

Zátěžová ergometrie

Mgr. Robert Vysoký, Ph.D.

Katedra podpory zdraví FSpS MU Brno

Ústav ochrany a podpory zdraví LF MU Brno

Rehabilitační oddělení FN Brno

Oběhová odpověď na zátěž

- dynamická zátěž – nejčastější forma zátěže, která je nejbližší fyziologii
- ke **zvýšení minutového objemu** srdečního **dochází zvýšením tepového objemu a SF**
- tepový objem se zvyšuje na základě zvýšení kontraktility srdečního svalu (na základě aktivace sympatiku)
- diastolický objem se v nemění nebo mírně narůstá
- **tepový objem se zvyšuje cca do úrovně 40-50 % VO_2 max.**, dále se již nezvyšuje a zvýšení minutového objemu je dáno zvýšenou SF (aktivace SY a útlum PASY)
- zdraví a trénování → vzestup pozvolnější, u kardiaků a netrénovaných se zvýšení tepového objemu uplatňuje méně

Oběhová odpověď na zátěž

- vzestup SF je úměrný vzestupu spotřeby kyslíku
- VO_2 max. při maximálním výkonu odpovídá SF_{max} . (orientačně 220-věk)
- zvýšený minutový objem je závislý na zvýšeném žilním návratu
- žilnímu návratu napomáhá vazokonstrikce kapacitních žil (podíl SY, snížené periferní cévní rezistence a periferní svalové pumpy)

Ventilační odpověď na zátěž

- plicní ventilace se zvyšuje s rostoucími požadavky tkání na dodávku kyslíku
- zpočátku lineární zvyšování, později prudký vzestup
- při menší intenzitě zátěže se zvyšuje především dechový objem
- při větší intenzitě zátěže se uplatňuje jak zvýšení dechového objemu, tak nárůst dechové frekvence

Arteriovenózní rozdíl

- extrakce kyslíku ve tkáních během zátěže odráží rozdíly mezi obsahem kyslíku v tepnách (18-20 ml O₂/100 ml v klidu) a obsahem kyslíku v žilách (13-15 ml O₂/100 ml v klidu)
- toto představuje klidový rozdíl 4-5 ml O₂/100 ml, tj. přibližně 23 % extrakce kyslíku
- během zátěže se AV rozdíl zvětšuje, protože pracující svaly extrahují větší množství kyslíku
- při velké námaze může dosáhnout až 16-18 ml (více než 85 % extrakce kyslíku při VO₂max.)

Spotřeba kyslíku během dynamické zátěže

- v klidu činí spotřeba kyslíku 3,5 ml/kg/min. = 1 MET
- VO_{2max} . (= maximální spotřeba kyslíku = maximální aerobní kapacita)
- její hodnota závisí na věku, pohlaví, fyzické kondici
- vyjadřujeme ji pomocí Fickova principu:
 $VO_2 = \text{minutový objem} \times AV \text{ kyslíkový rozdíl}$

Spotřeba kyslíku během dynamické zátěže

- minutový objem musí být v součinnosti s plicní ventilací tak, aby dodal potřebné množství kyslíku pracujícím svalům
- závisí také na maximální plicní ventilaci (VE) = výměna vzduchu mezi atmosférou a plicními sklípky a na podílu kyslíku extrahovaného tkáněmi:

$$VO_2 = VE \times (FIO_2 - FEO_2)$$

Spotřeba kyslíku během dynamické zátěže

- $VO_2\text{max.}$ je definována centrální složkou (MV) a periferní složkou (AV kyslíkový rozdíl daný kapacitou plic okysličit krev a schopností svalů extrahovat kyslík z krve)
- zátěž do 25 % $VO_2\text{max.}$ = lehká
- 25-60 % $VO_2\text{max.}$ = střední
- 60-100 % $VO_2\text{max.}$ = těžká

Typy spotřeby kyslíku

- celková spotřeba kyslíku organismem vs. myokardiální spotřeba
- přesné měření vyžaduje určení obsahu kyslíku v koronární arterii a ve venózním sinu
- určujícími faktory jsou intramyokardová tenze stěny LKS, kontraktilita a SF
- myokardová spotřeba kyslíku je dobře odhadnutelná součinem SF a TKs (dvojprodukt)

Kvantifikace dynamické zátěže

- pomocí měření spotřeby kyslíku nebo podle množství vykonané práce
- každá zátěž vyžaduje určité množství energie, za podmínek aerobního metabolismu můžeme spotřebu kyslíku určit:



- energie uvolněná touto reakcí je 686 kcal
- v klidu se základní funkce osoby o hmotnosti 70 kg udržují přibližně energetickou potřebou odpovídající 1,3 kcal/min.
- hodnoty kolem 4 kcal/min. odpovídají lehčí námaze, 4-8 těžší, 10-25 maximální zátěž

Příprava nemocného před ZT

- 3 hodiny před testem nejíst a nekouřit, 12 h bez obvyklé fyzické námaha (bez sportovních aktivit)
- jídlo může způsobit změny ST úseku i změny T vlny (teoreticky příčina falešného nálezu)
- po jídle je rovněž snižená zátěžová kapacita (prokrvení GIT)
- sportovní oblečení
- poučení pacienta vyšetřujícím o metodice vyšetření (? zvládne fyzickou činnost na ergometru biomechanicky?)
- anamnéza a fyzikální vyšetření (klidové EKG, poslech srdce/plíce...)

