

SPIROERGOMETRIE V KARDIOLOGII A SPORTOVNÍ MEDICÍNĚ

František Várnay, Pavel Homolka
Leona Mífková, Petr Dobšák

SPIROERGOMETRIE V KARDIOLOGII A SPORTOVNÍ MEDICÍNĚ

**František Várnay, Pavel Homolka
Leona Mífková, Petr Dobšák**

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

SPIROERGOMETRIE V KARDIOLOGII A SPORTOVNÍ MEDICÍNĚ

František Várnay, Pavel Homolka, Leona Mířková, Petr Dobšák

Autoři:

MUDr. František Várnay, CSc.

MUDr. Pavel Homolka, Ph.D.

Mgr. Leona Mířková, Ph.D.

Prof. MUDr. Petr Dobšák, CSc.

Do kapitoly 9.1 přispěli:

Doc. MUDr. Tomáš Kára, Ph.D.

Přemysl Panuška

Recenze:

MUDr. Jiří Dostal

MUDr. Zdeněk Merta, CSc.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2020

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2020

Ilustrace a obrázky do knihy dodali autoři.

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7542. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. et Mgr. Olga Kopalová

Sazba a zlom Jan Šístek

Počet stran 312

1. vydání, Praha 2020

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-1447-4 (pdf)

ISBN 978-80-271-2552-4 (print)

Hlavní autoři

MUDr. František Várnay, CSc. – kardiolog, emeritní primář interních oddělení, ambulantní kardiolog Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace Lékařské fakulty Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, t. č. externí konzultant pro spiroergometrické vyšetření Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny.

MUDr. Pavel Homolka, Ph.D. – tělovýchovný lékař, vedoucí lékař oddělení funkční diagnostiky Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně. Odborný asistent Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU v Brně. V roce 2017 předseda zdravotní komise Českého veslařského svazu. V roce 2014 studijní pobyt na Mayo Clinic, Division of Cardiovascular Diseases, Rochester, Minnesota, USA.

Mgr. Leona Mífková, Ph.D. – fyzioterapeutka specializující se profesně i publikačně na kardiovaskulární rehabilitaci, patří k zakladatelům pracoviště kardiovaskulární rehabilitace Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně, kde t. č. pracuje. Odborná asistentka Katedry fyzioterapie a rehabilitace LF MU.

Prof. MUDr. Petr Dobšák, CSc. – internista a patofyziolog, přednosta Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně a Katedry fyzioterapie a rehabilitace. Odborné zaměření na rehabilitaci ve vnitřním lékařství a neinvazivní diagnostiku chorob kardiovaskulárního systému.

Příspěvatelé

Doc. MUDr. Tomáš Kára, Ph.D. – kardiolog, v roce 2017 místopředseda zdravotní komise Českého veslařského svazu, odborný konzultant Českého olympijského výboru a Slovenského olympijského výboru, Centrum kardiovaskulární a transplantační chirurgie, Brno, t. č. interní oddělení Nemocnice Milosrdných bratří, Brno a Division of Cardiovascular Diseases, Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, USA.

Přemysl Panuška – absolvent FTVS UK, ústřední trenér Českého veslařského svazu v letech 2000–2014, trenér Německého veslařského svazu v letech 2015–2018, t. č. metodik Českého veslařského svazu.

