

Původní práce

Zátěžové testování dětí a adolescentů - hlavní sledované parametry a specifika jejich měření a hodnocení v dětském věku

J. Radvanský, M. Matouš

Klinika tělovýchovného lékařství FNM a 2. LF UK, Praha

Klíčová slova: zátěžové vyšetření dětských pacientů, normy krevního tlaku v zátěži, interpretace zátěžového testu
Key words: pediatric exercise testing, blood pressure reference values, exercise test interpretation

Souhrn

Práce si klade za cíl sumarizovat hlavní parametry sledované v zátěžové diagnostice dětských pacientů, dnes majoritně indikované pro poruchy kardiorepiračního systému s převahou oběhové problematiky. U každého parametru jsou zdůrazněny technické a interpretační rozdíly proti hodnocení u dospělých. Maximální spotřeba kyslíku vyjádřená na kilogram hmotnosti zůstává základním nespécifickým ukazatelem transportní kapacity pro dýchací plyny a zároveň dobrou orientací o schopnosti zregenerovat po delší námaze. U dětského pacienta je výsledek velmi závislý na jeho dobré motivaci. Dynamiku krevního tlaku (TK) v zátěži nutno posuzovat zvláště pro statickou a dynamickou zátěž a při interpretaci respektovat také zdatnost pacienta. Jsou diskutovány tři přístupy interpretace a normálních hodnot: normování dle intenzity zátěže, dle tepové frekvence a dle vzestupu TK proti klidové hodnotě. Parametry odvoditelné z elektrokardiogramu jsou zmíněny rámcově, se zaměřením hlavně na tepovou frekvenci v zátěži a její interpretaci za patologických stavů. Minutová ventilace, jeden z technicky nejsnáze měřitelných parametrů zátěžové fyziologie dospělých, má v dětské populaci jen minimální použití pro velké ovlivnění psychikou a variační koeficient nad 20 procent i při přepočtu na kilogram hmotnosti.

Summary

Radvansky J., Matouš M.: **Exercise testing in children - main cardiorespiratory parameters and their interpretation.**

Main cardiorespiratory parameters used in pediatric exercise testing are summarized with special respect to circulatory system diseases. In each parameter discussion is focused to technical aspects, interpretation differences compared to adult population and to frequently used reference values.

Maximal oxygen consumption expressed per body weight remains basic non-specific parameter of overall oxygen transporting capacity serving as well for a qualified estimation of patient's ability to recover from post - exercise fatigue. In pediatric patient a reliable result is widely dependent on patient's motivation to the exercise test. Any interpretation of blood pressure (BP) changes during exercise can only be done with respect to the type of exercise (static and dynamic), age and patient's exercise capacity. Three major approaches of interpretation are discussed: reference values expressed in level of load, heart rate or in relation to the increment of resting value and load. Minute ventilation - technically one of the parameters easy to

register - has in pediatric exercise testing only a minor value because of a high influence of negative emotions during laboratory testing in children.

Úvod

Řízená tělesná zátěž v laboratorních podmínkách má svou dlouholetou tradici v oblasti aplikované klinické fyziologie při určování tělesné zdatnosti chronicky nemocných. Tato práce vznikla z potřeby sumarizovat hlavní parametry podstatně především u dětských pacientů indikovaných k vyšetření pro suspektní patologie v oblasti oběhu a jeho regulací. Uvádíme vícegenerační zkušenosti pracoviště, jehož zátěžová laboratoř byla po desetiletí vedena MUDr. Janem Vávrou CSc., člověkem s obrovským rozhledem v celé šíři problematiky funkční zátěžové diagnostiky (a zdaleka nejenjí). Práce si klade za cíl shrnout základní sledované parametry, odlišnosti technických postupů a interpretačních zásad zátěžových testů proti standardům vyšetření dospělé populace.

U dětí a mladistvých je v porovnání s dospělými indikační šíře, technika provádění i interpretace výsledků laboratorních zátěžových testů poněkud odlišná. Zvyšuje se podíl vyšetření u pacientů s hraničními hodnotami krevního tlaku, kolapsových stavů a chirurgicky korigovaných vrozených srdečních vad. Vzhledem k častějším sportovním ambicím mladé populace je větší potřeba sledovat odezvu kardiorepiračního systému na modelovanou zátěž odpovídající intenzitou a délkou sportovnímu výkonu. Obdobné vyšetření je důležité také při volbě povolání. Naproti tomu je v této věkové kategorii podstatně nižší potřeba zátěžového vyšetření u metabolických poruch a v diagnostice snížené koronární rezervy. S vývojem funkční diagnostiky se také postupně přesunuje těžiště od respiračních poruch k oběhovým - laboratorně se dnes například bronchospasmus při asthma bronchiále namísto zátěžových testů modeluje farmakologicky.

