



*47. Benův den fyziologie
a psychofyziologie práce
18. června 2025, Praha*



Vliv zátěže na kardiovaskulární systém

Pudil Radek

1.interní KA klinika LFUK a FN Hradec Králové

Lékařská komise Svazu potápěčů ČR



Základní osnova

- **vliv fyzické zátěže na kardiovaskulární systém**
 - reakční změny
 - adaptační změny
- **vysoce riziková povolání**
 - piloti/řízení leteckého provozu
 - pracovníci IZS (hasiči, záchranáři)
 - řidiči
 - vojáci
 - potápěči
- **management**
 - iniciační aktivní screening
 - surveillance
 - management rizikových faktorů

Nová oblast kardiologie:

- „occupational cardiology?“



Základní pojmy

Reakce na zátěž

- bezprostřední odpověď organismu na fyzické zatížení
- je závislá na řadě proměnných:
 - charakter zátěže (druh, trvání, intenzita)
 - psychosomatické předpoklady a aktuální stav jedince
 - zevní prostředí (teplota, vlhkost, nadmořská výška, atmosférický/hydrostatický tlak...)
 - biorytmy

Adaptace na zátěž:

- přizpůsobení se dlouhodobé pravidelné fyzické zátěži
- složky adaptace: morfologická, funkční a biochemická

Detrénink

- snížení/vymizení adaptačních mechanismů

Maladaptace

- porucha přizpůsobení na zátěž (přetrénování)



Reakce organismu na zátěž

Složky

- neuroendokrinní regulace
- transportní systémy
- dýchací systém
- kardiovaskulární systém
- vylučovací systém
- pohybový systém
- změny metabolismu
- termoregulace



Neuroendokrinní reakce na zátěž

- sympatoadrenální systém (~ akutní stresová reakce)
 - ↑ produkce adrenalinu a noradrenalinu (20-30s)
 - → aktivace kardioresp. systému a metabol. změn (glykogenolýza)
- hypothalamo-hypofyzární osa (do 60s):
 - ↑ produkce CRH, ACTH, glukokortikoidů, T3, T4, glukagonu, aldosteronu a ADH
 - cíl: zajištění energie a tekutin
- další hormony: STH, endorfiny (svaly)

Fáze zotavení:

- anabolicky působící hormony:
 - STH, testosteron, inzulin, tyroxin
- vazopresin, aldosteron



Neuroendokrinní reakce na zátěž:

- podobná stresové reakci
- krátkodobá:
 - pozitivní efekt (imunostimulační efekty)
- dlouhodobá/neadekvátní:
 - negativní efekt (imunosupresní působení)
 - negativní působení trvalé aktivace CRH-ACTH-kortizol
 - závisí na intenzitě a trvání zátěže
 - tzv. „imunosupresní okno“ – př. zátěž nad 75% $VO_{2\max}$ vyvolá potlačení fcí imunitního systému na 2-24 hodin (závislost na trénovanosti)
náchylnost k infekcím, pomalá regenerace... → riziko syndromu přetrénovanosti

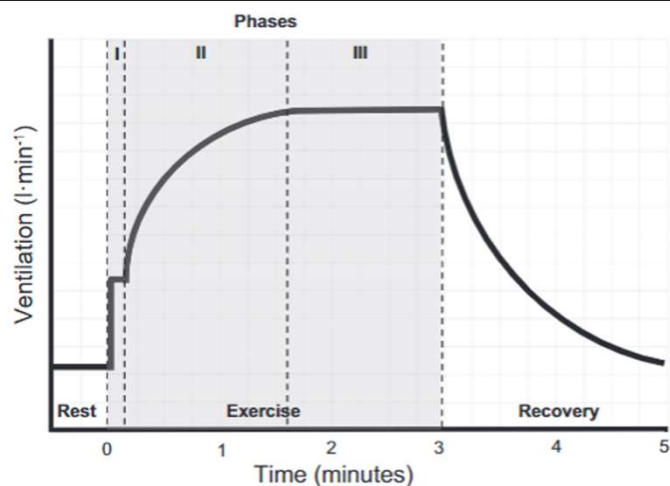


Reakce dýchacího systému na zátěž

- **↑ ventilačních i respiračních parametrů**
 - ventilační: výměna vzduchu mezi plícemi a okolním prostředím, respirační: výměna plynů mezi alveoly a krví a mezi krví a tkáněmi
- **↑ dechová frekvence (DF)**
 - klid: 14-16/min., zátěž: 60-70/min.
- **↑ dechový objem (DO, VT)**
 - klid 500ml, zátěž: 2,5-3l
- **↑ minutová ventilace (VE)**
 - klid: 8-10 l/min., zátěž: netrénovaní – 80 (ž), 100 (m)
 - trénovaní: až 200 l/min.
- **↑ spotřeba kyslíku (VO_2)**
 - klid: 3,5ml/kg/min., zátěž: 35-55 ml/kg/min.
- **↑ arteriovenózní difference pro kyslík:**
 - klid: 6 ml/100ml krve, zátěž: 15-18ml/100l krve

