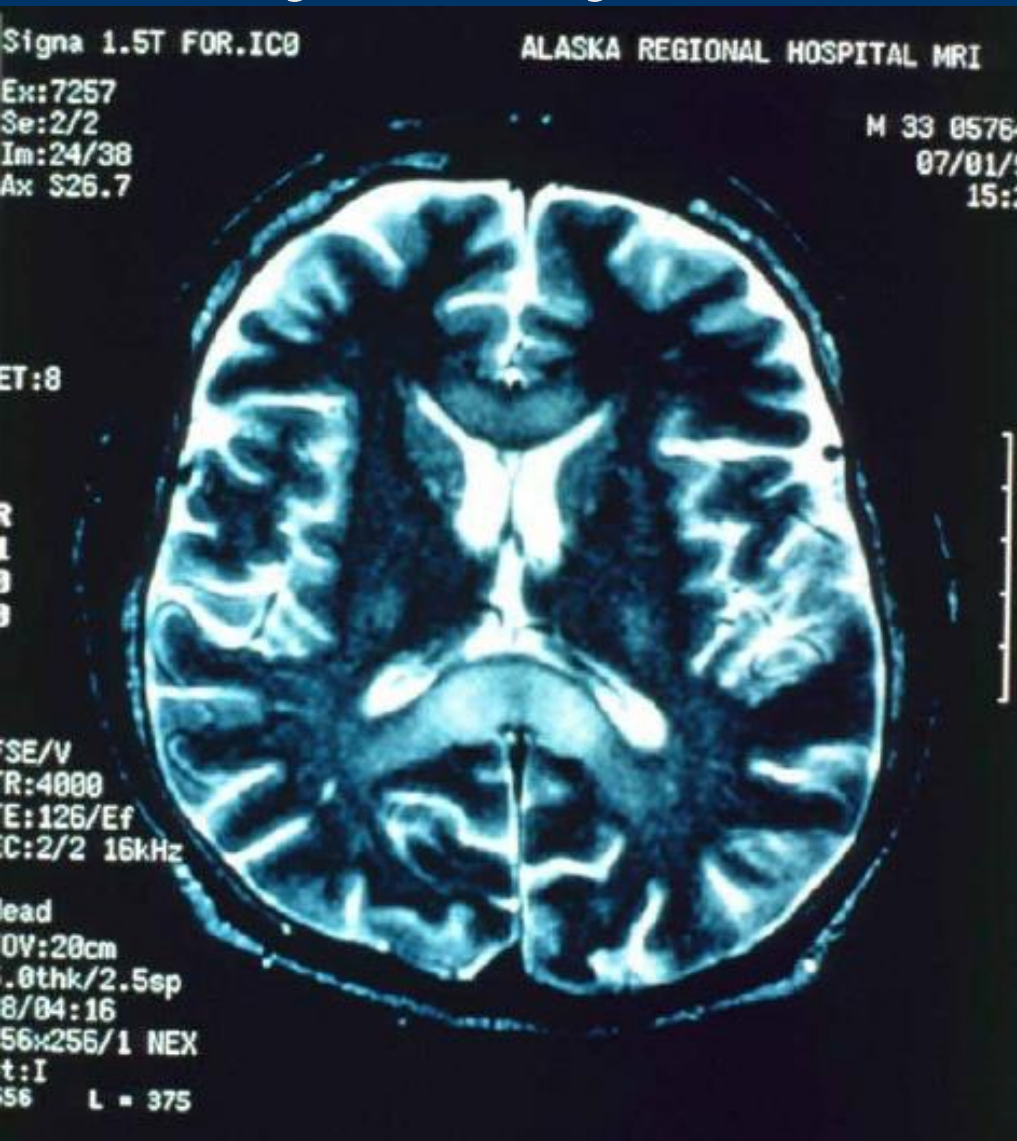
- Nekardiogenní plicní edém
- Velmi odlišný od jiných typů
- V prvních 2-4 dnech výstupu (obvykle rychlého) nad ~2500 m, nejčastěji 2. noc,
- Incidence max.15%, asi víc u mužů
- Bez léčby fatální během hodin (výjimečně i s ní; nejčastější příčina smrti ve výšce), jinak kompletní uzdravení bez následků
- **Projevy : extrémní únava, slabost, kašel, dyspnoe v klidu**