Seznam použitých zkratk	11	3	Základní parametry sledované při spiroergometrii (Várnay F., Mířková L.)	31
Vzpomínka	16	3.1	Průběh dechového objemu, dechové frekvence a minutové ventilace – od mírných nepravidelností až po oscilující ventilaci při zátěži (EOV) (Várnay F.)	33
Úvod	17	3.1.1	Základní mechanizmy regulace dýchání	34
1 Transportní systém a fyziologická odezva organismu na zatížení (Dobšák P.)	19	3.1.1.1	Chemosenzitivní receptory	34
1.1 Úvod	19	3.1.1.2	Respirační centra	35
1.2 Energetické zdroje pro svalovou práci (ATP-CrP systém, anaerobní glykolýza, aerobní fosforylace)	19	3.1.1.3	Další faktory ovlivňující regulaci dýchání	36
1.2.1 Okamžité energetické zdroje (ATP-CrP systém)	20	3.1.2	Regulace dýchání při svalové práci	36
1.2.2 Neoxidativní (glykolytické) energetické zdroje	20	3.1.3	Regulace dýchání při metabolické acidóze (laktátové nebo i jiného původu)	37
1.2.3 Oxidativní energetické zdroje	21	3.1.4	Regulace ventilace při rampovém spiroergometrickém testu	37
1.3 Transportní systém a celulární respirace	22	3.1.5	Průběh dechového objemu, dechové frekvence a ventilace při spiroergometrickém testu s rampovým protokolem	38
1.3.1 Celulární respirace a bioenergetické procesy během zátěže	22	3.1.6	Výskyt narušené regulace dýchání a její formy	44
2 Praktické provedení spiroergometrického vyšetření (Homolka P.)	25	3.1.7	Přehled základních variant definice oscilujícího dýchání při zátěži (EOV)	45
2.1 Indikace spiroergometrie	25	3.1.7.1	Postup analýzy při hodnocení oscilujícího dýchání při zátěži (EOV)	45
2.2 Kontraindikace spiroergometrie	25	3.1.7.2	Prognostický význam EOV u chronického srdečního selhání	53
2.3 Laboratorní podmínky	26	3.2 Příjem kyslíku (VO₂) (Várnay F.)	55	
2.3.1 Prostředí laboratoře	26	3.2.1	Kinetika VO ₂ a průběh křivky VO ₂ při rampovém spiroergometrickém vyšetření	55
2.3.2 Bezpečnostní opatření	26	3.2.1.1	Krytí energetických potřeb pro svalovou práci a kinetika VO ₂ v zátěžové a zotavovací fázi rampového spiroergometrického vyšetření	55
2.3.3 Personál	26	3.2.1.2	Průběh křivky VO ₂ v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření	55
2.3.4 Technické vybavení	26	3.2.2	Maximální aerobní kapacita a možnosti posouzení jejího omezení	60
2.4 Postup před zátěžovým testem	27	3.2.3	Přehled grafů, na kterých se vyskytuje příjem kyslíku (VO ₂)	63
2.5 Sledování během zátěže	27			
2.5.1 Důvody ukončení spiroergometrického vyšetření	27			
2.6 Postup po ukončení zátěže a péče o pacienta po testu	28			
2.7 Zátěžové zdroje a protokoly	28			