Hlavní sledované zátěžové kardiorepirační parametry a jejich význam při zátěžovém testování dětských pacientů

Maximální spotřeba kyslíku

(VO₂max, VO₂peak) [ml * kg⁻¹ * min⁻¹]

Vyjadřuje maximální schopnost aerobně produkovat makroergní fosfáty, je globálním ukazatelem výkonnosti celého transportního systému pro dýchací plyny od zevního

prostředí až po intracelulární transport. Protože hlavním orgánem, podléjícím se na zvýšení spotřeby kyslíku proti klidu jsou příčně pruhované svaly, vyjadřuje $VO_2\max$ zároveň také schopnost pacienta zapojit najednou velmi intenzivně co nejvíce motorických jednotek na dobu řádově minut a krátkodobě vzdorovat ochranným centrálním inhibičním reflexům - centrální i periferní akutní únavě. Je do určité míry funkcí použitého zátěžového protokolu a má být vždy uváděna s respiračním výměnným koeficientem (R) - aktuálním poměrem objemu vydýchaného oxidu uhličitého proti přijatému kyslíku - jako mírou motivace a schopnosti vzdorovat akutní únavě. Za maximální zátěž lze v praxi u dítěte považovat R větší než 0,97 až 1. Pokud ale dítě zpočátku hyperventilovalo jako součást anxiózní reakce na zátěžové vyšetření, ztrácí koeficient značnou část výpočetní hodnoty proti vyšetření u dospělého.

Ačkoliv v některých případech zdravé dětské populace koreluje $VO_2\max$ lépe s výškou či povrchem těla (10), vyjadřuje se z praktických důvodů nejčastěji ve vztahu k hmotnosti.

Vzhledem k vyššímu emočnímu ovlivnění během zátěžového vyšetření závisí výsledek u dětského pacienta proti dospělému podstatně více na jeho momentální náladě. Tím lze také vysvětlit horší reprodučibilitu a větší rozptyl normálních hodnot. V případě maximální spotřeby kyslíku je při opakovaném vyšetření dětí rozptyl hodnot při identickém postupu vyšetření podstatně vyšší než rozdíl mezi měřeními v maximálním rovnovážném stavu ($VO_2\max$) a použitím strmě zvyšované zátěže ($VO_2\text{peak}$). Diskuse o tom, co je - a co není " $VO_2\text{peak}$ ", " $VO_2\max$ ", je tedy v dětské zátěžové fyziologii proti dospělým méně významná. Na rozdíl od dospělé populace je také riziko spojené s maximální zátěží menší, zejména pokud maximální stupeň zátěže trvá méně než 5 minut.

Technika měření $VO_2\max$ a její sporná místa

$VO_2\max$ měříme pomocí mnoha typů analyzátorů koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého, využívajících různých fyzikálních principů. Podstatnou vlastností je (kromě přesnosti, stability a odolnosti proti rychlým změnám tlaku a vlhkosti) jejich reakční doba. Pomalé analyzátory mají v dětské zátěžové diagnostice značnou nevýhodu v nutnosti udržet pacienta ve vysoké intenzitě zátěže podstatně déle nebo přizpůsobit celou analýzu dětskému věku, za cenu neúměrného zvýšení pracnosti vyšetření (metoda malých Douglasových vaků, případně analýza z odsávače o konstantním průtoku, kde pacient je připojen paralelně - dýchá z části proudícího vzduchu, nelze stanovit ventilaci). Nevhodná volba analyzátoru (daná ekonomicky) si může vynutit i uzpůsobení zátěžového protokolu - vyloučit zátěž s rychlým vzestupem spotřeby kyslíku - a ovlivnit tak porovnatelnost i reprodučibilitu výsledku. Se stoupající dobou, po kterou dítě dýchá do náústku, rapidně klesá jeho motivace k maximálnímu výkonu. Děti mají proti dospělým rovněž častěji negativní emoce v souvislosti s náústkem, subjektivně lépe tolerují masku. Vzhledem k menší velikosti dechového objemu ale stoupá význam minimalizace mrtvého prostoru masky.