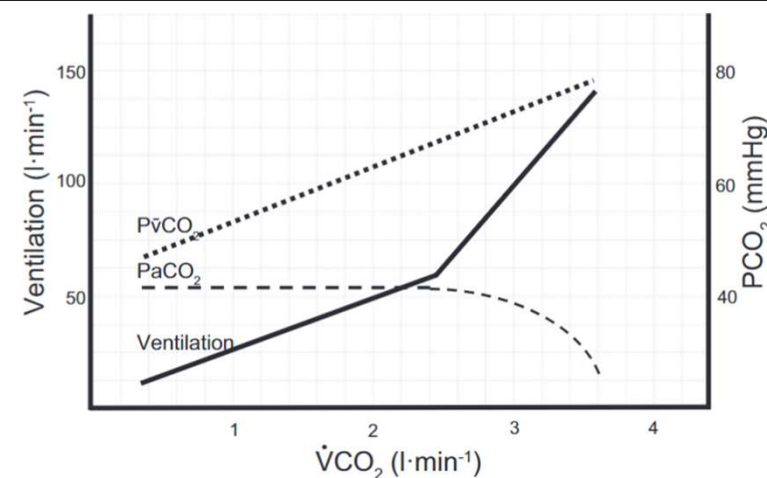


Reakce dýchacího systému na zátěž



3 fáze ventilační odpovědi na zátěž (submax. intenzita)

- I - rychlá fáze nárůstu
- II - pomalejší fáze vzestupu
- III - steady state



- lineární vzestup ventilace až po dosažení submaxima (pak exponenciální nárůst) – anaerobní práh
- trvale lineární vzestup PvCO_2
- dvoufázové změny PaCO_2



Reakce urogenitálního systému na zátěž

- **snížená produkce moči**
 - hypoperfúze ledvin
- **změny složení moči**
 - ↓ pH moči (kompenzace acidózy organismu)
 - ↑ fosfátů (po anaerobní zátěži)
 - ketonurie (dlouhodobé výkony)
 - hemoglobinurie (chodci a běžci)
 - myoglobinurie (rozpad sval. buněk, běžci)
 - proteinurie
 - ↑ propustnost gl. membrány pro větší molekuly
 - intenzivní krátkodobé výkony, nárazy, pády, otřesy, chlad
 - vymizí do 1h, u delších výkonů do 24h
 - hematurie
 - traumatická (traumata močového, tření o m.psoas)
 - mizí do 72h



Adaptace organismu na zátěž

- přizpůsobení se dlouhodobé pravidelné fyzické zátěži
- složky adaptace: morfologická, funkční a biochemická

Adaptace neuroendokrinní:

- ↓ sympatoadrenální aktivity (vagotonie)
- ↑ produkce ACTH a kortikoidů (mírné)
- ↑ obrat hormonů štítné žlázy
- ↑ citlivosti receptorů na inzulin (!!!)
- ↑ produkce testosteronu po tréninku, snížení u vytrvalostních sportů



Adaptace organismu na zátěž

Adaptace ventilace a respirace:

- zlepšení ekonomiky dýchání:
 - ↓ frekvence a ↑ dechový objem
 - ↓ minutová ventilace při stejném zatížení
 - zlepšení mechaniky dýchání (pohyblivost bránice)
 - zlepšení perfúze a ventilace plic
 - lepší utilizace O_2 , minimální až nulový mrtvý bod
- zlepšení výkonnosti dýchání:
 - dosažení anaerobního prahu při vyšší intenzitě pohybu, vyšší VO_{2max}
 - vyšší vitální kapacita
 - schopnost dosažení vyšší minutové ventilace
 - schopnost dosažení většího kyslíkového dluhu



Adaptace organismu na zátěž

Adaptace nervosvalového systému:

- adaptace po silovém tréninku:
 - struktura: hypertrofie/hyperplazie rychlých svalových vláken, změna poměru rychlých a pomalých vláken, ↑ svalové síly
 - metabolismus: ↑ glykolytických a oxidativně glykolytických procesů
- adaptace po rychlostním tréninku:
 - struktura: hypertrofie a hyperplazie glykolytických vláken (IIa/IIb), změna poměru rychlých a pomalých vláken
 - metabolismus: ↑ komponent fosfátového metabolismu
 - nervová: ↑ myelinizace
- adaptace po vytrvalostním tréninku:
 - struktura: ↑ počtu mitochondrií, ↑ kapilarizace, ↑ červených vláken
 - metabolismus: ↑ aktivity mitochondrií a enzymů aerobního metabolismu



Vliv fyzické zátěže na kardiovaskulární systém



Vliv fyzické zátěže na KV systém

reaktivní změny

- bezprostřední odpověď na zátěž (např. TF, TK)
- závislé na řadě proměnných (druh zátěže, intenzita, trvání, psychosomatické předpoklady, aktuální stav jedince a podmínky zevního prostředí)

adaptační změny

- následek dlouhodobého přizpůsobování tréninku
- morfologické, funkční a biochemické změny