3.3 Výdej oxidu uhličitého (VCO₂) (Várnay F.)	63	3.6.3 Význam hodnoty RER _{peak} pro posouzení míry metabolického vytížení při spiroergometrickém vyšetření	113
3.3.1 Průběh křivky VCO ₂ v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření	64	3.7 Ventilační ekvivalenty (EQ) (Várnay F.)	114
3.3.2 Vyšší hodnoty VCO ₂ v klidu i během zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření	67	3.7.1 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů v zátěžové části spiroergometrického vyšetření	115
3.3.3 Vzájemné porovnání kinetiky VCO ₂ a VO ₂ pomocí regresních rovnic a směrnice VO ₂ a VCO ₂	70	3.7.1.1 Grafické zobrazení a popis normálního průběhu ventilačních ekvivalentů (EQ) v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření	116
3.3.4 Exces CO ₂ – matematický výpočet a graf ExCO ₂	72	3.7.1.2 Popis a grafické zobrazení několika abnormálních křivek ventilačních ekvivalentů (EQ) při spiroergometrickém vyšetření	120
3.3.5 Přehled grafů, na kterých se vyskytuje výdej oxidu uhličitého (VCO ₂)	75	3.7.2 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření	130
3.4 Minutová ventilace (VE) (Várnay F.)	76	3.7.3 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů při oscilující ventilaci	135
3.4.1 Průběh křivky VE při rampovém spiroergometrickém vyšetření	77	3.8 Parciální tlak kyslíku na konci výdechu (PETO₂) a parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu (PETCO₂) (Várnay F.)	136
3.4.2 Podmínky a postup při analýze přiměřenosti ventilace	78	3.8.1 Úvod a vysvětlení zkratk	136
3.4.3 Prezentace postupu analýzy minutové ventilace u konkrétního pacienta	81	3.8.2 Průběh PETO ₂ a PETCO ₂ při rampovém spiroergometrickém vyšetření a jeho grafické zobrazení	139
3.4.4 Demonstrace různých „nástrah“ při analýze přiměřenosti ventilace	84	3.8.2.1 Průběh PETCO ₂	139
3.4.5 Hypoventilace	90	3.8.2.2 Průběh PETO ₂	140
3.4.5.1 Hypoventilace u obezity (OHS – obesity hypoventilation syndrome)	91	3.8.2.3 Grafické zobrazení průběhu PETCO ₂ a PETO ₂	140
3.4.5.2 Relativní hypoventilace vzhledem k extrémně vysoké hodnotě maximálního dosaženého výkonu (W _{peak}) u velmi výkonného sportovce	94	3.8.3 Jak postupovat v případě nedostupnosti grafu s optimalizovanými osami	147
3.4.6 Přehled grafů, na kterých se vyskytuje minutová ventilace (VE)	95	3.8.4 Přínos PETCO ₂ pro diagnostiku a stratifikaci plicních a kardiovaskulárních nemocí	147
3.5 VE/VCO₂ slope (Várnay F.)	96	3.9 Oxygen uptake efficiency slope (OUES) (Várnay F.)	150
3.5.1 Úvod	96	3.9.1 Obecné pojednání o vztahu VO ₂ a VE	150
3.5.2 Rozbor metodiky VE/VCO ₂ slope, konstrukce grafu a výpočet	97	3.9.2 Definice, referenční hodnoty, výpočet a konstrukce grafu OUES	152
3.5.2.1 Úskalí analýzy VE/VCO ₂ slope – přítomnost oscilující ventilace při zátěži (EOV)	99	3.9.3 Analýza a význam OUES	153
3.5.2.2 Závislost VE na VCO ₂ v zotavovací (recovery) fázi spiroergometrického vyšetření	100	3.10 Srdeční frekvence (Mířková L.)	159
3.5.2.3 Abnormality VE/VCO ₂ slope a jejich možné příčiny	103	3.10.1 Průběh srdeční frekvence při spiroergometrickém vyšetření	159
3.5.3 Posouzení přiměřenosti ventilace (VE) k výdeji oxidu uhličitého (VCO ₂) pomocí ventilačního ekvivalentu pro CO ₂ (EQCO ₂)	103	3.10.2 Nepravidelnosti průběhu srdeční frekvence během spiroergometrického vyšetření	161
3.6 Poměr respirační výměny (RER) (Várnay F.)	106	3.10.3 Srdeční frekvence při preskripci intenzity pohybových aktivit	164
3.6.1 Popis průběhu poměru respirační výměny v zátěžové i zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření	106	3.11 Krevní tlak (Mířková L.)	164
3.6.2 Příklady abnormálního průběhu poměru respirační výměny	110	3.12 Systolický a minutový objem srdeční, tepový kyslík (Várnay F.)	167
		3.12.1 Systolický a minutový objem srdeční	167
		3.12.2 Tepový kyslík (VO ₂ /SF)	173

3.12.2.1	Jaké jsou možnosti a úskalí při odhadování srdečního výdeje pomocí tepového kyslíku?	173
3.12.2.2	Referenční hodnoty tepového kyslíku ($\text{refVO}_2/\text{SF}_{\text{max}}$)	175
3.13	Elektrokardiografie (Várnay F.)	179
3.13.1	Úvod	179
3.13.2	Základní pojmy pro popis ST úseku	180
3.13.3	Fyziologické změny EKG při zátěži	181
3.13.4	Diagnostické EKG změny svědčící pro ischemii myokardu	182
3.13.5	Arytmie během zátěže	182
3.14	Subjektivní odhad vnímání intenzity zátěže a hodnocení potíží (Mífková L.)	182
3.15	Indexy výkonnosti (Mífková L.)	184
3.15.1	Výkon	184
3.15.2	Kritický výkon	185

4 Ventilací prahy a jejich stanovení, laktátové prahy (Várnay F.) 193

4.1	Obecný úvod k energetickému metabolismu	193
4.2	Definice ventilačních prahů a názvosloví	194
4.3	Metody stanovení ventilačních prahů a hodnocení prvního ventilačního prahu	194
4.3.1	Stanovení VT1 metodou ExCO_2	196
4.3.2	Stanovení ventilačních prahů podle průběhu křivky EQO_2 a EQCO_2	196
4.3.3	Stanovení VT1 metodou V-slope	199
4.3.4	Metoda stanovení VT1 a VT2 podle průběhu PET křivek	199
4.3.5	Metoda stanovení VT2 podle WR6 grafu	200
4.3.6	Metoda stanovení VT2 podle VE/VCO_2 slope	200
4.3.7	Úskalí stanovení VT1 a VT2	202
4.3.7.1	Deformovaný průběh V-slope	202
4.3.7.2	VT1 lze stanovit metodou V-slope a ExCO_2 , ale nelze stanovit podle průběhu křivky EQO_2	202
4.3.7.3	Důvody obtížné stanovitelnosti až nemožnosti lokalizace VT2	203
4.4	Laktátové prahy – přehled a vztah k ventilačním prahům	205
4.4.1	Laktát a koncepce aerobně-anaerobního přechodu posuzovaného podle laktátu	205
4.4.2	Aerobní laktátový práh	206
4.4.3	Anaerobní laktátový práh	206
4.4.3.1	Anaerobní laktátový práh typu maximálního laktátového steady state (MLSS)	207
4.4.3.2	Laktátový anaerobní práh (LTAn) stanovený při zvyšující se zátěži stupňovým protokolem	208