# HACE- Mozková forma AHN

- edém mozku
- vzácný, někdy společně s HAPE
- Po pokračování ve výstupu s akutní horskou nemocí
- **Projevy : připomínají hypotermii (snadná záměna)**
  - silná bolest hlavy
  - iracionalita, zmatenost, letargie
  - halucinace
  - cerebelární ataxie (chaotické pohyby jako při opici)



# Výškový edém mozku



## ■ Léčba:

- **Okamžitý sestup!!!**
- O<sub>2</sub>
- Dexametason

## ■ Prognóza:

- Bez léčby  
fatální během hodin
- S léčbou obvykle  
uzdravení bez následků

# Další zdravotní problémy

- periferní výškové **otoky**

v 4 200 m z 18% ( ženy 28%, muži 14%)

- výšková **retinopatie** ( krvácení do sítnice)

nad 4 000 m 50 - 90% ( v oblasti žluté skvrny – trvalá ztráta zraku )

- **trombózy**

- **embolie**

- **sněžná slepota** ( keratitis solaris)

# Vysoký tlak: potápění





# Jak dlouho vydrží pod vodou:

- Vorvani a delfíni: 2 hod
- Velryby a tuleni: 18 min
- Bobr, kachna: 15 min
- Krysa, králík, kočka, pes: 2-4 min
- Člověk: ~1 min
  - Akvabely:  $\text{PaO}_2$  30-35 mmHg
  - Korejské lovkyně perel: 2 min (20-30 m, 20x za hodinu)
  - Free divers: 8 min. 6 sec.



# Pod vodou

- Tlak  $\uparrow$  o 1 atm na každých 10 m
- Aby plíce nekolabovaly, musí vdechovaná směs přicházet pod  $\uparrow$  tlakem

# Dekompresní (kesonová) nemoc

- vzniká expanzí plynů v dutinách a tvorbou bublin
- při vynořování tvorba bublinek v krvi a tkáních supersaturovaných plynem rozpuštěným během expozice  $\uparrow$  tlaku
- povrch bublinek je thrombogenní  $\rightarrow$  vznik komplexů bublinky-proteiny-destičky
- problémy, až když to plicní cirkulace nestačí odfiltrovat (PAP  $\uparrow$  o  $\sim$ 20 mmHg)

Projevy :bolesti svalů, kloubů; až i paralýza, kolaps, bezvědomí; dyspnea (často předchází vážnější problémy), plicní edém, embolie

# Dekompresní nemoc

- Až po delší expozici
  - dusíku to trvá dlouho, než saturuje tělesné tekutiny (špatná rozpustnost)
  - zejména málo vaskularizovaný tuk ( $N_2$  se v něm rozpouští nejvíc)
- Pohyb to zhoršuje
- He se hůř rozpouští než  $N_2$