Reaktivní změny KV systému

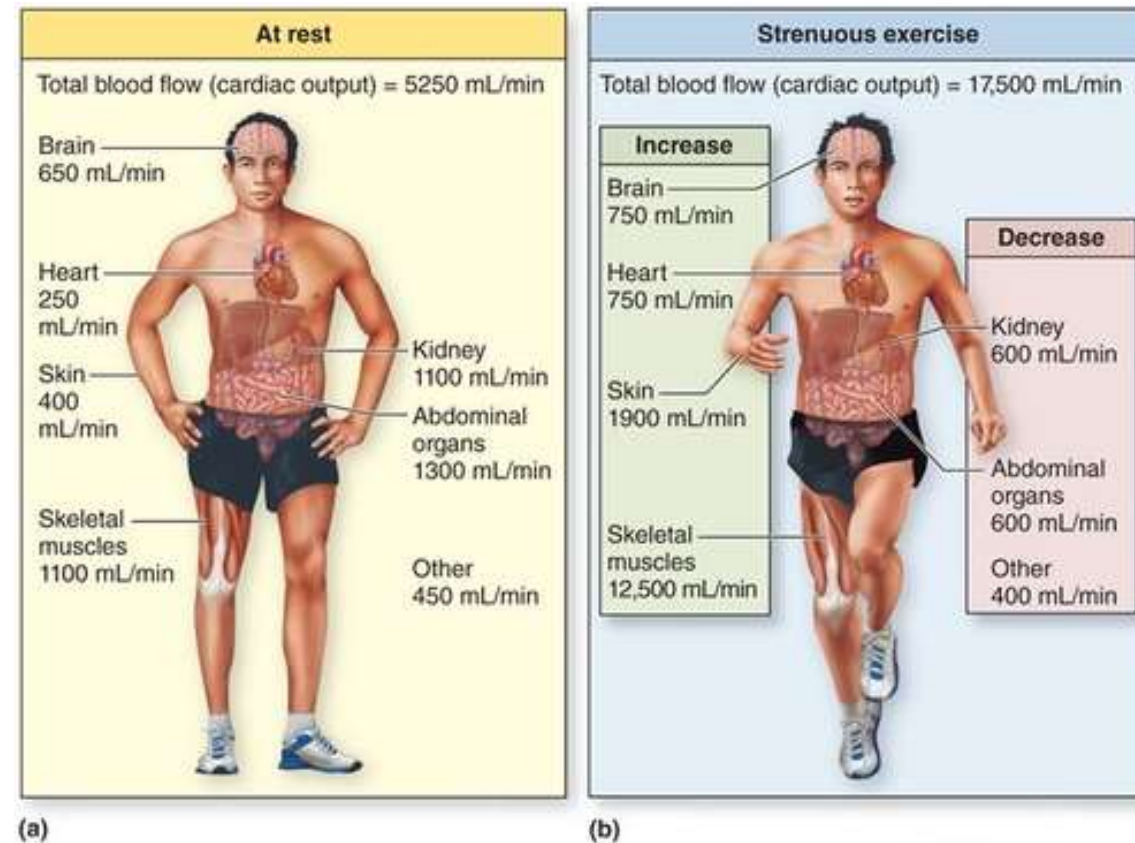
- redistribuce krevního oběhu
- srdeční frekvence
- krevní tlak
- systolický objem a minutový výdej



Reaktivní změny KV systému

Redistribuce krevního oběhu

- cíl - zajištění zvýšeného přísunu kyslíku a živin tkáním se zvýšenými nároky (svaly)
- ↑ aktivity sympatiku (↑ hladiny katecholaminů) + ↓ aktivity parasympatiku
- vazokonstrikce gastrointestinálního a urogenitálního systému
- vazodilatace ve svalech a koronárním řečišti



Reaktivní změny KV systému

Tepová frekvence při zátěži

- vzestup při fyzické zátěži
- klidová TF je ukazatel funkčního stavu
- maximální SF: 220 - věk (roky)

Faktory ovlivňující výši TF:

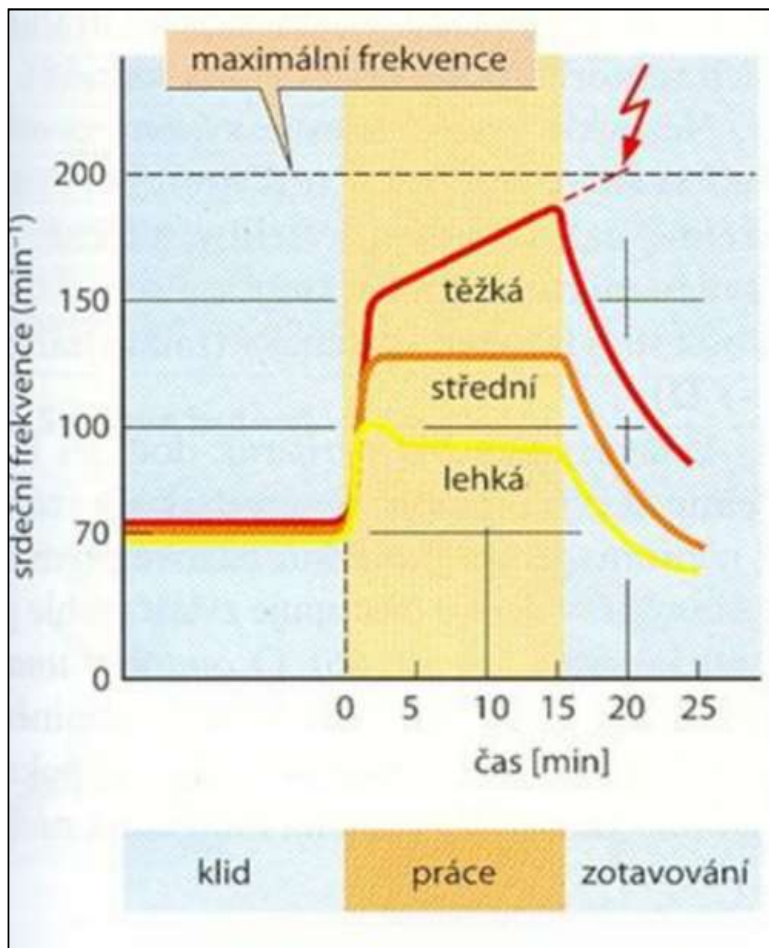
- klidová TF
 - úroveň trénovanosti (Indurain 28/min.)
 - zranění, stres, neúplné zotavení
- pracovní TF
 - trénovanost (větší trénovanost menší $\uparrow$ TF – dáno vyšším tepovým objemem)