5 Hodnocení zotavovací fáze (Várnay F.) 213

5.1	Kinetika příjmu kyslíku během zotavovací fáze spiroergometrického vyšetření ($\text{VO}_{2\text{rec}}$)	214
5.1.1	Hlavní faktory ovlivňující průběh VO_2 recovery	215
5.1.2	Metodika hodnocení VO_2 recovery	216
5.1.2.1	Metoda 1: Hodnocení průběhu křivky $\text{VO}_{2\text{rec}}$	216
5.1.2.2	Metoda 2: Výpočet $\text{VO}_2\text{-REC}_2$ (respektive $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$)	222
5.1.2.3	Metoda 3: Výpočet poločasu $\text{VO}_{2\text{rec}}$ ($\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$)	223
5.1.3	Klasifikace kinetiky VO_2 v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření	223
5.1.4	Příklad konkrétního postupu analýzy průběhu kinetiky VO_2 recovery	225
5.2	Hodnocení srdeční frekvence během zotavovací fáze (HRrec)	229

6 Principy hodnocení výsledku spiroergometrického vyšetření (Várnay F.) 231

6.1	Datové protokoly	231
6.2	Grafické zobrazení parametrů spiroergometrického vyšetření	232
6.3	Souhrnná závěrečná zpráva ze spiroergometrického vyšetření	234

7 Specifika spiroergometrického vyšetření u vybraných kardiologických diagnóz (Várnay F.) 237

7.1	Vazospastická angina pectoris (VSA)	237
7.2	Plicní hypertenze	238
7.3	Chronické srdeční selhání	241
7.4	Stav po ortotopické transplantaci srdce (OTS)	241
7.5	Neobjasněná námahová dušnost (unexplained exertional dyspnea)	242

8 Stanovení intenzity tréninkové zátěže pro kardiologicky nemocné v rámci kardiovaskulární rehabilitace (Mífková L.) 245

8.1	Kardiovaskulární rehabilitace	245
8.1.1	Časná posthospitalizační kardiovaskulární rehabilitace	245
8.1.2	Pokračování posthospitalizační kardiovaskulární rehabilitace (III. fáze – období stabilizace a IV. fáze – udržovací období)	247

