

Zátěžové vyšetření a jeho interpretace v preventivních intervenčních tréninkových programech

Mgr. Robert Vysoký, Ph.D.

Katedra podpory zdraví FSpS MU Brno

Ústav ochrany a podpory zdraví LF MU Brno

Rehabilitační oddělení FN Brno

Obecné principy zátěžových testů

Před přijetím do intervenčního pohybového programu (IPP) či odbornou preskripcí pohybové aktivity musí být každý pacient podroben klinickému vyšetření, které zahrnuje:

- lékařské vyšetření
- vyhodnocení funkce LKs echokardiografií
- zátěžový test (ZT) do symptomu limitovaného maxima
- krevní testy pro vyhodnocení profilu rizikových faktorů ICHS

Ve speciálních případech je doporučeno provést dodatečné testy, jako 24 hodinové Holterovo monitorování či zátěžovou echokardiografii.

Obecné principy zátěžových testů

- zátěžový test je velmi důležitou součástí klinického hodnocení realizovaného před začátkem a na konci IPP
- přináší nepostradatelná data o funkční kapacitě, hemodynamické adaptaci na maximální a submaximální úrovně srdeční frekvence (SF) při tréninku, o krevním tlaku (TK), reziduální myokardiální ischemii, srdečních arytmiích vyvolaných při zátěži
- umožňuje stanovení tréninkové srdeční frekvence (TSF) pro aerobní trénink.

Obecné principy zátěžových testů

- Pro řadu pacientů velmi důležitý z psychologického hlediska, protože jim umožňuje lépe akceptovat skutečnost, že i ve vyšším věku a s častou koexistencí kardiovaskulárního onemocnění (KVO) má nemocný lepší funkční kapacitu, než se domnívá.
- Velmi užitečným nástrojem v diagnostice případných změn klinického stavu, k nimž dochází během programu v rámci řízené tréninkové aktivity či rekonvalescence organismu.

Další využití:

- k úpravě předepsané intenzity tréninku,
- evaluaci efektu IPP,
- k celkovému prognostickému posouzení.

Jaký druh zátěžového testu je pro IPP a Kardiovaskulární rehabilitaci optimální?

- **Spiroergometrické vyšetření (SE) je ideálním zátěžovým testem pro všechny typy pacientů před zahájením IPP a KR.**
- Povinností indikovat je u pacientů s chronickým srdečním selháním.
- Vzhledem k vyšším nákladům, komplikovanějšímu provedení a interpretaci, je většinou v mnoha centrech pro Kardiovaskulární rehabilitaci nahrazováno klasickým zátěžovým vyšetřením (**ergometrický zátěžový test, 6minutový test chůzí (6MWT)**).
- Zejména u pacientů s ICHS (nekomplikovaný průběh) s dobrou funkcí LKs.

- Během SE se měří **vrcholová spotřeba kyslíku** (pVO_2), **hodnota anaerobního prahu (ANP)**, **VE/VCO_2 slope**, a to navíc ke všem parametrům zaznamenávaným u standardního ZT.

K základním parametrům ZT patří:

- maximální dosažený výkon,
- změny SF a TK z klidových do maximálních hodnot při zátěži a v zotavení,
- eventuální symptomy jako angina pectoris nebo abnormality v EKG (ischemické změny nebo arytmie).

Parametry získané ze SE

- Nejdůležitější je hodnota pVO_2 , která představuje „zlatý standard“ v hodnocení aerobní kapacity a je nejsilnějším prognostickým ukazatelem u ICHS.
- Hodnota vrcholové spotřeby kyslíku je také velmi důležitá pro stanovení optimální intenzity tréninku v KR.
- **Aerobní trénink by měl být realizován na procentech pVO_2 v rozsahu od 50 % do 80 %.**
- Anaerobní práh je dobrým ukazatelem tréninkového efektu a během KR je u něj očekáván nárůst.

Metodika provádění ZT před zahájením KR

- Plně vybavená přístrojová sestava pro ZT zahrnující nejméně **bicyklový ergometr** nebo běhátko, **EKG systém** s vícero volbami zátěžových protokolů, **nouzové lehátko** či vozík, **erudovaný a zkušený personál** (kardiolog, zátěžový fyziolog a zdravotní sestra).
- Bezprostředně **před ZT je nutné dotázat se pacienta na jeho zátěžovou toleranci**, abychom mohli stanovit maximální funkční kapacitu a umožnit výběr vhodného testovacího protokolu.
- Koncipován, aby se pacientova **fyzického vyčerpání nebo vysokého stupně únavy dosáhlo při cca 10 minutách** zátěže.
- V případě přerušení testu dříve než po 8 minutách - použít protokol s nižší intenzitou zátěže, aby bylo možné správně vyhodnotit funkční kapacitu.