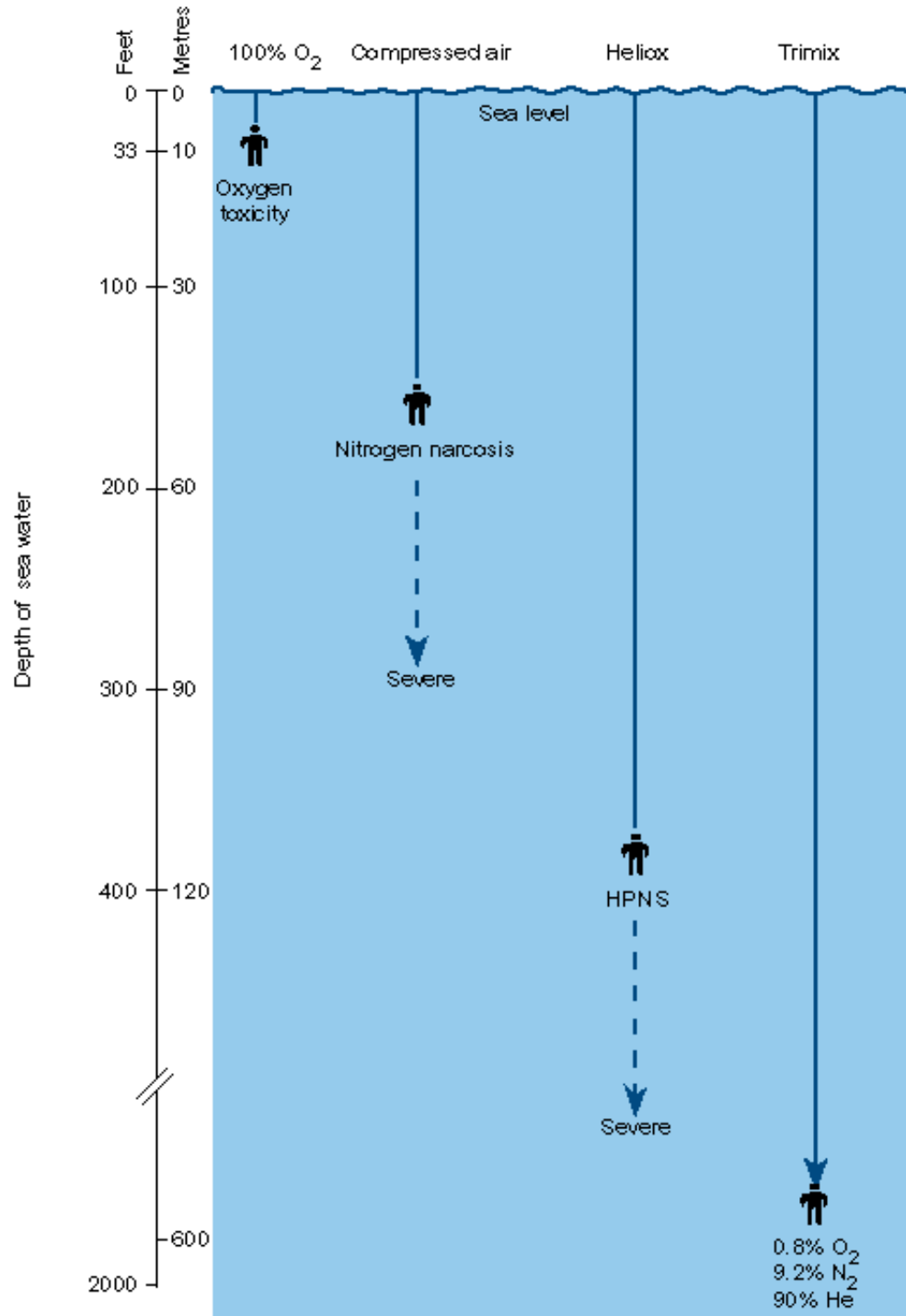
# Dekompresní nemoc

- Léčba:
  - Rekomprese a pomalá dekomprese v hyperbarické komoře
  - Lze zrychlit hyperbarickým  $O_2$ 
    - nedodává se žádný další  $N_2$
    - $\uparrow$  difuze  $O_2$  do ucpaných oblastí
- Prevence
  - pomalé vynořování
  - dny/týdny v přetlakové nádrži

# Vysokotlakový nervový syndrom (HPNS)

- Pod 130 m
- Hyperexcitace nervů tlakem
  - třes rukou
  - nausea, závratě
- Horší při rychlejším ponořování
- Omezují to tlumivé účinky N<sub>2</sub> (“Trimix”)