8.2	Intenzita zátěže pro trénink kardiologicky nemocných	247	9.1.2	Fyziologický profil veslaře	281
8.2.1	Trénink nad úrovní VT1 v kardiovaskulární rehabilitaci?	250	9.1.3	Spiroergometrie na bicyklovém ergometru v rámci pravidelné preventivní lékařské prohlídky veslaře	282
8.2.2	Proč nestačí pouhé ergometrické vyšetření ke stanovení tréninkových parametrů pro kardiovaskulární rehabilitaci?	251	9.1.4	Současné trendy sledování výkonnosti a optimalizace tréninku veslařů v České republice a ve světě	282
8.3	Pravidla preskripce tréninkové zátěže pro kardiovaskulární rehabilitaci	253	9.1.4.1	Specifické distanční testy na vodě na 2000 m (6000 m)	282
8.3.1	Preskripce konstantní tréninkové zátěže pro kontinuální trénink	253	9.1.4.2	Specifické testování výkonnosti na veslařském ergometru Concept 2	283
8.3.1.1	Kinetika VO_2 při konstantní zátěži	253	9.1.4.3	Stanovení laktátových prahů – testy k určení výkonu na úrovni tzv. „anaerobního prahu (ANP)“ na veslařském ergometru Concept 2	283
8.3.1.2	Způsoby (metodika) stanovení konstantní zátěže pro kontinuální trénink	255	9.1.4.4	Specifické laboratorní testy zaměřené na individuální optimalizaci tréninkového procesu a kontrolu efektu tréninku pomocí spiroergometrie	284
8.3.1.3	Příklady průběhu příjmu kyslíku a srdeční frekvence při kontinuálním tréninku s různými (korigovanými i nekorigovanými) konstantními zátěžemi	256	9.1.4.5	Testování anaerobních schopností	287
8.3.2	Preskripce zátěže pro intervalový trénink	262	9.1.5	Interpretace spiroergometrických parametrů u veslařů	287
8.3.2.1	Postup při výpočtu vykonané práce při kontinuálním tréninku s konstantní korigovanou zátěží a intervalovém tréninku	265	9.1.6	Závěr	289
8.3.2.2	Příklady průběhu příjmu kyslíku a srdeční frekvence při intervalovém tréninku izokalorickém s kontinuálním tréninkem s korigovanou konstantní zátěží	267	9.2	Spiroergometrie v ledním hokeji (Homolka P.)	292
8.3.3	Preskripce zátěže pro excentrický trénink	268	9.2.1	Hokejová zátěž z energetického hlediska	292
8.3.3.1	Různé způsoby a oblasti využití excentrického cvičení, včetně kardiovaskulární rehabilitace	268	9.2.1.1	Hrazení energetických potřeb během střídání na ledě	293
8.3.3.2	Metabolická a kardiovaskulární odezva na excentrickou bicyklovou ergometrii	269	9.2.1.2	Hrazení energetických potřeb během pobytu hokejisty na střídačce (zotavovací fáze)	294
8.3.3.3	Svalové poškození a opožděná bolest svalů po excentrickém tréninku	272	9.2.2	Fyziologický profil hráče	294
8.3.3.4	Adaptace na excentrickou zátěž	272	9.2.3	Spiroergometrické vyšetření hokejistů na bicyklovém ergometru	295
8.3.3.5	Doporučení tréninkových parametrů pro excentrický trénink v rámci kardiovaskulární rehabilitace	273	9.2.4	Testování anaerobních schopností	296
9	Spiroergometrické vyšetření ve sportovní medicíně (Homolka P.)	279	9.2.5	Interpretace spiroergometrických parametrů u hokejistů	296
	Úvod	279	10	Seznam možných variant grafického zobrazení parametrů získaných při spiroergometrickém vyšetření	301
9.1	Spiroergometrie ve veslování (Homolka P., Kára T., Panuška P.)	280	Rejstřík		307
9.1.1	Veslařská zátěž z energetického hlediska	280	Souhrn		309
			Summary		311

Seznam použitých zkratk

aADCO₂ – arterio-alveolární difference oxidu uhličitého
 ACC/AHA – American College of Cardiology / American Heart Association
 ACSM – American College of Sports Medicine
 ADP – adenosindifosfát
 AMP – adenosinmonofosfát
 apexPETCO₂ – nejvyšší hodnota PETCO₂ v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření
 ATP – adenosintrifosfát
 ATP-CrP systém – bezprostřední zdroje energie (ATP – adenosintrifosfát, CrP – kreatinfosfát)
 BL_{A2,0} – dynamicky definovaný fixní anaerobní laktátový práh stanovený jako klidová hodnota laktátu + 1,5 mmol.l⁻¹
 BLC₄ – Blood Lactate Concentration; jedno z označení pro fixní anaerobní laktátový práh (na úrovni koncentrace laktátu 4 mmol.l⁻¹)
 BMI – Body Mass Index
 BNP – natriuretic peptid B; mozkový natriuretický peptid
 BTPS – korekční faktor pro přepočet hodnot ventilace
 C(a-v)O₂ – arterio-venózní difference kyslíku
 CI – cardiac index; srdeční index
 CNS – centrální nervový systém
 CO – cardiac output; minutový objem srdeční (minutový výdej srdeční)
 COPD – chronická obstrukční plicní nemoc (česká zkratka CHOPN)
 CP – Critical Power; kritický výkon
 CPET – spiroergometrické vyšetření
 CPX – spiroergometrické vyšetření
 CrP – kreatinfosfát
 CTEPH – chronická tromboembolická plicní hypertenze
 CTI – chronotropní inkompetence
 ČKS – Česká kardiologická společnost
 ČVS – Český veslařský svaz
 deep EQCO₂ – nejnižší hodnota ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý
 DF – dechová frekvence
 difVO₂ – velikost poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za určitý čas (za 1, 2 nebo 3 minuty) vyjádřeného v ml.min⁻¹.kg⁻¹
 DKK – dolní končetiny
 DOMS – Delayed-Onset Muscle Soreness; opožděná bolestivost svalu
 DRS – dorzální respirační skupina, tj. skupina respiračních neuronů v prodloužené míše
 DTK – diastolický krevní tlak
 EACPR/AHA – European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation / American Heart Association
 ECC – excentrický
 EOv – oscilující ventilace při zátěži
 EQ – ventilační ekvivalenty
 EQCO₂ – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý
 EQCO_{2,rec} – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření
 EQCO_{2VT1 (VT2)} – hodnota ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
 EQO₂ – ventilační ekvivalent pro kyslík
 EQO_{2,rec} – ventilační ekvivalent pro kyslík v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření
 EQO_{2VT1 (VT2)} – hodnota ventilačního ekvivalentu pro kyslík časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
 ExCO₂ – excès oxidu uhličitého
 FAD – flavinadenindinukleotid (oxidovaná forma)