Metodika provádění ZT před zahájením KR

- Pacienta se ptáme na symptomy související s nedávným zhoršením klinického stavu, které by mohlo způsobit odložení testu.
- Užívá pacient pravidelné medikace před vyšetřením?
- ZT před zahájením KR musí být prováděn při pacientově obvyklé medikaci.
- Je také doporučováno uskutečnit ZT do časového schématu, které bude odpovídat tréninkovým jednotkám v KR.

Metodika provádění ZT před zahájením KR

- **Rozdílná časová realizace ZT** a tréninkových jednotek může znamenat dezinterpretaci ve stanovení TTF.

U pacientů léčených betablokátry (obvykle se užívají ráno a mají během ranních a dopoledních hodin nejsilnější efekt), by mohlo dojít k následujícím situacím:

- pokud by byla **TTF kalkulována po testu vykonaném v odpoledních hodinách**, je mnohem těžší této hodnoty dosáhnout a bude-li lekce **KR realizována ráno**, kdy je efekt betablokátorů intenzivnější a bude tím pádem překračována její hodnota,
- stejná situace nastane, pokud se lekce **KR uskuteční v odpoledních hodinách a ZT se konal ráno**.

Metodika provádění ZT před zahájením KR

- Rozhodnutí o ukončení ZT je zásadní pro kvantifikaci přesné zátěžové tolerance.
- Pokud se nevyskytují žádné kontraindikace, jako např. změny ST, maligní arytmie, pokles TK nebo tlaková hyperrakce a pokud pacient zátěž toleruje, je **ZT přerušen pouze při subjektivních potížích znemožňujících pacientovi pokračovat ve vyšetření:**

Mezi tyto potíže patří **pocit vyčerpání, výrazného dechového dyskomfortu, klaudikace dolních končetin (DKK)** související s periferním cévním onemocněním nebo **bolesti kloubů DKK** související s muskuloskeletní patologií.

Kdy je vhodné provést ZT?

- Ve většině případů je ZT prováděn **před zahájením celého cyklu Kardiovaskulární rehabilitace.**
- V případě **zhoršení klinického stavu** provádíme ZT i **v průběhu cyklu KR.**
- Pro finální zhodnocení efektu KR provádíme ZT také **po jejím ukončení.**
- Pacienti, kteří podstoupili **kardiochirurgickou intervenci, mohou začít s KR bez ZT,** protože mají fyzická omezení vyplývající z charakteru operace, která vyžadují posunutí testu po dobu hojení sternu a po dobu celkové pooperační rekonvalescence, a to o cca 4–8 týdnů.
- Dp.: **RFT a trénink v TTF 100-120 tepů/min.**

Interpretace výsledků ZT pro KR

Standardní ZT není zaměřen pouze na přítomnost nebo nepřítomnost ischemie myokardu, zahrnuje:

- celkové zhodnocení prognózy nemocného,
- funkční kapacity,
- chronotropický index,
- restituci hemodynamických pozátěžových hodnot TF a TK,
- výskyt ventrikulárních nebo supraventrikulárních arytmií.

Interpretace výsledků ZT pro KR

- před zahájením zátěžového testu je pacient požádán, aby vyšetřujícího informoval o výskytu jakýchkoli neočekávaných symptomů, především anginózních potíží, abnormálního stupně dušnosti nebo únavy,
- je nutné se pacienta dotazovat periodicky (např. na konci každého stupně) a v okamžiku výskytu depresí ST úseku,
- během zátěžového testu je také doporučeno zaznamenávat kontinuálně EKG pro přesné definování poklesu ST úseku o 1 mm, 60 nebo 80 ms po bodu J (tzv. ischemický práh).
- ischemie je diagnostikována výskytem anginy a/nebo definitivními změnami ST při zátěži nebo v pozátěžové restituční fázi.

Interpretace výsledků ZT pro KR

- Funkční kapacita je pro účely KR nejdůležitějším nálezem při ZT, protože je nejlepším prediktorem celkové mortality.
- Pokud není hodnocena pVO_2 , může být určena poměrem mezi dosaženými MET vypočítanými z posledního stupně protokolované metabolické spotřeby při ZT a z predikované hodnoty dané následujícím vzorcem:
predikované MET = $14,7 - 0,11 \times \text{věk}$ (muži)
 $14,7 - 0,13 \times \text{věk}$ (ženy).