Krevní tlak při zátěži (TK) [mmHg] - oficiální jednotky [kPa] se neujaly

TK je funkcí srdečního výdeje a cévního pružníku. V dynamické zátěži (a za tu lze přinejmenším bicyklovou ergometrií až do submaximální intenzity považovat) stoupá systolický krevní tlak, klesá nebo stagnuje tlak diastolický.

Měření krevního tlaku v zátěži je nutno interpretovat dle norem v závislosti na věku, intenzitě a typu tělesné zátěže (statická či dynamická). Auskultační měření diastolického TK je v zátěži i u dospělých při vysokých průtocích pažní tepnou zatíženo neúnosnou chybou (4). Současná zátěžová doporučení Americké kardiologické společnosti pro dětský věk (13) neuvádějí vlastně žádné konkrétní hranice normálních hodnot. Konstatují jen, že maximální systolický tlak jen zřídka překročí 200 mmHg a že nejsou známky akutního nebezpečí ani při dosažení tlaku 250 mmHg. Hodnoty diastolického krevního tlaku, jejichž nespolehlivost měření v zátěži shodně s našimi zkušenostmi zdůrazňují, považují za neobvyklé, už když překročí klidové hodnoty.

U pacientů, jejichž zátěžové vyšetření dnes indikují většinou dětské kardiologové, se problematika týká esenciální hypertenze, u vrozených srdečních vad pak zejména insuficience aortální chlopně a koarktace aorty. (Právě pro možnost nediodagnostikované koarktace měříme TK u dětí a adolescentů na pravé paži). V obou případech vada nebývá spojena s dysfunkcí sinoatriálního uzlu, takže tepová frekvence reaguje na zátěž normálně. Můžeme tedy používat také zátěžových norem TK vztažených k pohlaví, věku a tepové frekvenci.

Zátěžové normy krevního tlaku v dynamické zátěži.

Z řady technických příčin (závislost na typu protokolu - kdy např. během na běhátku s nastaveným sklonem vzniká "směs" statické a dynamické zátěže -, závislost na okamžiku měření, automatické versus auskultační techniky a další) jsou normy TK dosud málo spolehlivým pomocníkem v zátěžovém testování dětí. Alpert ve známé Rowlandově monografii o laboratorním zátěžovém testování dětí (9) cituje vesměs normy na běhátku, přičemž u vlastních norem (1) maximální hodnoty zdravé populace vztahuje na plochu těla a udává je zvlášť pro bílou a barevnou populaci, chlapce a děvčata. Systolický TK v maximální zátěži [TKmax] těchto norem roste dle plochy těla, a to až do 210 mm Hg u dívek černé populace.

Naše laboratoř má k dispozici vlastní nepublikované normy, podmnožinu vyšetření Mezinárodního biologického programu (IBP) (11). Naše průměrné hodnoty jsou na rozdíl od výsledků multicentrické studie IBP u některých věkových kategorií poněkud vyšší (do 10 mmHg, nejvíce u 14 letých dívek), což si vysvětlujeme důsledným měřením do 5 tepů po zastavení. Hodnoty se s chybou do 10 mmHg kryjí s hodnotami Mezinárodního biologického programu.

Oficiální normy IBP uvádíme ve zkrácené formě v tabulce Tab. 1.

Normy jsou již 30 let staré, navíc vzešlé z dnes již málo používaného, ne zcela vyhovujícího zátěžového protokolu. Jejich nová verze v omezeném rozsahu věkových kategorií 12 a 15 let bude dokončena během dvou let.

Tab. 1. Hodnoty systolického krevního tlaku při maximální zátěži dle výsledků Mezinárodního biologického programu [mmHg].

Věk (roky)	MUŽI		ŽENY	
	x	X + 2SD	x	X + 2SD
11	134	180	138	176
13	146	192	144	182
15	153	199	146	184
17	158	204	151	191
19	162	208	154	192
21	164	210	156	194
23	166	212	158	196
25	168	214	159	199

Značně benevolentní normy finské dětské a adolescentní populace (12) jsou poněkud nevýhodně vztahované nikoliv na intenzitu zátěže, ale na tepovou frekvenci. Nejsou tedy použitelné u pacientů s dysfunkcí SA uzlu, pod clonou betablokátorů či pacemakerem s vlastním algoritmem pacingu. Uvádíme ve zkrácené formě v tabulce 2.