# Hloubka potopení s různými plyny



# Sportovní potápění

**Konstantní zátěž** : potopení vlastními silami ( 100m, 124-ploutve)

**Volný ponor** ( ručkování): 120 m

**Variabilní zátěž** ( zátěž s odhozením, nahoru po laně) 142m

**Bez omezení**: ( zátěž, nahoru vztlakové zařízení) :214 m

Rekord v **potápění s dýchacím přístrojem**: 318 m ( 12 hod)



# Barotrauma

= patologické změny vznikající přetlakem plynů v tělních dutinách

- nosní dutiny
- zubní kazy
- střední ucho (při ucpání Eustachovy trubice)
- střevní plyny
- alveoly (pokud se při vynořování nevydechuje)



MASARYKOVA UNIVERZITA

# Vliv prostředí na výkonnost teplo, chlad

MUDr. Kateřina Kapounková  
MUDr. Zdeněk Pospíšil



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru  
Regenerace a výživa ve sportu  
(CZ.107/2.2.00/15.0209)



# Termoregulace

- Člověk – teplokrevný
- teplota jádra u člověka bez horečky stabilní ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ )
- nemění se ani v závislosti na  $t$  okolí (12-54  $^{\circ}\text{C}$ )
- teplota kůže se mění (nutné pro termoregulaci)

# Normální teplota jádra

- není u každého stejná
- měřeno v ústech: 36-37.5°C
- za průměr se považuje 36.6-37°C, rektálně o 0.6°C více

37 – 37,9°C – subfebrilní t.

38°C a více – febrilní t.

nad 39°C – poruchy tělesných funkcí

nad 41°C snese jen krátkou dobu

- extrémní teplo (fyzická námaha) : 40°C, extrémní zima pod 35.5°C
- Ideální teplota okolí v klidu: 28°C ( teplota kůže 33°C, kůží – průtok 5% MV

- **Tvorba tepla** : metabolismus ( energie v tukové tkáni)
- **Obrana pocením** v horku : jen při dostatečném množství vody

( pokles hmotnosti o 4% = snížení SV, MV udržován vysokou TF =  
nedostatečné prokrvení kůže -┘ pocení)

# Rovnováha mezi tvorbou a ztrátami tepla

## produkce tepla

- vedlejší produkt metabolismu
- svalová aktivita (včetně třesu)
- endokrinní změny (aktivita hnědého tuku)
- změny chování (choulení)

## odvádění tepla

- sálání
- vedení
- proudění
- **odpařování vody**

- Intenzivní pohyb – svaly produkce 15 – 20x více tepla než BM
- Až 80% energie uvolněné při svalové činnosti je ve formě tepla
- Regulace hypertermie - evaporace

# Evaporace (odpařování)

- **Pocení**

Člověk až 10- 12 l /24 hod

- *perspiratio insensibilis* (i plíce): 450-600 ml denně (12-16 kcal za hodinu, až 384 kcal denně)

nelze nijak regulovat



# Pocení a jeho regulace

- Termoreceptory : **hypotalamus**, v kůži
- Centrum termoregulace : hypothalamus (tepelná nebo elektrická stimulace) – autonomní dráhy do míchy – **sympatikus** do kůže
- **cholinergní inervace**, ale A a NA kupodivu **potní žlázy** stimulují také (význam při cvičení)