Praktické výstupy ze zátěžových testů pro Kardiovaskulární rehabilitaci

- Na konci celého cyklu KR fáze je vhodné provedení zátěžové ergometrie či spiroergometrie k porovnání hodnoty ZT realizovaného před zahájením cyklu KR!
- Toto výstupní vyšetření je také důležité pro **vyhodnocení případných zlepšení**, kterých bylo tímto programem dosaženo.
- Tato zlepšení sledujeme z hlediska **maximální a submaximální funkční kapacity, nástupu ischemického prahu, arytmií vyvolaných během zátěže, vývoje hemodynamických ukazatelů během zátěže a ve fázi pozátěžové restituce.**

Praktické výstupy ze zátěžových testů pro Kardiovaskulární rehabilitaci

- Aby bylo možné oba zátěžové testy relevantně a objektivně vyhodnotit, provádíme je **při stejných medikacích, ve stejnou denní dobu, při použití stejného ergometru a protokolu.**
- Pokud je **během KR u nemocného indikována jakákoli koronární revaskularizace (např. PCI), či je změněna medikace, ergometr nebo zátěžový protokol,** pak je přímé srovnání obou testů nemožné.

Standardní ZT – zátěžová ergometrie

Pokud je KR úspěšně dokončena, druhý ZT obvykle prokáže:

- dosažení delšího trvání zátěže a vyššího výkonu,
- nižší úrovně TF a TK na každém stupni zátěže a rychlejší návrat TF ke klidovým hodnotám během fáze zotavování,
- pozdější nástup ischemie během zátěžového testu,
- nižší frekvence a výskyt ventrikulárních arytmií.

Standardní ZT – zátěžová ergometrie

- Funkční kapacita může je určena pro každého pacienta na základě stanovení MET a odpovídá nejvyššímu stupni dosaženému na vrcholu zátěžového testu, pokud byl pacient schopen zátěž absolvovat na tomto stupni déle než 1 minutu.
- Maximální výkon dosažený pacientem může být také akceptován jako měřítko funkční kapacity, zejména pokud je použit bicyklový ergometr.
- Určení aerobní kapacity standardním ZT není příliš přesné a je vhodné zvolit SE vyšetření.

Spiroergometrický zátěžový test - úvod

- Umožňuje optimální stanovení maximální aerobní kapacity, protože $pV\dot{O}_2$ je považován za „zlatý standard“ stanovení kardiorepirační kapacity, zejména u nemocných s KVO.
- Vzhledem k variabilitě tohoto ukazatele by její hodnoty měly být určeny výpočtem každých 30 s v průběhu SE.

Spiroergometrický zátěžový test - úvod

- Vrcholová spotřeba kyslíku je nejvíce používaný parametr pro vyhodnocení prospěšnosti KR.
- Při tomto zátěžovém vyšetření je nutno specificky hodnotit VO_2 , TF, poměr respirační výměny (RER), a míru vnímané námahy (RPE) na vrcholu zátěže.
- Zatímco VO_2 a TF by během zátěže neměly výrazně poklesnout i přes dále rostoucí zátěž, RER a RPE by měly dosáhnout nejméně 1,10 a 8/10 na vrcholu zátěžového testu.

Spiroergometrický zátěžový test - úvod

Pro vyhodnocení tréninkového efektu lze použít hodnoty pVO_2 určené **na úrovni anaerobního prahu.**

- Tato hodnota je nezávislá na motivaci pacienta a lépe vyjadřuje jeho aerobní kapacitu při výkonu aktivit každodenního života.
- U kardiaků narůstají hodnoty pVO_2 a VO_2 na úrovni anaerobního prahu v rozmezí mezi 7 % a 54 % po absolvování několika týdnů KR
- **Průměrný nárůst se pohybuje zhruba mezi 20 % až 30 %.**

Parametr VE/VCO_2 slope je jedním z nejdůležitějších parametrů pro prognostické posouzení a pro posouzení efektu KR **u nemocných s chronickým srdečním selháním.**

Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže

Transportní systém pro kyslík a jeho reakce na zátěž

- většina fyzických aktivit je závislá na aerobní hrazení energie
- limitace při těchto aktivitách schopností dodat pracujícím svalům potřebné množství kyslíku a také schopností těchto svalů využít tento kyslík k aerobní fosforylaci ADP na ATP
- VO_{2max} . Je globálním ukazatelem tělesné výkonnosti
- v medicíně používáme pVO_2
- Spotřeba kyslíku je součinem srdečního výdeje a arteriovenózní difference O_2 a závisí na součinnosti systémů, které tvoří transportní systém pro kyslík:
 - plíce (adekvátní ventilace, perfúze, difúzní kapacita)
 - krevní oběh (zvýšení srdečního výdeje zvýšením tepového objemu a SF, distribuce srdečního výdeje; vazodilatace ve svalech, vazokonstrikce v ostatních řečištích kromě mozkového a koronárního)
 - krev (koncentrace Hb a jeho afinita k O_2)
 - svaly (hustota kapilární sítě, vazodilatační kapacita, obsah myoglobinu, počet mitochondrií, enzymatická výbava)