Falešné zrychlení TF (kardiovaskulární drift)

- vlhko a horko (důsledek dehydratace pocením) – snížení objemu krve/plazmy – 10-20 tepů

Falešné zpomalení TF

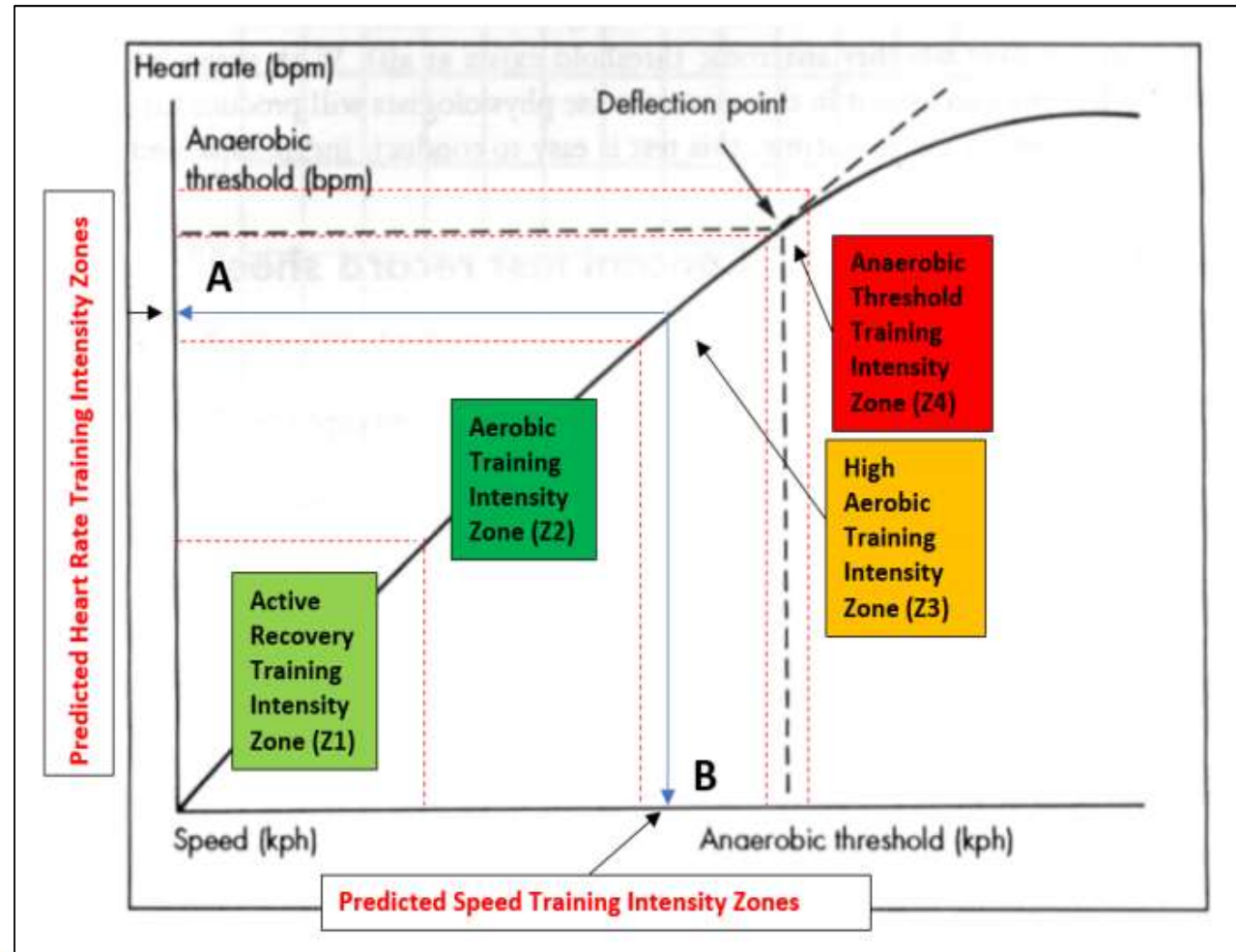
- chladné a suché počasí



Tepová frekvence při zátěži

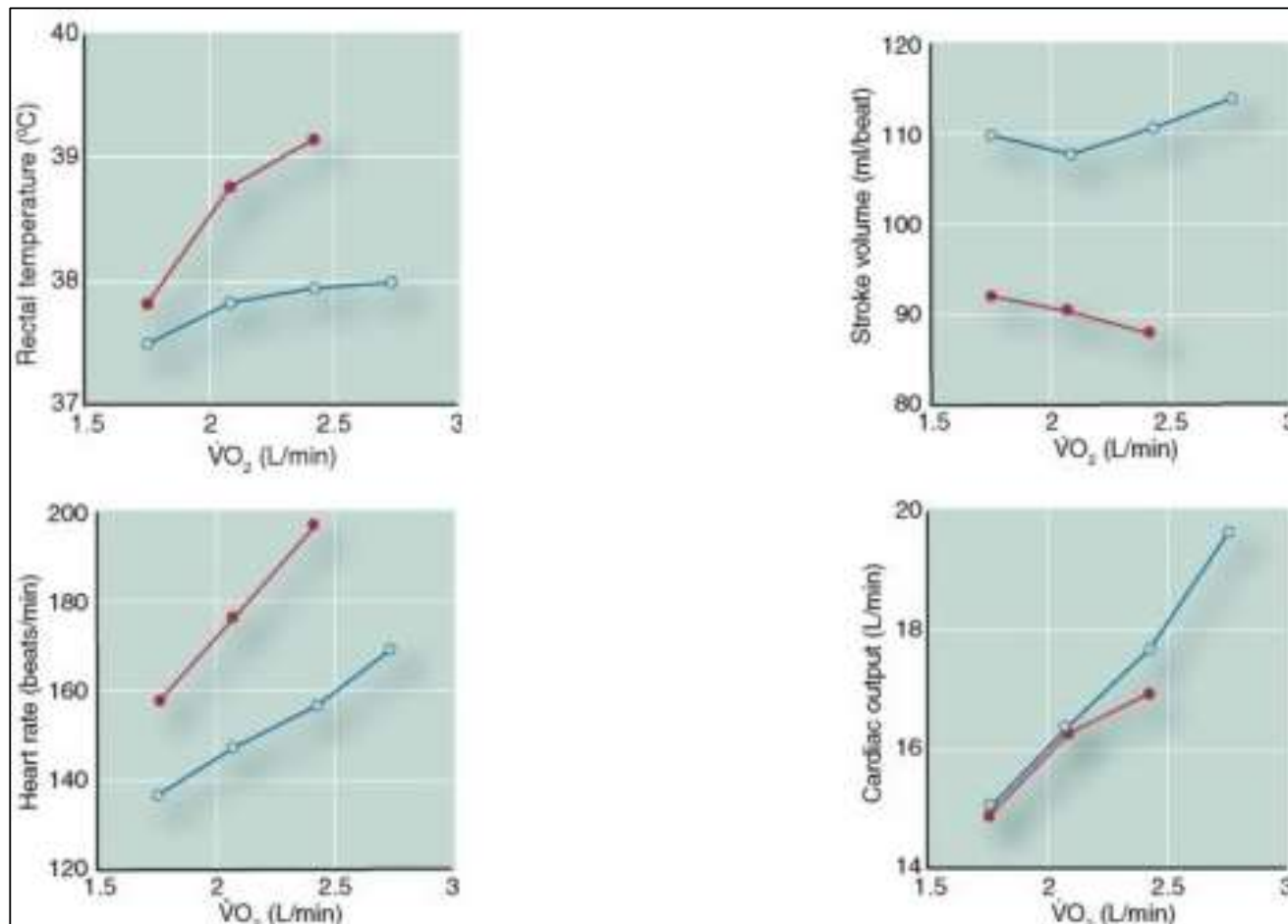
Bod zlomu (Heart rate deflection point, HRDP):

- odp. anaerobnímu prahu
- součást tréninkových plánů podle tepové frekvence



Vliv tepla na KV systém

Průběh TF a KV parametrů při zátěži v závislosti na teplotě
(červeně zvýšená teplota prostředí, modře termoneutrální prostředí)



Krevní tlak při zátěži

dynamická zátěž:

- zvýšení systolického tlaku (sTK), diastolický TK (dTK) je stabilní či klesá (vazodilatace a únava)

Krevní tlak mmHg	Intenzita zátěže				