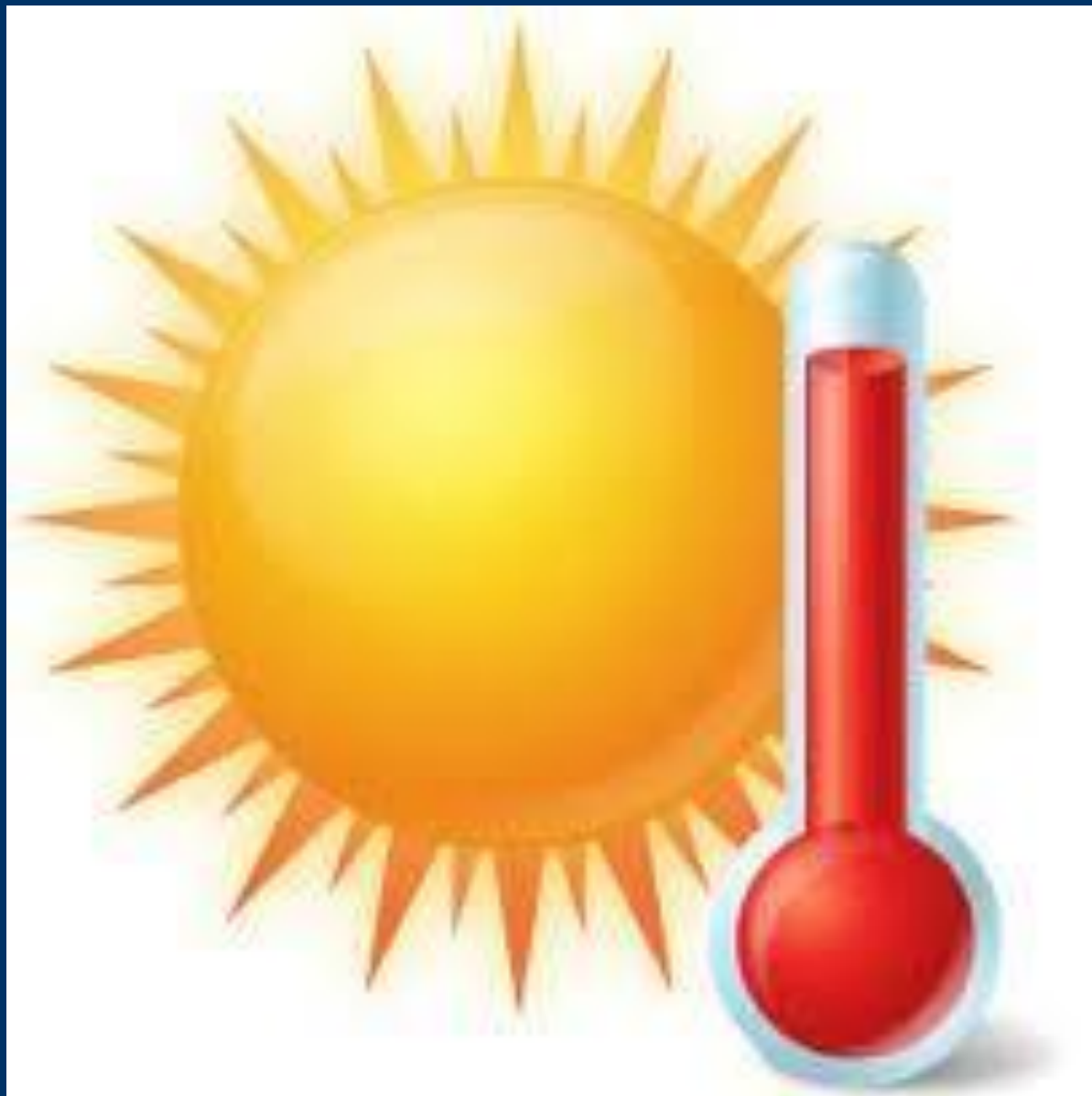
# Hypotalamické centrum

- v přední hypotalamické-**preoptické oblasti** množství termosenzitivních neuronů (**2/3** reagují akčními potenciály na **teplo**, **1/3** na **chlad**)
- zahřátí této oblasti: okamžité profúzní pocení, masivní dilatace kožních cév, inhibice tvorby tepla

# Detekce na periférii


- povrchové: tepelné a chladové (10x víc) receptory v kůži, při ochlazení okamžitý reflex:
  - třes, inhibice pocení, kožní vazokonstrikce
- hloubkové: stejné rozložení i v míše, břišních orgánech a kolem velkých žil: registrace teploty jádra
- hlavním úkolem je prevence **hypotermie**

