proLékaře.cz | 15.8.2025

Přímé versus nepřímé metody stanovení intenzity zatížení v kardiovaskulární rehabilitaci

L. Mífková[1,2], F. Várnay[1], P. Homolka[1,3], J. Jančík[1], R. Panovský[3,4], P. Dobšák[1,2,3], J. Siegelová[1,2], L. Špinarová[3,4]

[1] *Klinika tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně*
[2] *Katedra fyzioterapie a rehabilitace, LF MU, Brno*
[3] *Mezinárodní centrum klinického výzkumu, FN u sv. Anny v Brně*
[4] *I. interní kardioangiologická klinika LF MU a FN u sv. Anny v Brně*

Souhrn

Cíl: Na základě spiroergometrického vyšetření stanovit oba ventilační anaerobní prahy (VT1 a VT2) u kardiologicky nemocných před zahájením kardiovaskulární rehabilitace a posoudit použitelnost nepřímých metod stanovení tréninkových parametrů u těchto pacientů. *Metody:* Ze 107 rampových spiroergometrických testů provedených u kardiologicky nemocných pacientů před zahájením ambulantní kardiovaskulární rehabilitace bylo vybráno 57 testů (43 mužů – věk 61,3 ± 10,3 let a 14 žen – věk 63,4 ± 10,9 let) se spolehlivě detekovatelným VT1 i VT2 a ukončených při dostatečném metabolickém vytížení (RER_{peak} ≥ 1,10). Pro posouzení použitelnosti nepřímých metod byla z výsledků spiroergometrického testu též vypočtena rezerva příjmu kyslíku (VO_2R) a rezerva srdeční frekvence (HRR – heart rate reserve). *Výsledky:* Absolutní hodnoty VO_{2VT1} byly u žen nižší ve srovnání s muži, ale vzhledem k VO_{2peak} je VT1 u žen lokalizovaný výše (59 % VO_{2peak}) než u mužů (53 % VO_{2peak}). VT1 vyjádřený jako % z VO_2R a % z HRR byl u mužů na úrovni 43 % VO_2R a 44 % HRR – rozdíl mezi těmito hodnotami není statisticky významný. U žen byl VT1 na úrovni 45 % VO_2R a 47 % HRR – rozdíl také není statisticky významný. Korelace mezi % VO_2R a % HRR byla statisticky významná u mužů ($p < 0,001$) i u žen ($p < 0,01$), ale nízký koeficient determinace (u mužů $R^2 = 0,32$; u žen $R^2 = 0,44$) svědčí pro nízkou sílu lineární závislosti. Při zřetelném rozptylu hodnot mohou stejné hodnotě % HRR odpovídat významně odlišné hodnoty % VO_2R. U 39 % pacientů se vyskytovala chronotropní inkompetence (CTI) a maximální dosažená srdeční frekvence (SF_{peak}) byla nižší než 80 % SF_{max} odpovídající věku. Z toho vyplývá, že nepřímými metodami vypočtená tréninková SF se velmi často značně liší od správných hodnot stanovených spiroergometrickým vyšetřením. *Závěr:* Za jedině správnou a přesnou metodu ke stanovení tréninkové intenzity zatížení je třeba považovat spiroergometrické vyšetření. Nepřímé metody mají jistě svůj význam pro zdravou populaci, ale z pohledu kardiovaskulární rehabilitace jsou nespolehlivé, a proto nelze jejich použití doporučit.

Klíčová slova

trénink – spiroergometrie – ventilační prahy – kardiovaskulární rehabilitace – příjem kyslíku – srdeční frekvence

Direct versus indirect methods of determining the exercise intensity in cardiovascular rehabilitation

Abstract

Objective: Determination of both ventilatory anaerobic thresholds (VT1 and VT2) using spiroergometry testing and the assessment of the applicability of indirect methods of determining the training parameters in cardiac patients before the initiation of a cardiovascular rehabilitation programme. *Methods:* Of 107 ramp spiroergometric tests carried out in cardiac patients before cardiac rehabilitation programme initiation, 57 tests were selected (43 men – mean age 61.3 ± 10.3 years, and 14 women – mean age 63.4 ± 10.9 years), where VT1 and VT2 were detectable and the test completed with adequate metabolic load (RER_{peak} ≥ 1.10). To assess the applicability of indirect methods the oxygen uptake reserve (VO_2R) and heart rate reserve (heart rate reserve – HRR) were also calculated from results of the spiroergometric testing. *Results:* Absolute values of VO_{2VT1} were lower in women compared to men. However, VT1 was higher in women (59% VO_{2peak}) than in men (53% VO_{2peak}). VT1 (expressed as % of VO_2R and % of HRR) in men was at 43% of VO_2R and at 44% of HRR – the difference between these values was not statistically significant. In women, the VT1 was at 45% of VO_2R and at 47% of HRR (also in this case the difference was not statistically significant). The correlation between %HRR and %VO_2R was statistically significant both in men ($p<0.001$) and women ($p<0.01$), but with low coefficient of determination (R^2 in men = 0.32; R^2 in women = 0.44) suggesting a low power of linear dependence. In case of noticeable variance of values, the equal values of %HRR may correspond significantly to different values of %VO_2R. In 39% of patients, chronotropic incompetence (CTI) was present and the achieved maximum heart rate (HR_{peak}) was lower than the 80% HR_{max} value corresponding to age. It should be pointed out that the training HR calculated by indirect methods very often differs substantially from the correct values set by spiroergometry. *Conclusion:* The only correct and accurate method to determine the training intensity is the spiroergometric testing. Indirect methods have their importance for a healthy population, but from the point of view of cardiovascular rehabilitation they are unreliable and thus their use cannot be recommended.

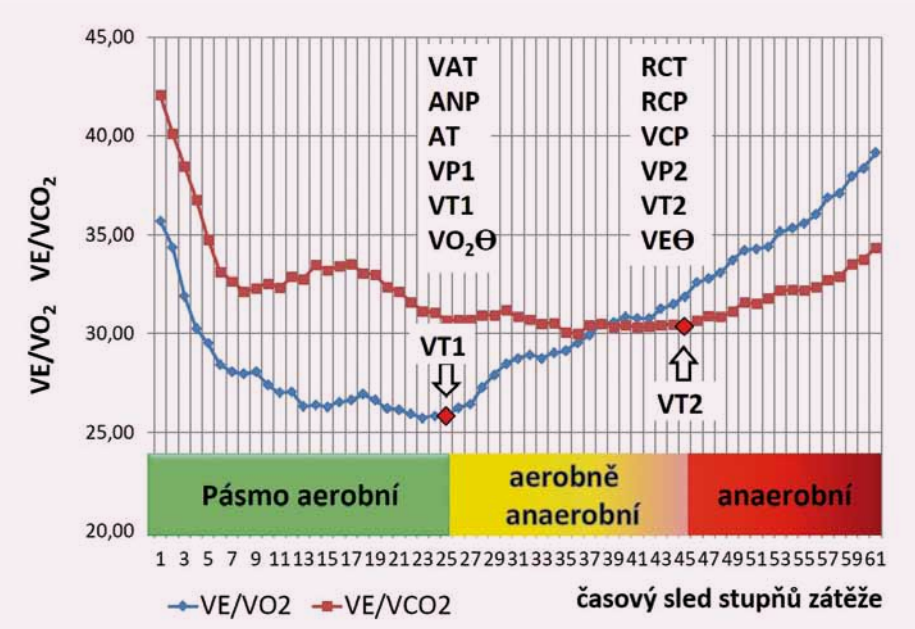
Keywords

excercise training – spiroergometry – ventilatory thresholds – cardiovascular rehabilitation – oxygen uptake – heart rate