Vhodnou formu normálních zátěžových hodnot pro zátěž na ergometru u dětí nad 11 let udává také Nordgreen et al. (7). V jejich podání je vzestup systolického krevního tlaku v zátěži lineární funkcí *Intenzity zátěže* v rovnovážném stavu. Pro vzestup systolického tlaku proti klidu (deltaTKs) platí:

$$\text{deltaTKs [mmHg]} = 19,5 * \text{zátěž [W.kg}^{-1}\text{]}.$$

Horní mez TKs pro danou zátěž udávají graficky jako pás spolehlivosti téměř lineární nad průběhem průměrného vzestupu a to o 30 mmHg. Z toho lze odvodit hraniční hodnotu systolického krevního tlaku (TKshran) [mmHg]:

$$\text{TKshran} = \text{TKs klidový} + \text{zátěž [W.kg}^{-1}\text{]} * 19,5 + 30.$$

Krevní tlak při statické zátěži

TK je jediný běžně měřený parametr, jehož hodnotu porovnáme při zatížení pacienta dvěma různými typy zátěže - dynamickou a statickou. Ke statickému zatížení je používán nejčastěji ruční dynamometr. Statickou zátěž modelujeme v laboratorních podmínkách kontinuální statickou kontrakcí fázických svalů horní končetiny flexorů prstů levé ruky (je sporné, zda měřit na dominantní či nedominantní končetině - podle našich zkušeností je v tlakové odpovědi jen malý rozdíl). Sílu stisku kontrolujeme upraveným mechanickým ručním dynamometrem. Měříme krevní tlak na pravé paži těsně před uvolněním stisku pro vyčerpání, obvykle okolo 3. minuty, při zátěži intenzity jedné třetiny maximální volní kontrakce, kterou měříme těsně před zahájením testu. Dle vlastních laboratorních norem pokládáme za hraniční krevní tlak u školních dětí 170/115 mmHg, u adolescentů 180/120

Tab. 2. Normy krevního tlaku dětské a adolescentní populace Finska (zkráceno).

	CHLAPCI		postpubertální	
	TKs	TKd	TKs	TKd
KLID	88-136	52-88	99-151	54-90
HR110	95-151	54-74	113-173	46-86
HR 150	105-173	45-81	132-204	29-89
HR 170	110-182	35-91	142-214	22-90
	DÍVKY		postpubertální	
	TKs	TKd	TKs	TKd
KLID	88-132	55-87	93-145	55-91
HR110	93-149	35-95	102-154	52-84
HR 150	99-163	44-84	121-181	46-86
HR 170	107-171	37-89	130-190	40-88

Udán rozsah normálních hodnot systolického (TKs) a diastolického (TKd) krevního tlaku [mmHg], tedy průměr - 2SD a průměr + 2SD, v klidu a při různých intenzitách zátěže vyjádřené tepovou frekvencí (HR).

mmHg. Vlastním laboratorním normám dáváme přednost pro značnou závislost zjištěného TK na provedení testu a na mechanických vlastnostech dynamometru. Průměrná doba výdrže je okolo tří minut. Padesát procent maximální volní kontrakce (zátěž u dospělých obvyklejší) dětští pacienti nebyvají schopni držet s dostatečnou přesností.

Parametry odvoditelné z elektrokardiogramu (EKG)

Hodnocení elektrokardiogramu v zátěži nelze oddělit od interpretace klidové křivky, která je pro potřeby dětských kardiologů shrnuta ve vynikající monografii Janouškové (3).

Podrobnosti ze zátěžového EKG by přesáhly rámec této práce. Ve stručnosti si pouze vyjmenujme hlavní skupiny parametrů, které ze změn zátěžového EKG u dětských kardiologických pacientů odvozujeme:

- tepovou frekvenci (HR) na jednotlivých stupních zátěže
- poruchy rytmu z poruchy tvorby i vedení vzruchu
- poruchy repolarizační fáze
- dynamiku klidových patologických nálezů v zátěži
- ověření některých typů poruch rytmu z 24 hodinového záznamu EKG dle Holtera
- rovnováhu vegetativních regulací z variability srdeční frekvence před a po zátěži (klinické aplikace z měření variability srdeční frekvence jsou prozatím převážně z oblasti kardiologie dospělých (5)).