# Horko



1. **Vazodilatace kožních cév:** 8x zvýšení přísun tepla do kůže, téměř na celém těle
2. **Pocení:** nastupuje při 37°C, velmi efektivní
3. **Pokles v produkci tepla:** silná inhibice třesu a chemické termogeneze ( zadní část hypotalamu)

# Tepelné vyčerpání

- Překročení termoregulační kapacity( i u fyziologické aklimatizace na teplo)
- Náhlé **zatížení teplem + intenzivního sportovního výkonu**  přetížení oběhového systému ( akutní snížení MV, hypotenze)

# Teplota ve vztahu k cvičení

°C	Sportovní aktivita
méně než 25°C	Bez omezení
25 - 27	Delší přestávky ve stínu Pít každých 15 min Sledovat varovné známky tepelné zátěže
27 - 29	Jako výše + Ukončit cvičení neaklimatizovaných osob Omezit trvání cvičení, prodloužit přestávky Nepovolit běhy na dlouhé tratě
nad 29	Ukončit všechny sportovní činnosti

# Termoregulační selhání

- Víc tepla, než se tělo dokáže zbavit
  - hodně tepla z venku
  - velká vlastní tvorba tepla
- Často fatální nebo dlouhodobé neurologické následky
- Hypotenze (z dehydratace) -> omdlávání
- Tachykardie, tachypnea (pokus o kompenzaci hypotenze)
- Kůže nejdřív červená (vazodilatace), později bledá (vazokonstrikce pro kompenzaci hypotenze)
- Hypoperfuze GIT + jeho teplem zvýšený metabolismus -> ischemické poškození bariérové funkce -> endotoxemie -> cytokiny, aktivace koagulace, další zhoršení termoregulace



# Úžeh

- člověk vydrží **několik hodin 55 °C** na suchém vzduchu, **34 °C při 100%** vlhkosti
- stoupne-li teplota těla **nad 40°C** – úžeh:

Projevy :zvracení , zmatenost, delirium, ztráta vědomí, oběhový šok

- několik minut extrémní teploty může být fatální: poškození mozku
  - poškození jater a ledvin může způsobit smrt i po několika dnech po úžehu
- lokální chlazení možná lepší než celkové (vyvolává třes- zvýšení teploty)

# Adaptace na horko

Během 1-3 týdnů

- ↑ kardiovaskulární výkonnost (↑ SV, ↓ TF)
- ↓ ztráty NaCl potem a močí (↑ aldosteron)
- ↑ objem plazmy
- ↑ maximální schopnost pocení (2x)
- Je méně využíván glykogen, více tuk

Adaptování se začínají potit na nižší úrovni tělesné teploty

# Průběh adaptace

2.- 6.den	pokles TF, zvyšuje se objem plazmy
4.-10.den	pokles rektální teploty pokles Na a Cl v potu a moči
8.-14.den	zvyšuje se rychlost pocení

Za 2.-3.týdny se adaptace na teplo ztrácí

# Trénink a aklimatizace na horko

- **Zvýšení aerobní zdatnosti** + větší oběhová rezerva
- **Snížené energetické nároky** na cvičení stejné intenzity, snížený metabolismus glykogenu o 50 – 60%
- **Zvýšené pocení** a menší ztráty iontů
- **Snížení TF**
- Lepší individuální tolerance zátěže

# Chlad



# Reakce na chlad

- Chlad jako stresor-vyplavení katecholaminů (reakce TK,TF),
- Centralizace oběhu ,aktivace osy hypotalamus-nadledvinka,aktivace thyreoid.hormonů jako součást metabolické reakce.Hypoglykémie a nevyspání zvyšuje rychlost podchlazení.
- Rychlejší nástup svalové únavy s možností úrazu úponů