proLékaře.cz | 15.8.2025

Pro komplexní posouzení funkčního stavu kardiopulmonálního systému a pro správné stanovení intenzity tréninkového zatížení pro kardiologicky nemocné pacienty je nezbytné spiroergometrické vyšetření [1–7]. Na Klinice tělovýchovného lékařství a rehabilitace FN u sv. Anny v Brně používáme při spiroergometrii rampový protokol charakterizovaný plynulým zvyšováním zátěže. Při kontinuálně narůstající zátěži během rampového testu je po překročení prvního ventilačního anaerobního prahu aerobní získávání energie doplňováno anaerobním (anaerobní glykolýzou) se zvyšující se tvorbou laktátu. Narůstající laktátová acidóza je korigována nárazníkovou reakcí s uvolněním CO_2, který se přidává k metabolicky vytvořenému CO_2. Zvýšené množství CO_2 je odstraňováno hyperventilací. Křivka ventilačního ekvivalentu pro kyslík (VE/VO_2) se po překročení prvního ventilačního anaerobního prahu zvyšuje, protože ventilace (VE) je vyšší než odpovídá příjmu kyslíku (VO_2). Ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý (VE/VCO_2) se však v tomto okamžiku zatím nezvyšuje, jelikož ventilace je proporcionální výdeji oxidu uhličitého (VCO_2) vznikajícímu jako produkt metabolizmu a nárazníkovou reakcí. Pokračující zvyšování zátěže vede k narůstajícímu podílu anaerobního metabolizmu v pracujících svalech se stupňující se tvorbou laktátu a zvýrazňující se laktátovou acidózou. Po vyčerpání kapacity nárazníkového systému se zhoršující metabolická acidóza musí kompenzovat respirační alkalózou docílenou dalším stupňováním hyperventilace. Okamžik dosažení druhého ventilačního prahu (označovaného také jako bod nebo práh respirační kompenzace) se projeví dalším vzestupem křivky VE/VCO_2. Od tohoto okamžiku je hrazení energie pro svalovou práci již dominantně anaerobní a signalizuje blížící se konec zátěžového testu.

Podmínkou správné interpretace vrcholových hodnot dosažených při spiroergometrii – příjem kyslíku (VO_{2peak}), srdeční frekvence (SF_{peak}), výkon (W_{peak}) apod. – je znalost maximální dosažené hodnoty poměru respirační výměny (RER_{peak} – respiratory exchange ratio). Hodnota RER_{peak} je mírou metabolického vytížení. Při $RER_{peak} \geq 1{,}10$ jsou maximální dosažené hodnoty validní a jedině tehdy mají plnou výpovědní hodnotu pro posouzení maximální aerobní kapacity [1,2,4,8–11]. Při hodnotě $RER_{peak} \geq 1{,}15$ lze maximální dosaženou hodnotu příjmu kyslíku použít k odhadu prognózy pacientů s chronickým srdečním selháním [8]. Zátěžový test ukončený předčasně (zejména při $RER_{peak} < 1{,}05$) se považuje za submaximální; dosažené hodnoty VO_{2peak} nebo W_{peak} neodpovídají skutečné maximální aerobní kapacitě a výkonnosti pacienta [12]. Platí to hlavně v případech, kdy zátěžový test není ukončen pro dušnost, vyčerpání pacienta nebo projevy ischemie myokardu či závažné arytmie, ale z jiných důvodů (např. pro hypertonickou reakci krevního tlaku), kdy by pacient subjektivně ještě mohl v testu pokračovat.



Obr. 1. Názvoslovné ekvivalenty ventilačních prahů stanovených při spiroergometrickém vyšetření.

Maximální dosažené hodnoty VO_{2peak} a W_{peak}, včetně hodnot vztažených na kilogram hmotnosti ($VO_2 \cdot kg^{-1}{}_{peak}$, $W \cdot kg^{-1}{}_{peak}$), se často objevují v různých klasifikacích pro posouzení funkční zdatnosti (Weber, klasifikace ACSM, ACC/AHA apod.). Nevýhodou těchto klasifikací je, že nezohledňují věk, pohlaví a konstituci. Je proto výhodnější porovnat maximální dosažené hodnoty s referenčními hodnotami podle Wassermana [2] pro zátěžový test na bicyklovém ergometru, které zohledňují věk, pohlaví a tělesnou konstituci včetně korekce u obézních osob (referenční hodnoty podle Wassermana jsou součástí programu řídícího spiroergometrické vyšetření). Tento postup poskytuje mnohem přesnější posouzení funkční zdatnosti a dokonce interindividuální porovnání pacientů odlišného věku, pohlaví a konstituce. Například hodnota VO_{2peak} 1 930 ml/min, 26,1 ml/min/kg dosažená při spiroergometrickém testu 27letým mužem o hmotnosti 74 kg a výšce 170 cm po kardiochirurgické operaci by ho zařadila do třídy A dle Webera (tj. nulové omezení maximální aerobní kapacity). Ve skutečnosti však u tohoto muže s přihlédnutím k nízkému věku hodnota VO_{2peak} představovala jen 64 % referenční hodnoty VO_{2max} dle Wassermana odpovídající středně těžkému omezení maximální aerobní kapacity. Pro staršího muže ve věku 66 let stejné hmotnosti a výšky by výše uvedená hodnota VO_{2peak} odpovídala 100 % referenční hodnoty VO_{2max} a pro ženu ve věku 66 let stejné hmotnosti i výšky by stejná hodnota VO_{2peak} odpovídala 146 % referenční hodnoty, takže vzhledem k věku a pohlaví by se jednalo o nadprůměrnou hodnotu. Vliv přibývajícího věku na snižování VO_{2peak} je všeobecně známý a uváděný řadou autorů, v českém písemnictví s ním pracuje např. Chaloupka [13].

Při spiroergometrii se stanoví dva ventilační prahy ze změn ventilačně respiračních parametrů kombinací několika metod. První ventilační práh, který je z hlediska metabolického vlastně aerobním prahem, se ale často nazývá jako ventilační anaerobní práh (VAT, VT1). Druhý ventilační práh je z hlediska metabolického anaerobním prahem a nejčastěji bývá označován jako práh respirační kompenzace (RCT, VT2). V literatuře existuje mnoho názvoslovných ekvivalentů těchto ventilačních prahů (obr. 1). V této práci bude označován první ventilační práh jako VT1 a druhý ventilační práh jako VT2.