Zmíňme se nyní o technických aspektech a o těch parametrech odvoditelných z EKG, které nejsou běžně hodnoceny při klidovém EKG záznamu.

Technika měření zátěžového EKG u dětí

V principu se neliší od zátěžového EKG dospělých. Preferujeme vakuem přisávané drobné elektrody před samolepicími, jejichž snímání menší děti tolerují nejhůř z celého zátěžového testu.

Modifikace klidového umístění elektrod dle Masona a Likara (6), běžná ze zátěžového EKG dospělých, je většinou plně funkční i u dětí. U stavů s přetížením pravé komory monitorujeme ještě svod V4 R (zrcadlový obraz svodu V4).

Tepová frekvence

(HR) [tepů * min⁻¹]

Je nejsnáze a nejpřesněji měřitelný parametr nepřímou svědčící o dynamice srdečního výdeje v *záleži*.

Vyšší tepová frekvence v normované submaximální zátěži znamená za fyziologických podmínek vyšší tonus sympatiku, kompenzující nižší systolický objem a/nebo vyšší nároky na čerpací práci srdce při dané intenzitě zátěže u méně zdatného jedince. Za patologických okolností pak HR v zátěži neúměrně strmě stoupá při nižší transportní kapacitě krve pro kyslík, patologicky nízké tělesné zdatnosti, při poruchách rytmu srdečního a z řady dalších, méně častých příčin.

V praxi pak hodnotíme, zda reakce HR na zátěž odpovídá pohybové anamnéze, výkonnosti a hemodynamickému stavu pacienta.

Maximální tepová frekvence

(HRmax) [tepů * min⁻¹]

Je nejvyšší HR, naměřená obvykle v okamžiku ukončení *záleže* pro vyčerpání. Je-li měřena kardiotačometrem, nutno vždy ověřit, zda není klouzavým průměrem z většího počtu tepů (tedy zda se shoduje údaj kardiotačometru a ručně naměřené hodnoty z EKG). Naměřenou hodnotu HR porovnáváme s normami dle věku, korigovanými na typ zátěžového protokolu. Pokud je HR v mezích normy, svědčí o dobré schopnosti sinoatriálního uzlu akcelarovat v zátěži. Pokud je pod dolní mezí normy, nutno zvážít, zda pacient dosáhl objektivně maximálního výkonu, jakého je schopen.

Norma pro HRmax se odvozuje ze vzorce, platného pro maximální intenzitu běhu: Průměrná hodnota HRmax = 220 - věk.

Směrodatná odchylka HRmax je asi 15 tepů (průměr z řady publikovaných norem). Z toho vyplývá například pro dítě ve věku 12 let dolní mez HRmax při běhu 220 - 12 -(2*15), tedy 178 tepů.

HRmax při běhu je o 5-10 tepů za minutu vyšší než při jízdě na kole a o 20 i více tepů za minutu vyšší než při plavání. Od 12 do 25 let je HRmax žen na ergometru o 3-6 tepů vyšší než u mužů. Podle toho je nutné vzorec pro výpočet normálních hodnot HRmax korigovat.

Maximální tepová frekvence nezávisí na tělesné zdatnosti a klesá s věkem.

Tepová frekvence v lehké a střední intenzitě dynamické zátěže

[tepů * min⁻¹]

Vyjádřená v Z skóre (rozdíl průměrné a skutečné

hodnoty, dělený směrodatnou odchylkou normy) je nepřímou úměrná zdatnosti za předpokladu, že maximální tepová frekvence je prokazatelně v pásmu normálních hodnot. Na nižší zátěži se do ní mohou více promítat i psychogenní vlivy (strach z vyšetření u neurotických pacientů). Nicméně velikost směrodatných odchylek vzhledem k průměru (variační koeficienty) tepových frekvencí všech věkových skupin od 12 let po 55 let zůstávají konstantní okolo 10 procent na všech stupních zátěže až do submaxima (8).