Transportní systém pro kyslík a jeho reakce na zátěž

- u zdravých osob není VO_{2max} limitována funkcí plic
- u práce konané menšími svalovými skupinami (HKK) je VO_{2max} úměrná množství zapojené svalové hmoty, limitujícím faktorem je kapacita pracujících svalů pro krevní průtok a pro odběr O_2
- při zapojení více než 50 % celkové svalové hmoty → zvýšená vazodilatační kapacita svalů pojme větší průtok → limitujícím faktorem schopnost zvýšit srdeční výdej

RES: u zdravých osob při zapojení velkých svalových skupin DKK je aerobní kapacita limitována schopností zvýšit srdeční výdej

Transportní systém pro kyslík a jeho reakce na zátěž

- u kardiaků (zvláště nemocní s nízkou EF LK) bývá omezena schopnost zvýšit tepový objem, častá je chronotropní inkompetence při sníženém počtu aktivních β -receptorů v důsledku chronické aktivace SY
- u nemocných s těžší formou ICHS je největší limitací aerobní kapacita svalů (atrofie, úbytek mitochondrií, snížení aktivity enzymů katalyzujících aerobní glykolýzu, převaha „anaerobních“ vláken, snížení kapilární denzity a vazodilatační kapacity)
- dalším faktorem snížené aerobní kapacity je únava dechových svalů při strukturálních změnách a neúměrně zvýšené dechové práci při zátěži

Ventilace, respirace a metabolismus při zátěži

Respirační kvocient (RQ) = poměr CO_2 / O_2

- při buněčném dýchání je spotřeba O_2 provázena produkcí CO_2 v poměru, který je dán zastoupením energetických substrátů
- při zátěži se globální RQ z klidových hodnot 0,8 zvyšuje na 0,95

Poměr výměny plynů (RER-“respiratory exchange ratio“) = měření výdeje CO_2 a příjmu O_2 při SE.

- v rovnovážném stavu při aerobním krytí energie odráží poměry v buněčné respiraci (=shoduje se s RQ)
- na počátku zátěže se přechodně snižuje (štěpení kreatinfosfátu ve svalu=alkalizace a retence části CO_2), poté se zvyšuje a při aerobním krytí energie v rovnovážném stavu se vyrovnává s RQ (0,95)
- při zvýšení zátěže nad anaerobní práh (AT) se začne část energetické spotřeby svalů hradit anaerobně a vzniklá kyselina mléčná je neutralizována NaHCO_3 za vzniku dalšího CO_2 (díky tomu další vzrůst RER nad hodnotu RQ a při zátěži blízké individuálnímu maximu dosahuje hodnoty 1 a vyšší)

Ventilace, respirace a metabolismus při zátěži

Minutová plicní ventilace (VE – „expiratory minute ventilation“)

- je při zátěži citlivě regulována s ohledem na udržení acidobazické rovnováhy
- roste přímo úměrně s produkcí CO_2 k udržení normokapnie
- do dosažení AT stoupá VE úměrně k intenzitě zátěže a k VO_2
- po překročení AT dochází k rychlejšímu nárůstu VE při nutnosti vydýchat i CO_2 (uvolněný při neutralizaci laktátu)
- při vyšší intenzitě zátěže rostoucí tvorba laktátu vede k poklesu koncentrace $\text{NaHCO}_3 \rightarrow$ rozvoj metabolické acidózy \rightarrow v tomto okamžiku je nutná hypokapnie k udržení pH a tím dochází k dalšímu vzestupu VE (bod respirační kompenzace)

Ventilace, respirace a metabolismus při zátěži

Ventilační ekvivalent pro CO₂ (VE/VCO₂)

- podíl ventilace k výdeji CO₂ v daném čase, vyjadřuje, kolik litrů vzduchu trénující proventiluje, aby vydýchal 1 litr CO₂
- VE/VCO_{2slope} udává, jak rychle narůstá ventilace s nárůstem výdeje CO₂

Ventilační ekvivalent pro O₂ (VE/VO₂)

- na začátku stupňované zátěže roste VO₂ rychleji než VE zvýšením procentuálního využití O₂ z alveolárního vzduchu a VE/VO₂ klesá až do bodu AT, kdy VE začne růst rychleji, než VO₂ vlivem narůstajícího VCO₂
- v bodě AT dosahuje svého minima a při dalším zvyšování zátěže roste

Ventilace, respirace a metabolismus při zátěži

Endexpirační parciální tlak O_2 ve vydechovaném vzduchu ($p_{ET}O_2$)

- má během stupňované zátěže analogický průběh jako VE/VO_2

Endexpirační parciální tlak CO_2 ve vydechovaném vzduchu ($p_{ET}CO_2$)

- má inverzní průběh vůči VE/VCO_2
- všechny tyto veličiny se používají při detekci AT