Stanovením VT1 a VT2 lze pak u každého pacienta určit rozmezí jednotlivých pásem –

proLékaře.cz | 15.8.2025

aerobního, aerobně-anaerobního a anaerobního pásma. Pro potřeby kardiovaskulární rehabilitace pak lze přesně a konkrétně pro každého pacienta určit individuální parametry pro fyzický trénink. Podle Doporučených postupů ČKS z roku 2006 [14] je v kardiovaskulární rehabilitaci používána intenzita zátěže na úrovni VT1. VT1 je vždy definován hodnotou příjmu kyslíku (VO_{2VT1}), ke které se pak určí časově odpovídající tréninkové parametry – zátěž ve wattech (W) a srdeční frekvence (SF). Pro aerobní vytrvalostní trénink existují dvě tréninkové modality – kontinuální trénink s konstantní zátěží a intervalový trénink. V současné době se ne na všech pracovištích respektuje fakt, že existují rozdíly ve způsobu odezvy organizmu na trénink s konstantní zátěží a trénink intervalový. V závislosti na tom je třeba stanovit jinou zátěž pro trénink s konstantní zátěží a jinou pro intervalový trénink [1,5,15].

V odborné literatuře se v poslední dekádě objevují zprávy o možnosti použití také vyšší intenzity tréninkové zátěže konstantního a též intervalového typu v kardiovaskulární rehabilitaci. Pro tzv. vysokointenzivní intervalový trénink je horní hranicí intenzita zátěže 85–100 % VO_{2peak} (tj. pásmo kolem VO_{2VT2} až po VO_{2peak}) [16–18]. Výsledky dosavadních studií jsou povzbudivé, ale zatím se čeká na výsledky multicentrické randomizované studie SMARTEX-HF [16] posuzující nejen účinnost, ale též bezpečnost vysokointenzivního intervalového tréninku. Pro kontinuální trénink s konstantní zátěží je dolní hranicí oblast odpovídající VT1 a horní hranicí intenzita zátěže na úrovni tzv. kritického výkonu. Kritický výkon je nejvyšší dlouhodobě udržitelný výkon za podmínek rovnovážného stavu VO_2, SF a laktátu [19–21].

Cíl studie

1. Na základě spiroergometrického testu stanovit a lokalizovat oba ventilační prahy u kardiologicky nemocných pacientů před zahájením kardiovaskulární rehabilitace, ze kterých lze určit parametry pro trénink odpovídající funkčnímu stavu pacienta.
2. Posoudit, zda u kardiaků existuje (podobně jako u zdravé populace) shoda mezi % rezervy srdeční frekvence (% HRR) a % rezervy příjmu kyslíku (% VO_2R) zejména v oblasti VT1, která by dostatečně opravňovala použití % HRR jako nepřímé metody k odhadu % VO_2R a ke stanovení relativní intenzity tréninkového zatížení.

Tab. 1. Analýza hodnocených spiroergometrických testů.

celkový počet spiroergometrických testů	107	100 %
počet testů s detekovatelným VT1	107	100 %
počet testů s detekovatelným VT2	91	85 %
počet testů ukončených při $RER_{peak} \geq 1{,}10$	61	57 %
počet testů zařazených do studie (splnění kritérií)	57	53 %

Vyšetřovaný soubor

Celkem bylo vyhodnoceno 107 rampových spiroergometrických testů s dobře detekovatelným VT1 u pacientů vstupujících do ambulantního rehabilitačního programu kardiovaskulární rehabilitace na Klinice tělovýchovného lékařství a rehabilitace FN u sv. Anny v Brně (tab. 1). Do studie byly vybrány jen testy, které splňovaly následující kritéria:

1. Ukončení testu při hodnotě $RER_{peak} \geq$ $\geq 1{,}10$ jako kritéria dostatečného metabolického vytížení a validity dosažených peak hodnot – VO_2, SF, W.
2. Spolehlivá detekovatelnost nejen VT1, ale též VT2.

Z celkového počtu 107 testů byla uvedená kritéria splněna pouze u 57 pacientů – 43 mužů (věk 61,3 ± 10,3 let, BMI 28,2 ± 3,6) a 14 žen (věk 63,4 ± 10,9 let, BMI 28,5 ± 5,7). Muži a ženy se statisticky významně nelišili věkem ani body mass indexem (BMI). Zbývajících 50 testů (47 %) bylo ukončeno před dosažením hodnoty RER_{peak} 1,10 a/nebo nebylo možné stanovit VT2. Zátěžové testy ukončené při $RER_{peak} < 1{,}10$, tj. před dosažením plného metabolického vytížení, nezaručují validitu dosažených vrcholových hodnot, a proto do této práce nebyly zahrnuty (u pacientů s $RER_{peak} < 1{,}10$ je však možné VT1 využít jako relevantní ukazatel preskripce tréninkové intenzity).

Metody vyšetření

Spiroergometrické vyšetření bylo provedeno rampovým protokolem do symptomy limitovaného maxima pomocí ergometrické jednotky (Ergoselect, Ergoline®, Bitz, D) s analyzátorem krevních plynů (Power Cube, Ganshorn® Medizin Electronic, Niederlauer, D) a se záznamem 12svodového EKG (AT-104 PC, Schiller®, Baar, CH). Na začátku vyšetření byl proveden záznam klidového EKG v lehu a v sedu. Poté následovala tříminutová adaptace vyšetřované osoby vsedě na ergometru. Strmost vzestupu zátěže byla volena podle předpokládané fyzické zdatnosti tak, aby zátěžový test trval celkem 8–12 min. Během zátěžového testu bylo kontinuálně monitorováno EKG, SF byla zaznamenávána každých 10 s dle křivky EKG, manuální měření TK a určení stupně subjektivního vnímání zátěže (RPE – ratio of perceived exertion) dle Borgovy škály bylo prováděno každé 2 min. Příjem O_2, výdej CO_2 a ventilace byly měřeny při každém dechu a zprůměrované hodnoty byly zaznamenány každých 10 s.

VT1 byl stanoven kombinací metody V-slope, analýzou křivek ventilačních ekvivalentů pro kyslík a oxid uhličitý, křivky excess CO_2 a posouzením průběhu křivky parciálního tlaku O_2 na konci výdechu ($PETO_2$). VT2 byl stanovený pomocí křivky ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý, křivky parciálního tlaku CO_2 na konci výdechu ($PETCO_2$) a metodou VE/VCO_2 slope. Na úrovni VT1 definovaném hodnotou VO_2 byly stanoveny tréninkové parametry pro kardiovaskulární rehabilitaci: 1. tréninková srdeční frekvence a 2. tréninková zátěž jiná pro kontinuální trénink s konstantní zátěží a jiná pro intervalový trénink.