	klid	mírná	střední	submaximální	maximální
systolický	120	120-140	130-170	180-250	150-190
diastolický	80	50-80	50-80	50-100	80-100

statická zátěž

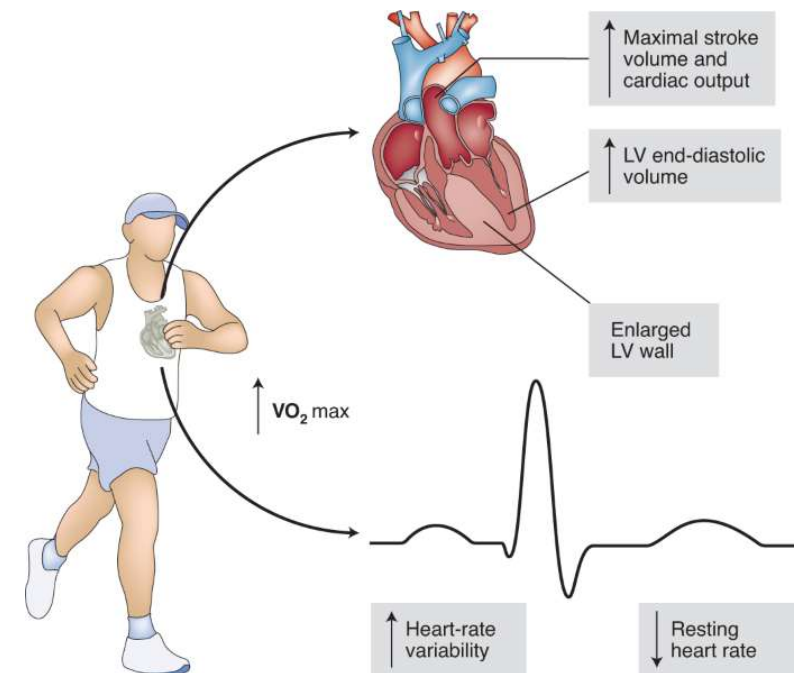
- větší vzestup systolického i diastolického tlaku (omezení cirkulace v kontrahovaných svalech)



Tepový objem a minutový výdej při zátěži

Tepový (systolický) objem (TO, SV)

- = množství krve vypuzené jednou systolou
- Frank-Starlingův zákon (preload, afterload)
- roste se zvyšující se intenzitou zatížení
- maxima dosahuje při SF 120-130/min. (dále se nemění, poté klesá)
- netrénovaný v klidu 60 - 80ml, při zátěži: 150ml
- trénovaný v klidu 100ml, při zátěži 200ml



Minutový výdej (MV, CO, Q)

- klid: 5l/min, max. zátěž: netrénovaný 25l/min.,
trénovaný, 35-40 l/min.