Indexové parametry s tepovou frekvencí a výkonem

Indexy výkonnosti W170, W150, W130 [W], [W*kg⁻¹]

Udávají intenzitu zátěže (v rovnovážném stavu), při které má pacient v indexu udanou tepovou frekvenci. I při vyjádření v závislosti na kilogram hmotnosti (W170* kg⁻¹) nemají zřejmě tyto indexy o nic větší výpovědní hodnotu než v Z - skóre vyjádřená tepová frekvence na standardizované zátěži (zátěž v rovnovážném stavu dávkovaná ve Watech na kilogram hmotnosti). U dětí pro ně není téměř žádné opodstatnění.

Příklad: u pacienta po totální korekci Fallotovy tetralogie, který i s dysfunkcí SA uzlu má při maximální tepové frekvenci 149 tepů * min⁻¹ a maximální spotřebu kyslíku lehce nad populačním průměrem, vychází index W170 na úrovni závodního cyklisty světové třídy, jelikož extrapolujeme do oblasti tepové frekvence nad jeho skutečný maximální výkon.

Platnost norem HR u dětských pacientů s chorobami oběhového systému.

U zdravých dětí lze srdeční práci hodnotit primárně na základě velikosti srdečního výdeje, ve velkém rozsahu dynamické zátěže jim střední arteriální tlak stoupá jen málo, lze říci, že v intenzitách zátěže, kde se systolický objem nemění, tepová frekvence je hlavním ukazatelem srdečního výdeje a také srdeční práce. Stoupá lineárně s intenzitou dynamické zátěže. Řada těchto premis ale u pacientů s oběhovými postiženími neplatí. Veškeré závěry platné pro zdravou populaci lze aplikovat pouze za těchto předpokladů:

- není přítomna arytmie
- sinoatriální uzel akcelaruje ve stejném rozsahu tepové frekvence jako u zdravé populace.
- systolický objem srdeční stoupá zhruba o třetinu proti klidové hodnotě již při středním vzestupu žilního návratu a zvýšeném tonu sympatiku vyvolanými dynamickou *záleží* a dále se nemění. Tento předpoklad neplatí při hemodynamicky významných stenózách či regurgitacích chlopní, stavech se zhoršenou kontraktilitou srdeční a u řady hemodynamicky významných srdečních vad.

Na závěr poznámek o EKG ještě parametr, který je při zátěži nutno proti klidu hodnotit odlišně. Podle doporučení Americké kardiologické společnosti (13) nelze hodnotit ST segment u dětí se syndromem preexcitace, bloky ramének a komorovým pacemakerem, s čímž se autoři této práce zcela neztotožňují. Zejména po dříve používané chirurgické korekci transpozice velkých cév na úrovni síní (málo logicky nazývané "fyziologická korekce TGA"), kdy zůstává trvale systémovou komorou pravá, lze alespoň z části

depresi ST segmentu hodnotit i při bloku pravého raménka Tawarova. Z evidentní zátěžové progresy deprese ST v závislosti na intenzitě zátěže lze u systémové pravé komory usuzovat na míru jejího přetížení.

Tepový kyslík

[ml* tep⁻¹ * kg⁻¹]

Množství kyslíku, transportované jedním stahem srdce.

Je to indexový parametr, svědčící v zátěžové fyziologii zdravých jedinců nepřímo o velikosti systolického objemu srdečního.

Pokud není vyjádřen na kilogram hmotnosti, tedy pokud je udáván pouze podíl VO₂/HR na dané *záleži*, nelze jej porovnávat s hodnotami jiných pacientů, protože je přímo úměrný hmotnosti pacienta. (Budou-li dva pacienti s identickou výkonností a maximální tepovou frekvencí, jeden 150 cm a 50 kg, druhý 200 cm a 100 kg, pak větší z nich vykazuje dvojnásobný tepový kyslík, ale nemá přitom lepší adaptaci oběhu a zřejmě ani přesně dvojnásobný systolický objem srdeční.)

Někteří autoři (2) uvádějí tepový kyslík jako nepřímý ukazatel systolického objemu srdečního u pacientů po chirurgické korekci vrozených srdečních vad. Vyšší tepový kyslík přitom bývá často mylně interpretován jako známka vyššího systolického objemu.

Teprve tepový kyslík dělený hmotností pacienta [VO₂/kg/HR] je indexem, který svědčí nepřímo o velikosti systolického objemu srdečního, pokud pacient nemá sníženou akceleraci HR v zátěži a pokud vyjdeme z premisy (spíše tradované, než exaktně ověřené), že periferní extrakce kyslíku a živin je tou proměnnou, jejíž zvýšení přichází až na posledním místě v časovém sledu regulací oběhu.