Predikované (referenční) hodnoty VO_{2max} byly vypočítány pomocí programu řídícího spiroergometrické vyšetření na základě metodiky dle Wassermana [2]. Referenční hodnoty VO_{2VT1} byly vypočítány podle Davise [7]. Referenční hodnotu SF_{max} program vypočítává dle vzorce (220 – věk) × 0,90, ale pro posouzení chronotropní inkompetence se používá referenční hodnota SF_{max} určená podle vzorce 220 – věk. Za chronotropní inkompetenci se považuje nemožnost dosáhnout 80 % referenční hodnoty SF_{max} dle vzorce 220 – – věk [22,23].

Pro posouzení nepřímých metod pro stanovení tréninkového zatížení byla z výsledků spiroergometrického testu vypočtena rezerva příjmu kyslíku ($VO_2R = VO_{2peak} - VO_{2rest}$) a rezerva srdeční frekvence ($HRR = SF_{peak} - SF_{rest}$) jako rozdíl maximální dosažené hodnoty a klidové hodnoty a určeno % VO_2R a % HRR odpovídající VT1 a VT2.

proLékaře.cz | 15.8.2025

Tab. 2. Vybrané parametry hodnocené při spiroergometrickém vyšetření u kardiologicky nemocných mužů a žen před zahájením kardiovaskulární rehabilitace.

Parametr	Muži (n = 43) ($\bar{x} \pm s$)	Ženy (n = 14) ($\bar{x} \pm s$)
maximální dosažený příjem kyslíku: VO_{2peak} ($ml.min^{-1}.kg^{-1}$)	22,5 ± 4,8	15,6 ± 3,6
$VO_{2\,peak}$ dosažený/predikovaný dle Wassermana (%)	88 % ± 16	85 % ± 12
maximální dosažený výkon: W_{peak} ($watt.kg^{-1}$)	1,73 ± 0,39	1,18 ± 0,27
W_{peak} dosažený/predikovaný W_{max} dle Wassermana (%)	90 % ± 17	72 % ± 10
maximální dosažený poměr respirační výměny: RER_{peak}	1,17 ± 0,05	1,16 ± 0,04
příjem kyslíku na úrovni VT1: $VO_{2\,VT1}$ ($ml.min^{-1}.kg^{-1}$)	11,9 ± 2,3	9,1 ± 1,6
$VO_{2\,VT1}$ dosažený/predikovaný dle Davise (%)	83 % ± 14	77 % ± 13
výkon na úrovni VT1: W_{VT1} ($watt.kg^{-1}$)	0,82 ± 0,20	0,60 ± 0,16
srdeční frekvence na úrovni VT1: SF_{VT1} ($tepy.min^{-1}$)	94 ± 8	92 ± 8
poměr respirační výměny na úrovni VT1: RER_{VT1}	0,87 ± 0,06	0,83 ± 0,07
příjem kyslíku na úrovni VT2: $VO_{2\,VT2}$ ($ml.min^{-1}.kg^{-1}$)	18,9 ± 4,0	13,6 ± 3,0
výkon na úrovni VT2: W_{VT2} ($watt.kg^{-1}$)	1,42 ± 0,33	0,99 ± 0,24
poměr respirační výměny na úrovni VT2: RER_{VT2}	1,07 ± 0,06	1,07 ± 0,06

Tab. 3. Lokalizace ventilačních prahů vyjádřená jako % z vrcholových hodnot příjmu kyslíku, výkonu, srdeční frekvence a jako % z rezervy příjmu kyslíku a rezervy srdeční frekvence u kardiologicky nemocných pacientů před zahájením kardiovaskulární rehabilitace.

	Muži (n = 43)		Ženy (n = 14)	
	VT1 ($\bar{x} \pm s$)	VT2 ($\bar{x} \pm s$)	VT1 ($\bar{x} \pm s$)	VT2 ($\bar{x} \pm s$)
% VO_{2peak}	53 % ± 6 %	84 % ± 5%	59 % ± 6%	87 % ± 6 %
% W_{peak}	47 % ± 6 %	82 % ± 5 %	50 % ± 5 %	83 % ± 6 %
% SF_{peak}	72 % ± 7 %	86 % ± 4 %	77 % ± 7 %	91 % ± 5 %
% VO_2R	43 % ± 6 %	81 % ± 6 %	45 % ± 7 %	83 % ± 10 %
% HRR	44 % ± 8 %	79 % ± 7 %	47 %± 14 %	81 % ± 9 %

Statistické zpracování

Statistické zpracování bylo provedeno v programu Microsoft Excel pro Windows a v programu Statistica, verze 12.0. K testování normality rozložení byla použita Lillieforsova modifikace Kolmogorov-Smirnovova testu, Shapiro Wilkův W test v programu Statistica a Anderson-Darlingův test. V programu Microsoft Excel 2007 byly provedeny parametrické testy a v programu Statistica neparametrické testy. Rozdíl mužů a žen ve věku a BMI byl hodnocen Wilcoxonovým testem. Rozdíl mezi % VO_2R a % HRR byl u mužů hodnocen dvouvýběrovým t-testem a u žen Wilcoxon-Whitney testem. Korelace mezi % VO_2R a % HRR byla u mužů hodnocena pomocí výběrového Pearsonova korelačního koeficientu a u žen pomocí Spearmanova koeficientu pořadové korelace. Výsledky jsou prezentovány ve formě průměrů ($\bar{x}$) a směrodatných odchylek (s).

Výsledky

V tab. 2 jsou uvedeny hodnocené parametry dosažené v maximu a na úrovni obou ventilačních prahů u kardiologicky nemocných pacientů (n = 57) při vstupním spiroergometrickém vyšetření před zahájením ambulantního rehabilitačního programu v rámci kardiovaskulární rehabilitace. Chronotropní inkompetence (CTI) se v našem souboru pacientů vyskytovala u 17 mužů (tj. ve 40 %) a u 5 žen (tj. ve 36 %). Lokalizaci obou ventilačních prahů ve vyšetřovaném souboru ukazuje tab. 3.

Při porovnání absolutních hodnot VO_{2VT1} žen a mužů (tab. 2) byla průměrná hodnota u žen nižší (9,1 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$) ve srovnání s muži (11,9 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$), ale vzhledem k VO_{2peak} byl VT1 u žen lokalizován výše (59 % VO_{2peak}) než u mužů (53 % VO_{2peak}) (tab. 3).