Technické a medikamentózní zajištění bezpečného vyšetření

- defibrilátor
- léky pro urgentní medicínu (nitráty, kardiotonika, diuretika, betablokátory, analgetika, katecholaminy, kortikoidy, sedativa)
- injekční jehly, stříkačky, infuzní sety, kanyly
- pevné lůžko pro případ KPR
- kyslíkový přístroj s maskou a vakem
- základní pomůcky pro endotracheální kanylaci
- zajištění spojení na klinické oddělení (ARO, JIP, KJ)

Způsoby zátěže

Běhátko

- v ČR minoritní využití
- výhodou přirozenost TZ (chůze jako základní způsob PA člověka...)
- zatížení se stupňuje změnou úhlu sklonu a rychlostí běžícího pásu
- pozor na jedince s balančními problémy a poruchou bipedální lokomoce
- nevýhody – hlučnost, prostor, cena

Způsoby zátěže

Bicyklový ergometr

- standardní vybavení pracovišť v ČR
- zátěž se zvyšuje mechanickou a elektromagnetickou brzdou
- intenzita zátěže se udává ve wattech (1 W = je výkon, při kterém vykonáváme práci jednoho joulu za sekundu)
- otáčky nad 60/min., výška sedadla
- fixovaná poloha nemocného výhodná pro kvalitnější záznam EKG a snadnější měření TK
- jízda na ergometru není srovnatelná s chůzí, která je bližší fyziologii, výsledek ovlivněn trénovaností DKK

Způsoby zátěže

Rumpál

- používá se ojedinele
- u nemocných s postižením DKK
- odpovídající úroveň zátěže HKK je zhruba 3x menší než při zátěži DKK (zátěž 50W odpovídá 150 W na ergometru)

Typy protokolů

- mnoho protokolů, odlišnost, nejednotnost
- pVO_2 je do určité míry závislá na použitém protokolu
- rychlé zvyšování zátěže vede dříve k dušnosti, zatímco pomalé vede k únavě dříve, než se objeví EKG abnormality
- obecně preferujeme kontinuální testy s krátkými stupni a malými přírůstky zátěže tak, aby celková doba zátěže nepřesahovala 12 minut (rampový test)
- doporučujeme zahajovat zátěž na hodnotě 25 W (u fyzicky zdatných 50 W)
- 4 W po 20 s (na našem pracovišti)

Maximální, submaximální a symptomy limitované testy

Maximální zátěžový test

- intenzita zátěže se zvyšuje až do dosažení maximální srdeční frekvence pro daný věk či dosažení plató spotřeby kyslíku (SE)
- 220-věk, u strašících nemocných je tento vzorec podhodnocován, lépe $208 - 0,7 \times \text{věk}$

Symptomy limitovaný zátěžový test

- u kardiorespiračních a interních onemocnění

Submaximální zátěžový test

- s dosažením 75 % maximální SF, určitá předpovědní hodnota u nemocných do 1 měsíce od IM

Borgova škála = RPE

- „rate of perceived exertion“
- subjektivní hodnocení nemocného od námahy velmi lehké až po extrémně těžkou
- lineární stupnice od 6-19 představuje SF, která odpovídá dosažené námaze
- stupnice se používá pro všechny věkové kategorie
- vhodné při srovnávacích studiích

Důvody k přerušení ZT

- dosažení maximální SF pro daný věk
- stenokardie, únava
- bolest, únava, dušnost, klaudikace
- pokles TKs o více než 10 mm Hg ve srovnání s klidovou hodnotou
- hypertenzní reakce 250/115
- klinické známky snížené perfuze (cyanóza, bledost), neurologické příznaky (ataxie, závratě, zmatenost, poruchy zraku)

Hodnocení zátěžového testu

- hodnotíme klinickou odpověď na zátěž, hemodynamické změny, změny EKG a tělesnou výkonnost
- hodnocení dvojproduktu (součin ST a TKs = Robinsonův index) je dobrým ukazatelem spotřeby myokardu, můžeme použít i pro hodnocení maximální zátěže (hodnoty větší než 25 000)
- fyziologické zvýšení TKs zhruba o 10 mm Hg na každý stupeň zátěže
- tlaková hyperrrce (více než 200/100, přerušení 250/115)
- nedostatečný vzestup TKs během zátěže (20 mm Hg nebo nižší)
- pokles TKs během zátěže → známka těžšího kardiálního postižení
- hypotenze při zátěži znamená vyšší riziko FIKO a u nemocných s ICHS zvyšuje riziko náhlé srdeční smrti

Hodnocení zátěžového testu

- fyziologicky vzestup SF přímo úměrný vzestupu spotřeby kyslíku
- věk je nejdůležitější faktor ovlivnění SF (pokles $SF_{max.}$)
- **relativně vyšší SF při nižší zátěži** a/nebo **v restituci** může souviset s nízkou kondicí vyšetřovaného/pokles periferní cévní rezistence, krevní objem, anémie, delší imobilita/nemocní s FISI
- nižší SF u trénovaných, při zvýšeném tepovém objemu a vlivem léků (BB)
- **chronotropní inkompetence** = neschopnost dosáhnout cílové SF je předpovědní ukazatel zvýšené mortality a výskytu ICHS (Fletcher et al., 1998 aj.)
- **hodnocení tělesné výkonnosti**: PT/PK, W, W/kg, MET, W x 13/ hmotnost
- **kategorie hodnocení ZT** (**pozitivní** = AP/typické změny na EKG; **negativní** = dosažení max. zátěže bez klin. příznaků, EKG a hemodynamiky; **abnormální** = arytmie, tlaková hyperrece, chybění vzestupu TK a SF, neurologie; **nediagnostický**)