Minutová ventilace

(VE) [l * min⁻¹ BTPS]

Nebývá v dětské zátěžové fyziologii příliš využívána, s výjimkou změn dynamiky pro stanovení anaerobního prahu. Směrodatná odchylka normálních hodnot zdravé dětské populace je příliš velká: například (z norem IBP) : dívky 12 let mají na zátěži 2 W/kg minutovou ventilaci 33,3 SD 8 litrů, v rozsahu normálních hodnot je tedy (za předpokladu normální distribuce hodnot) výsledek od 17,3 do 49,3 litrů za minutu. I po znormování na věk, pohlaví a hmotnost není výsledek příliš homogennější (variační koeficient se zlepšil ze 24 na 21 procent), do normálních hodnot "zapadnou" vrcholoví sportovci i pacienti s těžkou poruchou transportu či výměny dýchacích plynů. V dětském věku je rovněž patrná větší tendence k hyperventilaci v prvních minutách po nasazení náústku a u labilnějších dětí dlouhodobě (opakované vyšetření neurotického dítěte, které již překonalo strach z vyšetření ukazuje na submaximálních zátěžích podobnou spotřebu kyslíku, ale podstatně menší minutovou ventilaci a nižší

RQ). Použití masky problém hyperventilace zčásti odstraní, přibude ale technicky obtížné ověřování těsnosti masky a vzrůstá podstatně mrtvý prostor měřicího systému. U dospělých občas používané měření dechové rezervy (percentuální porovnání ventilace v maximální zátěži ku maximální volní ventilaci) nelze u dětí provádět pro zvýšenou pohotovost ke křečím při měření maximální volní ventilace.

V této první části byly probrány základní ukazatele zjišťované při zátěžovém vyšetření u dětí, jejich validita a interpretační odlišnosti proti dospělým. V další části budou probrány častěji zmiňované odvozené parametry a dynamika jejich změn v zátěži.

Literatura

1. Alpert BS, Flood NL, Strong WB, et al: Responses to ergometer exercise in a healthy biracial population of children. *J Pediatr* 1982;101:538-45.
2. Douard H, Labbe L, Barrat JL, Broustet JP, Baudet E, Choussat A. Cardiorespiratory response to exercise after venous switch operation for transposition of great arteries. *Chest* 1997;111:23-9.
3. Janoušek J. EKG a dysrytmie v dětském věku. Praha: H + H, 1993.
4. Kaijser L. The indirect method of recording blood pressure during exercise - can the diastolic pressure be measured? *Clin Physiol* 1987;7:175-9.
5. Malik M, Camm J, eds. Heart Rate Variability. Armonk NY, USA: Futura Publishing, 1995.
6. Mason RE, Likar I. A new system of multiple - lead exercise electrocardiography. *Am Heart J* 1966;7:196-205.
7. Nordgreen H, Freyschuss U, Persson B. Blood pressure response to physical exercise in healthy adolescents and adolescents with insulin - dependent diabetes mellitus. *Clin Sci* 1994;86:425-32.
8. Radvanský J. Tabulky hodnot některých fyziologických parametrů ve vztahu k zátěžové intenzitě. In: Macek M, Vávra J, eds. Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže. Praha: Avicenum 1988:229-32.
9. Rowland TW, ed. Pediatric Laboratory Exercise Testing: Clinical Guidelines. Champaign IL, USA: Human Kinetics, 1993.
10. Rutenfranz J, Macek M, Lange Andersen K, et al. The relationship between changing body height and growth related changes in maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol* 1990;60:282-7.
11. Seliger V, Bartůněk Z, eds. Mean values of various indices of physical fitness in the investigation of Czechoslovak population aged 12-55 years. Praha: UV CSTV-Olympia Sportprint, 1976.
12. Wanne OPS, Haapoja E. Blood pressure during exercise in healthy children. *Eur J Appl Physiol* 1988;58:62-7.
13. Washington RL, Bricker JT, Alpert BS, et al. Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. AHA Medical/Scientific Statement. *Circulation* 1994;90:2166-79.

MUDr. Jiří RADVANSKÝ, CSc.

Klinika tělovýchovného lékařství FNM a 2. LF UK
V Úvalu 84
150 00 Praha 5 Motol