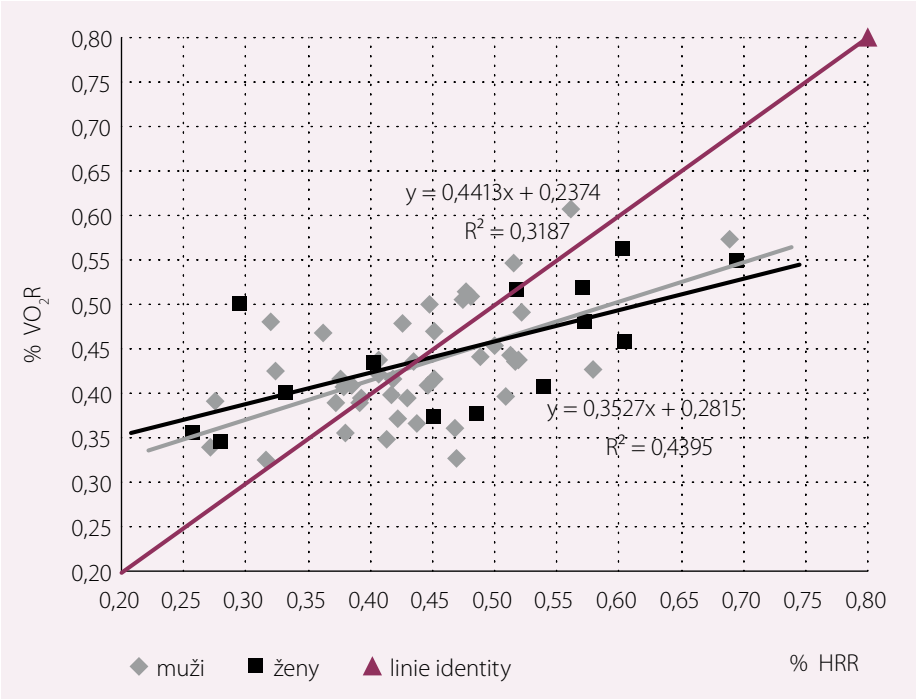
V našem souboru pacientů se hodnoty VT1 vyjádřené jako % VO_{2peak} a % SF_{peak} od sebe numericky významně liší (o 18 %, $p < 0,01$). Naopak hodnoty VT1 vyjádřené jako % HRR a % VO_2R jsou číselně podobné a statisticky významně se od sebe nelišily jak u mužů, tak i u žen.

Graf 1 ukazuje, že korelace mezi % VO_2R a % HRR na úrovni VT1 je statisticky významná u mužů ($p < 0,001$; Pearsonův korelační koeficient $r = 0,56$) i u žen ($p < 0,01$; Spearmanův korelační koeficient $r = 0,71$). Koeficient determinace R^2 svědčí u mužů ($R^2 = 0,32$) i u žen ($R^2 = 0,44$) pro nízkou sílu lineární závislosti (spolehlivosti). Existuje zřetelný rozptyl hodnot, takže stejné hodnotě % HRR od-

proLékaře.cz | 15.8.2025

povídají významně odlišné hodnoty % VO_2R. Regresní přímky mužů a žen se mezi sebou liší jen mírně, ale zejména se liší od linie identity (fialová přímka v grafu 1). Při ideální korelaci a stejné číselné hodnotě by regresní přímky a hodnoty měly být uspořádány právě kolem této linie identity.

Pro zdravou populaci existují tabulky relativní intenzity zatížení publikované American College of Sports Medicine [24] vyjádřené v % VO_2R, % HRR a % SF_{max} (tab. 4). V pravé části tab. 4 je znázorněno rozložení VT1 vyjádřeného jako % VO_2R do pásem relativní intenzity zatížení u kardiologicky nemocných mužů a žen našeho souboru. Tab. 4 ukazuje, že jen u 27 pacientů (63 %) a 7 pacientek (50 %) odpovídá % rezervy VO_2 % rezervy SF. U zdravé populace se předpokládá vysoká shoda.



Graf 1. Vztah % VO_2R a % HRR na úrovni VT1 u kardiologicky nemocných mužů a žen před zahájením kardiovaskulární rehabilitace.

Diskuze

Jednoznačně nejspolehlivější a nejpřesnější je stanovení tréninkových parametrů pro kardiovaskulární rehabilitaci pomocí **přímých metod** – tedy pomocí spiroergometrie. V současné době je pro kardiovaskulární rehabilitaci v ČR doporučována tréninková intenzita na úrovni VT1 [25,26]. V našem souboru pacientů byl VT1 (53 ± 6 % VO_{2peak} u mužů a 59 ± 6 % VO_{2peak} u žen) lokalizován v souladu s rozmezím 45–65 % VO_{2peak}, uváděným v odborné literatuře [2,9–11].

Absolutní hodnota VO_{2VT1} a lokalizace VT1 závisí na věku, pohlaví, trénovanosti, kardio- a/nebo pulmonálním onemocnění. S věkem klesá VO_{2peak} i VO_{2VT1}, ale hodnota VO_{2peak} klesá s věkem výrazněji než absolutní hodnota VO_{2VT1}, proto matematický poměr VO_{2VT1}/VO_{2peak}, tedy lokalizace VT1, bude s věkem stoupat [2]. Ženy mají výše uložený VT1 než muži [2], což bylo patrné i v našem souboru (tab. 3). Vytrvalostní aerobní trénink zvyšuje VT1, závažnější onemocnění oběhového systému ho snižuje. Ale výše uložený VT1 může být také někdy důsledkem nižší hodnoty VO_{2peak} (při stejné hodnotě VO_{2VT1}) při předčasně ukončeném zátěžovém testu (zejména při RER_{peak} < 1,05), která zvýší procentuální poměr VO_{2VT1}/VO_{2peak}. Vyšší % tedy v tomto případě není projevem lepší trénovanosti (funkční zdatnosti), ale jen matematickým vyjádřením zmenšení jmenovatele nižší hodnotou VO_{2peak}. Z uvedeného jasně vyplývá, že spiroergometrická vyšetření s neúplným metabolickým vytížením jsou pro klinické či výzkumné potřeby bezcenná a zcela nepoužitelná v případě posuzování peak hodnot.

Není-li k dispozici spiroergometrické vyšetření, a nelze-li tedy stanovit VT1, bylo by možné uvažovat o tzv. **nepřímých metodách** stanovení tréninkových parametrů. Tyto nepřímé metody jsou založeny hlavně na srdeční frekvenci. Vycházejí z lineární korelace mezi SF, VO_2 a zátěží u zdravé populace, ale zde je třeba důrazně upozornit, že u kardiologicky nemocných tento vztah **platit nemusí (!).**

Tab. 4. Zařazení VT1 (vyjádřeného jako % VO_2R) dosaženého u vyšetřovaného souboru (n = 57) do pásem relativní intenzity zatížení podle American College of Sports Medicine.