Reaktivní změny srdečních komor při fyzické zátěži

fyzická zátěž → ↑ minutového výdeje (5 → 40 l/min)

→ zvýšení práce obou komor

Levá komora:

- čerpá krev do systémového oběhu - během dynamické zátěže klesá systémová rezistence a stoupá poddajnost

Pravá komora:

- čerpá krev do plicního oběhu
- plicní oběh je téměř naplněn již v klidu
- → limitovaná možnost adaptace

Důsledky:

- vzestup práce (workload) pravé komory je větší než u levé komory
- fyzická zátěž → vzestup tlaku v plicnici (1-3mmHg/1 l MV)
- u velmi trénovaných atletů, kde je velké zvýšení MV, dochází k vysokým zvýšením PAP



Adaptace KV systému na zátěž

Funkční adaptace

- $\uparrow$ vagotonie + $\downarrow$ chronotropie a dromotropie
 - nižší klidová TF
 - prodloužení PQ intervalu na ekg
- $\uparrow$ inotropie
 - $\rightarrow$ vyšší $\uparrow$ SV při nižším vzestupu TF
 - $\uparrow$ minutového výdeje
- změny objemu plazmy
 - $\uparrow$ o 10-15% (přesun z extracelulárního prostoru)
- zvýšená schopnost extrakce kyslíku
 - vzestup a-v O₂ difference o 10-13%
 - současný vzestup VO₂ max



Adaptace KV systému na zátěž

Remodelace levé komory

Morfologická

- **Excentrická hypertrofie**
 - vytrvalostní typy sportovců
 - ↑ svaloviny a regulační dilatace srdečních komor (↑ plnění srdečních oddílů → ↑ komor. předtížení → větší kontrakce myokardu), ↑ ekonomie srdeční činnosti, nižší SF, ↑ SV a MV, ↑ využití laktátu a kyslíku
- **Koncentrická hypertrofie**
 - silový trénink
 - zbytnění svaloviny dovnitř → redukce objemu komory a tím i SV, ↑ dotížení - k překonání je potřeba větší síly

Elektrická remodelace

- sin. bradykardie, AVB I.st., iRBBB, časná repolarizace, izolovaná QRS
kritéria pro hypertrofii LK, častější SV arytmie

Adaptace KV systému na zátěž

Ekg abnormality u sportovců

- voltážová kritéria hypertrofie levé a pravé komory
- inkompletní RBBB
- obraz časná repolarizace
- ST elevace s inverzí T vlny V1–4 u černochů
- inverze T vlny V1–3 u sportovců 16let
- uniklý síňový stah nebo junkční rytmus (dobře akcelerující)
- sinusová bradykardie
- AV blokáda 1. stupně
- AV blokáda 2. stupně typ 1 (Wenckebach)