# Mechanismy udržení teploty jádra

- ↑ **svalový tonus** (↑ tepelné produkce)
- **Třes** – klíčový ( motorické centrum v hypotalamu)
  - současné záškuby antagonistických svalů
  - ↑ tvorbu tepla 2-3x
  - při adaptaci se víc třesou svaly uvnitř těla - efektivnější ohřívání jádra
- Netřesová termogeneze
- Větší výdej tepla při svalové práci-nevýhoda v extrémním chladu

1. **Vazokonstrikce kožních cév:** stimulace sympatického centra v zadním hypothalamu, také téměř všude
2. **Piloerekce:** sympatikus na *musculi arrectores*, u člověka malý význam, „izolační vrstva vzduchu“
3. **Zvýšená termogeneze:** třesová a netřesová



# Hypothalamus a třes

- v dorzomediální části zadního hypotalamu **primární motorické centrum třesu**
- normálně inhibováno termickým centrem z předního hypotalamu
- při chladu aktivováno periferními senzory
- impulsy nemají rytmus, pouze zvyšují tonus – když přesáhne kritickou hranici – **třes**
- až 5x vyšší produkce tepla než v klidu

# Extrémní chlad

- 20-30 minut v ledové vodě fatální (zástava srdce), teplota těla 25 °C
- pokles pod 34°C nebezpečný – nízká tvorba chemického tepla, spavost, koma (není třes)
- arteficiální hypotermie: srdeční operace (32°C): buňky vydrží bez kyslíku i 1h

# Ochrana proti tepelným ztrátám

- Omezení tepelního výdeje-vazokonstrikce kůže a neaktivních svalů.
- Chování a oděv-schoulení tělesná aktivita, přiměřený oděv.
- Rozdíly v povrchu těla-děti relativně větší povrch –větší ztráty.
- Termogeneze –třesová(včetně svalové aktivity)
- netřesová(vliv katecholaminů a hnědé tukové tkáně) třes tu nastupuje později
- Adaptace, otužování-prodloužení nástupu tepelných ztrát

# Zdravotní rizika PA v chladu

- Hypotermie-mírná(Tr 32),střední(Tr 30),těžká(Tr 28)
- Vliv na srdeční sval-AP,IM,
- Diving reflex-náhlé ponoření obličeje nebo těla do chladné vody,apnoe a vagový mechanismus poruchy srdečního rytmu s možnou zástavou srdce.
- Pozátěžový bronchospasmus-vdechováním chladného vzduchu.
- Křeče kosterních svalů,hrozí ruptury
- Omrzliny a oznobeniny.

# Adaptace na chlad

- Genetická-australští domorodci, eskymáci, sibiřané
- Aklimatizace-získaná pozitivní reakce na komplex podmínek
- Aklimace-získaná reakce pozitivně na jednu složku
- Habitace (přivykání)-zmenšená reakce na chlad
  
- Typy: metabolická, izolační, hypotermická
  
- Poznámky: děti mají v chladu větší tepelné ztráty, senioři mají zhoršenou vazokonstrikci kůže a omezené vnímání chladu a tepla-hrozí rovněž větší tepelné ztráty.

# Poškození z chladu v dějinách

- Masivní postižení lidí v důsledku chladu při válečných konfliktech
- 1.Napoleonovy armády pod Moskvou-omrzliny,úmrťi na kombinované působení zranění a chladu.Nízká úroveň válečného zdravotnictví.
- 2.Dlouhodobý pobyt v chladu a vlhku v 1.světové válce v zákopech zákopová noha/kombinace omrzlin a dlouhodobých cévních spazmů spolu s infekcí v DK vedoucí k rozsáhlým nekrotám.Nízká úroveň možné zdravotní pomoci.
- Boje u Stalingradu v extrémně nízkých teplotách,špatný oděv, hlad,vyčerpání,psychická zátěž,omrzliny včetně omrzlin konečnicku u německých vojáků při defekaci s nástupnou infekcí a sepsí.