Relativní intenzita zatížení podle ACSM pro zdravou populaci. Upraveno dle [24].			**Muži (n = 43)**		**Ženy (n = 14)**	
			VT1 jen dle % VO_2R	**soulad mezi % VO_2R i % HRR**	**VT1 jen dle % VO_2R**	**soulad mezi % VO_2R i % HRR**
Intenzita	**% SF_{max}**	**% VO_2R, % HRR**	**počet**	**počet**	**počet**	**počet**
very light	< 50	< 20	0	0	0	0
light	50–63	20–39	15	7	4	2
moderate	64–76	40–59	27	20	10	5
hard	77–93	60–84	1	0	0	0
very hard	≥ 94	≥ 85	0	0	0	0
maximal	100	100	0	0	0	0
Součet			43	27	14	7

proLékaře.cz | 15.8.2025

Tab. 5. Ukázka přímých a nepřímých metod stanovení tréninkové zátěže u pacienta po akutním infarktu myokardu.

Přímé metody stanovení tréninkového zatížení – výsledky spiroergometrického testu
Muž po infarktu myokardu (57 let, 95 kg), rampový test 10 W/min, RER_{peak} 1,11

	VO_2 ($ml.min^{-1}$)	$VO_2.kg^{-1}$ ($ml.min^{-1}.kg^{-1}$)	W (watty)	SF (tepů/min)
klidové hodnoty	361	3,8	0	57
peak hodnoty	1 250	13,2	103	95
peak/referenční (%)	49		55	65
klasifikace omezení max. aerobní kapacity	Dle Wassermana: těžké omezení (49 % ref. hodnoty VO_{2max}) Dle Webera: středně těžké omezení (VO_{2peak} = 13,2 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ – třída C)			
VT1	740	7,8	50	79
lokalizace VT1 (VT1/peak)	59 % VO_{2peak} a 43 % VO_2R		49 % W_{peak}	83 % SF_{peak} a 58 % HRR

Nepřímé metody stanovení tréninkového zatížení – výpočty
Muž po infarktu myokardu (57 let, 95 kg)

	Vypočtené parametry	Poznámka
varianta A: 65–85 % SF_{max}	$SF_{trén}$ = 106–139/min	$SF_{trén} > SF_{peak}$ (pacientem maximálně dosažená)
varianta B: 65–85 % SF_{peak}	$SF_{trén}$ = 62–81/min	85 % SF_{peak} je optimální 65 % SF_{peak} odpovídá téměř klidové SF
varianta C: 40–60 % HRR	$SF_{trén}$ = 72–80/min	60 % HRR optimální, 40 % HRR příliš nízká
varianta D: 47 % z W_{peak}	$W_{trén}$ = 48 W	odhadnutá $W_{trén}$ odpovídá W_{VT1}

Výpočet tréninkové SF ($SF_{trén}$) vychází z hodnoty maximální dosažené srdeční frekvence (SF_{peak}) nebo rezervy SF (HRR = SF_{peak} – SF_{klid}). $SF_{trén}$ je pak určena jako % SF_{peak} nebo % HRR.

Varianta A

Nejméně přesnou a u kardiaků zcela nevhodnou variantou je použít k výpočtu $SF_{trén}$ pouze **podle věku predikovanou hodnotu SF_{max}** platící pro zdravou populaci za použití některého ze vzorců pro výpočet SF_{max} (např. 220 – věk podle Åstranda [7] nebo 208 – (0,7 × věk) podle Tanaky [27]). Dle cílové relativní intenzity zatížení pro trénink se zvolí určité % z predikované SF_{max}, např. 70 %, a $SF_{trén}$ se vypočítá podle vzorce 0,7 × SF_{max}. Zcela zásadním problémem je, že kardiologicky nemocní často vůbec nedosáhnou hodnoty predikované SF_{max} dle věku. Příčinou je CTI způsobená věkem, kardiologickým onemocněním či medikací. CTI je charakterizována nemožností dosáhnout alespoň 80 % predikované hodnoty SF_{max} při dostatečném metabolickém vytížení. V našem vyšetřovaném souboru (n = 57) se CTI vyskytovala u 39 % pacientů. Takže $SF_{trén}$ určená jako % z predikované SF_{max} nebo z ní vypočtené HRR (= predikovaná SF_{max} – SF_{klid}) bývá často nadhodnocena a vede k nadměrnému zatížení (tab. 5).

Varianta B

O něco přesnější metodou výpočtu $SF_{trén}$ je **skutečně změřená maximální dosažená SF_{peak}** u konkrétního pacienta při ergometrickém vyšetření. Vzorec pro výpočet $SF_{trén}$ je stejný jako u varianty A, ale místo predikované SF_{max} se použije skutečně dosažená SF_{peak}. SF_{peak} je vhodná pro výpočet $SF_{trén}$, pouze když odpovídá plnému metabolickému vytížení, které však nelze při klasickém ergometrickém testu vždy spolehlivě prokázat. S určitou pravděpodobností lze předpokládat plné metabolické vytížení pouze v případě, že byl ergometrický test ukončen pro dušnost a vyčerpání vyšetřované osoby. Při předčasném ukončení testu (např. pro hypertonickou reakci TK) je velmi pravděpodobné, že pacient nedosáhl své maximální SF a maximálního výkonu (z celkového počtu námi analyzovaných 107 spiroergometrických testů byl ve 43 % test ukončen předčasně). U testů předčasně ukončených a/nebo u pacientů s CTI může být SF_{peak} nižší a případné výpočty $SF_{trén}$ vycházející z takto zkreslené (snížené) SF_{peak} nemohou být považovány za validní.

Varianta C

Další možností je **určení $SF_{trén}$ z rezervy SF (HRR)** odvozené ze skutečně změřené maximální dosažené SF_{peak} (HRR = SF_{peak} – SF_{klid}). I při této variantě má SF_{peak} rozhodující vliv na výpočet HRR. Faktory ovlivňující SF_{peak} (předčasné ukončení testu a CTI) se promítnou i do hodnoty HRR. Dle cílové relativní intenzity zátěže se zvolí určité % z HRR pro trénink pacienta, např. pro trénink na úrovni 50 % HRR se $SF_{trén}$ vypočítá dle vzorce HRR × 0,5 + SF_{klid}.

V tab. 4 jsou uvedena pásma relativní intenzity zatížení podle ACSM pro zdravou populaci. Hlavním metabolickým ukazatelem intenzity zatížení (svalové práce) je hodnota VO_2, a proto primárním cílem tzv. nepřímých metod je odhad této veličiny pomocí hodnoty SF. Je známo, že u zdravé populace existuje dobrá korelace mezi % HRR a % VO_2R, takže podle % HRR lze odhadnout hodnotu % VO_2R, a tím pásmo relativní intenzity zatížení. Při těsné korelaci mezi % VO_2R a % HRR může být dokonce i číselná shoda hodnot za předpokladu, že mezi oběma veličinami existuje 1. linearita v celém rozsahu, 2. ekvivalence (rovnocennost) vzestupu VO_2 a SF se vzestupem zátěže, 3. dobrá shoda přímky lineární regrese s linií identity (linie se stejnými hodnotami VO_2R a HRR), 4. evidentně nízký rozptyl čtverců reziduí kolem přímky regrese. Při těsné korelaci se stejnými číselnými hodnotami by byly body souměrně a těsně soustředěné kolem linie identity. Avšak jak prokázali Mezzani et al [28], u kardiologicky nemocných úzký vztah

proLékaře.cz | 15.8.2025

mezi % VO_2R a % HRR neplatí a k identickému závěru dospěla i naše studie. Graf 1 ukazuje, že korelace mezi oběma veličinami u nemocných je sice statisticky významná, ale je velký rozptyl hodnot. Nízký koeficient determinace R^2 svědčí o nízké síle lineární závislosti. Regresní rovnice a přímky u mužů a žen se liší od linie identity vztahu % HRR a % VO_2R, takže vzájemně související číselné hodnoty se liší. Výsledky ukázaly, že u kardiaků:

1. nebyly splněny uvedené podmínky pro možnost spolehlivého odhadu % VO_2R dle % HRR,
2. nelze tedy spolehlivě odhadnout skutečnou úroveň % VO_2R,
3. nelze tak dle % HRR spolehlivě stanovit pásmo relativní intenzity zatížení definované hodnotou % VO_2R.

Tato varianta odhadu je proto u kardiaků nepřesná a pro praxi obtížně použitelná, na což upozorňují i Carvalho a Mezzani [5].

Varianta D

Při klasickém ergometrickém vyšetření je možné **odvodit tréninkové zatížení také podle maximálního dosaženého výkonu** (v naší práci na úrovni 50 % W_{peak} u žen a na úrovni 47 % W_{peak} u mužů). Tyto hodnoty obvykle odpovídají VT1 při plném metabolickém vytížení (tab. 3). Při předčasném ukončení zátěžového testu bude maximální dosažený výkon nižší a následně bude též nižší i výpočtem určená hodnota tréninkové zátěže ve wattech odpovídající úrovni odhadnutého VT1. Pacient tak bude trénovat pravděpodobně pod VT1 (a efekt tréninku může být nižší), ale nedochází k přetížení pacienta. Tato varianta odhadu tréninkových parametrů bývá relativně přesnější a spolehlivější než odhad podle SF_{peak} (tab. 5).

Varianta E

Subjektivní vnímání namáhavosti zatížení (RPE – rating of perceived exertion) nemůže být v žádném případě jediným kritériem volby tréninkové intenzity, ale výhradně jen kontrolní metodou k subjektivnímu posouzení intenzity zatížení (Borgova škála 6–20) a tolerance zatížení (Borgova škála 0–10 k subjektivnímu hodnocení dušnosti, bolesti na hrudi a dolních končetin). Intenzita na úrovni VT1 by měla být vnímána mezi 12 a 14, tedy jako zátěž poněkud namáhavá. U této metody je žádoucí, aby pacienti uměli správně zhodnotit intenzitu vnímané zátěže a aby nedocházelo k podhodnocování (uváděna nižší hodnota v rámci soutěžení jedinců v kolektivu) ani nadhodnocování (uváděna vyšší hodnota u úzkostlivých jedinců). Namáhavost a toleranci tělesné zátěže lze jednoduše ověřit též testem „mluvit, zpívat, rychle dýchat" (test du parler) – nad VT1 není pacient schopen souvislé řeči [29]. Tolerance tréninkové zátěže se kromě RPE posuzuje odezvou SF (významné překročení $SF_{trén}$ nebo naopak bradykardie), krevního tlaku a výskytem různých příznaků ukazujících na intoleranci zátěže (nepřiměřená dušnost, nepřiměřená únava, stenokardie, arytmie, vertigo až kolapsový stav apod.).

Doporučované tréninkové parametry bývají v různých publikacích vyjádřeny jako % VO_{2peak}, % SF_{peak} anebo % VO_2R a % HRR. Rozmezí doporučovaných hodnot pro kardiologicky nemocné se mohou v různých literárních zdrojích lišit, ale již na první pohled je zřejmý velký rozsah doporučovaných hodnot: 40–80 % VO_{2peak} (což orientačně odpovídá 30–70 % VO_2R), 50–85 % SF_{peak} a 40–70 % HRR [5,9]. Naše výsledky ukázaly, že VT1 byl u hodnocených pacientů lokalizován též v širokém rozmezí (udáno jako minimální hodnota až maximální hodnota): 43–71 % VO_{2peak}, 59–87 % SF_{peak}, 26–70 % HRR a 33–61 % VO_2R. Při takto širokém rozmezí by bylo těžké až nemožné vybrat pro konkrétního pacienta pomocí nepřímých metod správné parametry tréninkového zatížení. Ty poskytuje pouze spiroergometrické vyšetření.

Doporučované rozpětí 40–80 % VO_{2peak} (orientačně 30–70 % VO_2R) odpovídá dle ACSM (tab. 4) velmi širokému rozsahu sahajícímu od pásma nízké intenzity přes pásmo střední intenzity až do pásma vysoké relativní intenzity zatížení. V našem souboru 57 pacientů byl VT1 vyjádřený jako % VO_2R lokalizován u 2/3 pacientů v pásmu střední intenzity a u 1/3 pacientů v pásmu nízké intenzity (tab. 4). Lokalizace VT1 kolem 40 % VO_{2peak} je možná u pacientů s chronickým srdečním selháním funkční klasifikace NYHA III při výrazně omezené funkční kapacitě. Proto se u této skupiny doporučuje začít trénovat pod úrovní VT1, takže správnou volbou je zatížení odpovídající intenzitě kolem 40 % VO_{2peak} (cca 25–30 % VO_2R), kterou lze pak dle tolerance postupně zvyšovat [1,5]. U pacientů NYHA I a II by dolní hranice intenzity zatížení měla být na úrovni VT1, což odpovídá 45–65 % VO_{2peak} (cca 35–55 % VO_2R). Intenzita zatížení 70–80 % VO_{2peak} (často doporučovaná v různých literárních zdrojích) je již nad úrovní VT1; intenzita kolem 85 % VO_{2peak} odpovídá přibližně úrovni VT2. Lokalizace VT1 na úrovni 80 % VO_{2peak} může znamenat dobře vytrvalostně trénovanou osobu (u kardiaků spíše výjimka), ale častěji to může být jen matematický důsledek nižšího VO_{2peak} při předčasně ukončeném spiroergometrickém vyšetření (zmenšení jmenovatele v procentuálním poměru VO_{2VT1}/VO_{2peak}).

Tab. 5 ukazuje na příkladu konkrétního kardiologicky nemocného pacienta přesné stanovení tréninkových parametrů pomocí spiroergometrie (tréninkové parametry jsou na úrovni VT1) a pro srovnání i stanovení tréninkových parametrů různými nepřímými metodami (varianta A až D), které byly popsány výše.