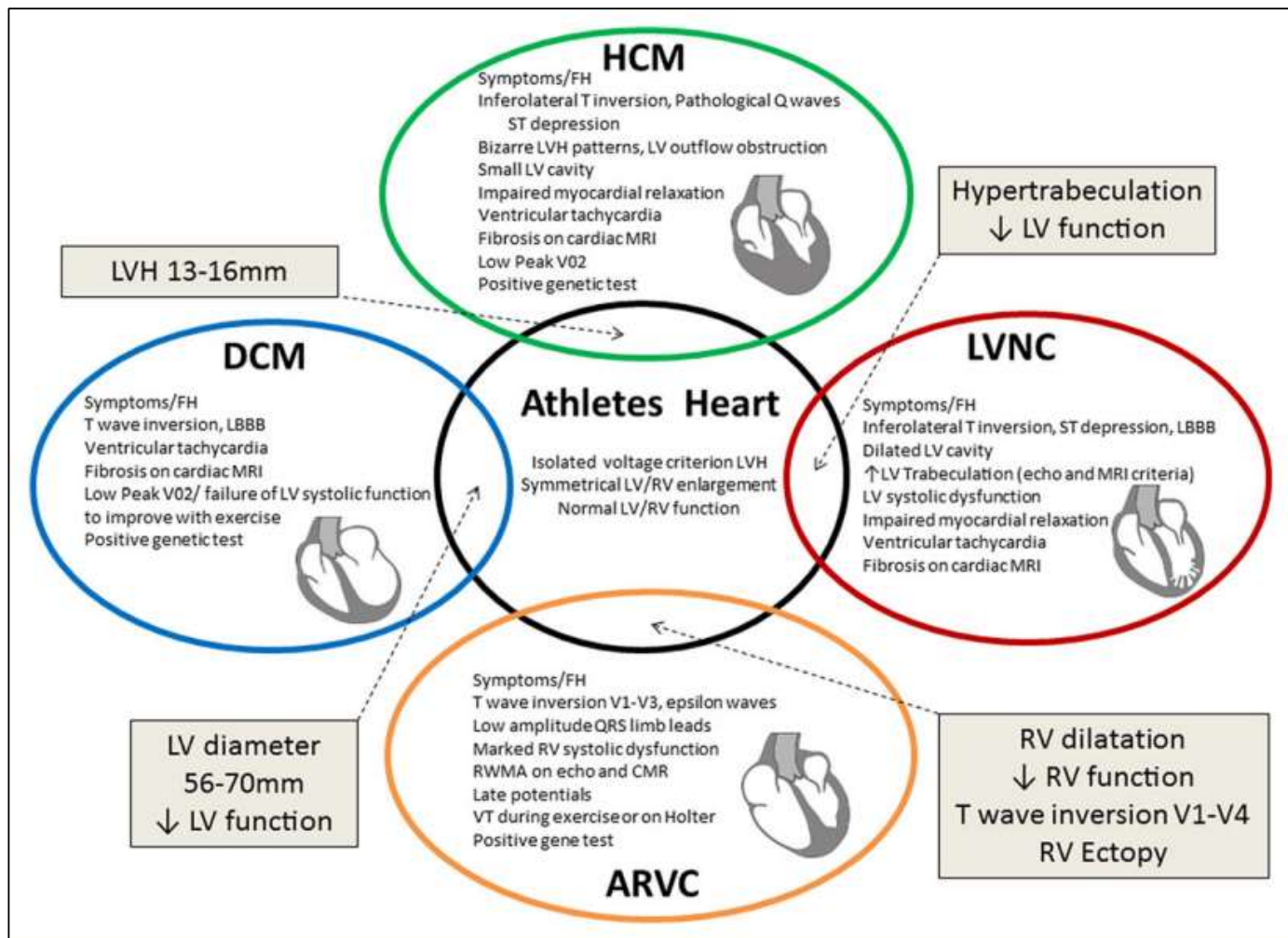


Ekg abnormality u sportovců

Normální ekg změny	Hraniční ekg změny ←1 znak // ≥2 znaky→	Abnormální ekg změny
• pouze voltážová kritéria hypertrofie levé a pravé komory • iRBBB • časná repolarizace • ST elevace s inverzí T vlny V1–4 u černochoů • inverze T vlny V1–3 u sportovců 16let • uniklý síňový nebo junkční rytmus, dobře akcelerující • AV blokáda 1. stupně • AV blokáda 2. stupně typ 1 (Wenckebach)	• sklon osy doleva • zvětšení levé síně • sklon osy doprava • zvětšení pravé síně • kompletní RBBB	• inverze T vlny • deprese ST segmentu • patologické Q kmity • kompletní LBBB • nespecifická nitrokom. převodní porucha • epsilon vlna • preexcitace (WPW) • prodloužený QT interval • obraz Brugada typ 1 • bradykardie (< 30/min nebo sin. pauzy > 3s) • AV blokáda 1. stupně (PQ ≥ 400 ms) • vyšší stupeň AV blokády (AVB 2. st. typ 2, kompl. AVB) • četné předčasné komorové extrasystoly • SVT/KT

Význam remodelace pro klinickou praxi

- Potenciální překryv atletického srdce a kardiomyopatií



Sharma S et al. *European Heart Journal*
2015.doi:10.1093/eurheartj/ehv090

Vysoce riziková povolání

Piloti (civilní sektor)

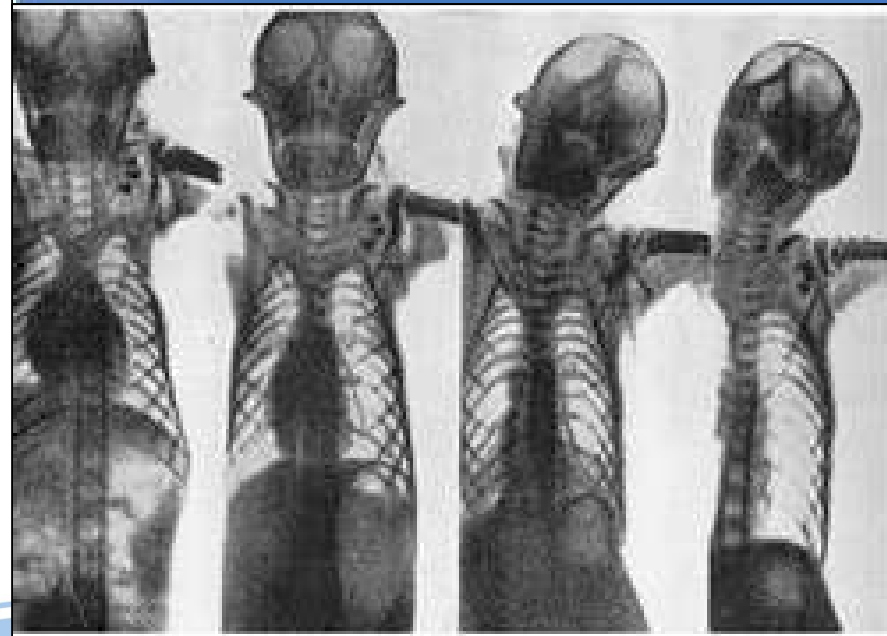
- obecně tolerované riziko incidentu omezujícího schopnost letu je $\leq 1\%$ při možnosti dublování pilota

Vliv přetížení

- **pozitivní přetížení:**
 - snižuje hydrostatický tlak – horší perfúze koron. tepen i CNS
- **negativní přetížení**
 - indukce arytmii, hypotenze

Hypoxie

- v tlakových kabinách (1800-2400m) je riziko destabilizace ICHS srovnatelné s obyčejnou populací



Vysoce riziková povolání

Piloti (civilní sektor)

Riziko akutního koronárního syndromu:

- stoupá s věkem (opačně působí zkušenosti pilota)
- riziko stresu
- rizikové faktory:
 - BMI, výskyt hypertenze se neliší od vysokopříjmové skupiny všeobecné populace
 - nižší výskyt kouření a obezity

Management:

- lékařské vyšetření před, v průběhu i při výstupu
- stanovení KV rizika, role zátěžových testů (ergometrie + zátěžová echokardiografie), zobrazení koronárních tepen (CT koronární angiografie > Ca skóre)