Kdyby stejný pacient ukončil spiroergometrický test předčasně při hodnotě RER_{peak} 1,02, byly by nižší všechny peak hodnoty (VO_2 peak 970 ml.min^{-1}, W_{peak} 77 W, SF_{peak} 88/min), hodnoty na úrovni VT1 by zůstaly stejné, ačkoli by se matematicky změnila (zvýšila) lokalizace VT1 (76 % VO_{2peak}, 63 % VO_2R, 65 % W_{peak}, 90 % SF_{peak} a 71 % HRR). Stejně tak by následkem snížení peak hodnot byly sníženy vypočtené tréninkové parametry u varianty B, C a D.

Při posuzování efektu rehabilitačních programů na základě zlepšení peak hodnot VO_2 a W je nezbytnou podmínkou uvést hodnotu RER_{peak} při vstupním i výstupním spiroergometrickém vyšetření. Výsledky spiroergometrického testu s nedostatečným metabolickým vytížením ($RER_{peak} < 1{,}10$) nelze porovnat s výsledky maximálního testu ($RER_{peak} \geq 1{,}10$). Při nedodržení této zásady mohou být výsledky porovnání nevěrohodné. Ne vždy je uvedená podmínka respektována.

Závěry

1. Jedinou přesnou metodou ke stanovení tréninkových parametrů pro kardiologicky nemocné je přímé stanovení VT1 (popř. VT2 pro vysokointenzivní trénink) pomocí spiroergometrického vyšetření.
2. U kardiologicky nemocných existuje statisticky významná korelace mezi % HRR a % VO_2R, ale vzhledem k velkému rozptylu hodnot nelze podle % HRR odhadnout % VO_2R, které definuje relativní intenzitu zatížení.
3. Nepřímé metody stanovení tréninkového zatížení pro aerobní vytrvalostní trénink (založené zejména na SF_{peak}) jsou u kardiologicky nemocných nespolehlivé a z vážných důvodů, které byly podrobně uvedeny výše (např. vliv chronotropní inkompetence, nedostatečné metabolické vytížení při před-

proLékaře.cz | 15.8.2025

časně ukončeném testu, apod.), pro efektivní kardiovaskulární rehabilitaci nepoužitelné.

Literatura

1. Mezzani A, Hamm LF, Jones AM et al. Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. Policy statement. Eur J Prev Cardiol 2012; 20: 442–467. doi: 10.1177/2047487312460484.

2. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Including Pathophysiology and Clinical Applications. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2012.

3. Kroidl RF, Swarz S, Lehnigk B. Kursbuch Spiroergometrie. 3rd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2014.

4. Guazzi M, Adams V, Conraads V et al. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Circulation 2012; 126: 2261–2274. doi: 10.1161/CIR.0b013e31826fb946.

5. Carvalho VO, Mezzani A. Aerobic exercise training intensity in patients with chronic heart failure: principles of assessment and prescription. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2011; 18: 5–14. doi: 10.1097/HJR.0b013e32833a9c63.

6. Piepoli MF, Conraads V, Corra U et al. Exercise training in heart failure: from theory to practice. A consensus document of the Heart Failure Association and the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. Position statement. Eur J Heart Fail 2011; 13: 347–357. doi: 10.1093/eurjhf/hfr017.

7. Cooper CB, Storer TW. Exercise testing and interpretation. A practical approach. Cambridge: Cambridge University press 2004.

8. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation. Part III: Interpretation of cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure and future applications. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2006; 13: 485–494.

9. Balady GJ, Arena R, Sietsema K et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. A scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2010; 122: 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.

10. Arena R, Sietsema KE. Cardiopulmonary exercise testing in the clinical evaluation of patients with heart and lung disease. Circulation 2011; 123: 668–680. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.914788.

11. Guazzi M, Volker A, Conraads V et al. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Eur Heart J 2012; 33: 2917–2927. doi: 10.1093/eurheartj/ehs221.

12. Mífková L, Várnay F, Fišer B et al. Spiroergometry before and after ambulatory exercise training in patients after acute myocardial infarction. Scripta Medica 2010; 83: 115–120.

13. Chaloupka V. Aerobní kapacita u nemocných s ischemickou chorobou srdeční. Kardiol Rev 2008; 10: 92–95.

14. Chaloupka V, Siegelová J, Špinarová L et al. Rehabilitace u nemocných s kardiovaskulárním onemocněním. Cor Vasa 2006; 48: K127–K145.

15. Mífková L, Havelková A, Homolka P et al. Ambulantní rehabilitační program u mužů a žen po akutním infarktu myokardu. Med Sport Boh Slov 2014; 23: 55–65.

16. Støylen A, Conraads V, Halle M et al. Controlled study of myocardial recovery after interval training in heart failure: SMARTEX-HF-rationale and design. Eur J Prev Cardiol 2012; 19: 813–821. doi: 10.117/1741826711403252.

17. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study. Circulation 2007; 115: 3086–3094. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041.

18. Dimopulos S, Anastasiou-Nana M, Sakellariou D et al. Effects of exercise rehabilitaion program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2006; 13: 67–73.

19. Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A et al. Standards for use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2009; 16: 249–267. doi: 10.1097/HJR.0b013e32832914c8.

20. Mezzani A, Corrá U, Giordano A et al. Upper intensity limit for prolonged aerobic exercise in chronic heart failure. Med Sci Exerc 2010; 42: 633–639. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181bdc69d.

21. Hill DW. The critical power concept. A review. Sports Med 1993; 16: 237–254.

22. Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences and management. Circulation 2011; 123: 1010–1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.

23. Magri D, Palermo P, Cauti FM et al. Chronotropic incompetence and functional capacity in chronic heart failure: no role of β-Blocker and β-Blocker dose. Cardiovasc Ther 2012; 30: 100–108. doi: 10.1111/j.1755-5922.2010.00184.x.

24. Pescatello LS, Ross A, Riebe D et al. ACSM´s Guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2014.

25. Soska V, Dobsak P, Pohanka M et al. Exercise training combined with electromyostimulation in the rehabilitation of patients with chronic heart failure: A randomized trial. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub 2014; 158: 98–106. doi: 10.5507/bp.2012.096.

26. Dobsak P, Tomandl J, Spinarova L et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation and aerobic exercise training on arterial stiffness and autonomic functions in patients with chronic heart failure. Artif Organs 2012; 36: 920–930. doi: 10.1111/j.1525-1594.2012.01474.x.

27. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. J Am Coll Cardiol 2001; 37: 153–156.

28. Mezzani A, Corra U, Giordano A et al. Unreliability of the %VO2 reserve versus % heart rate reserve relationship for aerobic effort relative intensity assessment in chronic heart failure patients on or off beta-blocking therapy. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2007; 14: 92–98. doi: 10.1097/HJR.0b013e328011649b.

29. Placheta Z, Siegelová J. Štejfa M et al. Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi. 1. vyd. Brno: Grada Publishing 1999.

Doručeno do redakce: 28. 1. 2015
Přijato po recenzi: 5. 3. 2015

Mgr. Leona Mífková, Ph.D.
www.fnusa.cz
leona.mifkova@fnusa.cz