Vysoce riziková povolání

Potápěči

Specifika prostředí:

- vysoký tlak, chlad, psychologické aspekty (limitovaná možnost rychlého vypořádání...)
- ponor: → ↑ centr. venózního tlaku, ↑ žilnímu návratu a afterloadu, ↑ diuréze,
- chlad + ↑ pO₂: → periferní a koronární vazokonstrikce, bradykardie, pokles funkce pravé komory

Patofyziologie:

- PFO - dekompresní choroba: ↑ relativní riziko DCS 2,5-5,5
- krevní tlak – intenzita potápění:
 - potápění nad 3 dny bez pauzy zvyšuje signifikantně TK (28% vs. 18%, RR 1,47)
 - počet ponorů/rok: >150 ponorů/rok vs. <50/rok: 11% vs. 4%, RR 2,91
- výskyt IM: kumulativní množství ponorů zvyšuje riziko IM
 - >2000 ponorů vs. <2000 ponorů (16% vs. 3%, RR 5,05)

Vysoce riziková povolání

Potápěči

Management péče:

- vstupní, periodické a výstupní prohlídky
- fyzikální vyšetření, ORL, zátěžové testy, dg. arytmii (ekg holter, loop-recordery), eketrofyziologické testování
- ? skrínink PFO?



Vysoce riziková povolání

Integrovaný záchranný systém (hasiči, policie, RZP)

Hasiči:

- předpoklad – mělo by jít o zdravější a trénovanější populaci, ale:
- dle údajů z USA:
 - IM a náhlá smrt představují 45% úmrtí při aktivní službě
 - náhlá úmrtí mají mírně vyšší četnost než u atletů
 - vše závisí na rizikovosti a intenzitě zásahů:
 - výskyt SCD u hasičů v nižším riziku: 11/100 000 osoboroků (95%CI: 8.9–13.7)
 - výskyt SCD při vysokém riziku: 38,3/100 000 osoboroků (95% CI: 31.5–46.6)
 - naprostá většina KV úmrtí při zásazích: RR 12-135!!!



Vysoce riziková povolání

Vojsko (data z doby míru)

- vysoce riziková, avšak přísná selekční kritéria, mladší populace
- prevalence KV onemocnění je nižší než v běžné populaci
- méně RF, dominantním faktorem je věk
- náhlá srdeční smrt (SCD) (USA – 13/100 000 let služby):
 - do 35 let: anomálie koron. tepen (31%), arytmiická smrt bez strukturálního poškození srdce (34,9 %), myokarditida (10,3 %) a hypertrofická kardiomyopatie (6,3 %), anomálie koron. tepen (4%), AKS (0.65%)
 - nad 35 let: akutní koronární syndromy 13,6%, nad 50 let: 83,5%

Parsons IT et al. Cardiovascular risk in high-hazard occupations: the role of occupational cardiology, European Journal of Preventive Cardiology, Volume 29, Issue 4, March 2022, Pages 702–713, <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwab202>



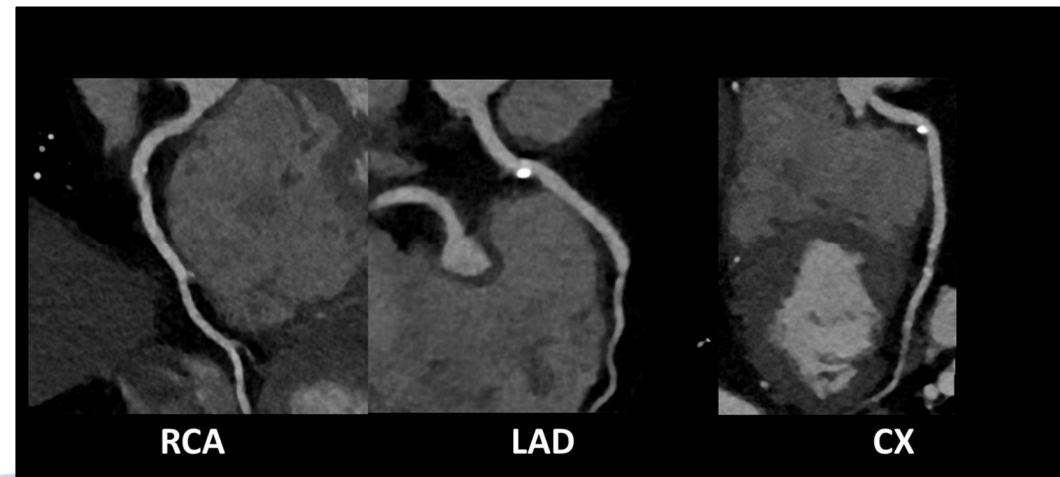
Další vysoce riziková povolání

- ostatní pracovníci IZS (záchranáři)
- profesionální řidiči
- lékařský a nelékařský perzonál
- řízení letového provozu
- ostatní pracovníci v kritické infrastruktuře státu



Management KV rizika

- vstupní vyšetření, pravidelné prohlídky, eliminace RF
- metody:
 - anamnéza, fyzikální vyšetření
 - stanovení KV rizika
 - SCORE, Framinghamské tabulky,....)
 - ekg, zátěžové testy, ekg monitorace
 - imaging:
 - echokardiografie (vč. zátěžové)
 - CT a CT koronární angiografie (ICHS, anomálie odstupu koronárních tepen)
 - MR srdce
 - ostatní
 - genetika, koronarografie, biopsie



Occupational cardiology (pracovní kardiologie) – nový obor?





...děkuji za pozornost