- FADH₂ – flavinadeninindinukleotid (redukována forma)
 FECO₂ – frakční podíl CO₂ ve vydechovaném vzduchu
 FEO₂ – frakční podíl O₂ ve vydechovaném vzduchu
 FETCO₂ – frakční koncentrace CO₂ na konci výdechu (fractions of dray gas volume)
 FETO₂ – frakční koncentrace O₂ na konci výdechu (fractional end tidal oxygen concentration)
 FICO₂ – frakční podíl CO₂ ve vdechovaném vzduchu
 FIO₂ – frakční podíl (koncentrace) O₂ ve vdechovaném vzduchu
 FISA – Fédération Internationale des Sociétés d’Aviron; Mezinárodní veslařská federace
 HI-IT – High Intensity Interval Training; vysokointenzivní intervalový trénink
 HRR – Heart Rate Reserve; rezerva srdeční frekvence
 HRrec – srdeční frekvence v zotavovací (recovery) fázi spiroergometrického vyšetření
 HRreserve – rezerva srdeční frekvence
 CHOPN – chronická obstrukční plicní nemoc (anglická zkratka COPD)
 ChSS – chronické srdeční selhání
 IAeS – Individuelle aerobe Schwelle; individuální laktátový aerobní práh
 IAeT – Individual Aerobic Threshold; individuální laktátový aerobní práh
 ICHS – ischemická choroba srdeční
 ILD – intersticiální onemocnění plic
 IST – intersticiální (extracelulární) tekutina mozkového kmene
 IT – intervalový trénink
 J point – junkční bod, kde na EKG končí QRS komplex a začíná ST segment, míra denivelace ST segmentu
 J60 – bod na izoelektrické linii na EKG vzdálený od bodu J 60 ms
 KMP – kardiomyopatie
 KVR – kardiovaskulární rehabilitace
 LA – laktát (není to kyselina mléčná, ale její aniont, tj. bez H⁺)
 LD (LDH) – laktátdehydrogenáza, tj. oxidoredukční enzym katalyzující reverzibilní přeměnu laktátu na pyruvát
 LT – Lactate Threshold; laktátový práh; společný název pro všechny laktátové prahy
 LTaer – Aerobic Lactate Threshold; aerobní laktátový práh
 LTAn – Anaerobic Lactate Threshold; anaerobní laktátový práh
 LT1 – první (aerobní) laktátový práh
 LT2 – druhý (anaerobní) laktátový práh
 MET – metabolický ekvivalent (spotřeba energie v klidu vsedě), odpovídá 3,5 ml.min⁻¹.kg⁻¹ VO₂
 MLSS – Maximal Lactate Steady State; maximální laktátový steady state, tj. jeden z podtypů anaerobních laktátových prahů určovaný při konstantní zátěži
 mPAP – střední tlak v plicnici
 NAD⁺ – nikotinamidadeninindinukleotid (oxidovaná forma)
 NADH – nikotinamidadeninindinukleotid (redukována forma)
 NT-proBNP – N-terminální frakce BNP
 OBLA/4mM – Onset of Blood Lactate Accumulation; jedno z označení pro fixní anaerobní laktátový práh (na úrovni koncentrace laktátu 4 mmol.l⁻¹)
 OF – odpočinkové fáze intervalového tréninku
 OHS – obesity hypoventilation syndrome
 OTS – ortotopická transplantace srdce
 OUES – oxygen uptake efficiency slope
 PACO₂ – parciální alveolární tlak CO₂ (alveolar partial pressure of carbon dioxide)
 PaCO₂ – parciální tlak CO₂ v arteriální krvi (arterial partial pressure of carbon dioxide)
 PAH – plicní arteriální hypertenze, tj. zvýšený střední tlak v plicnici (mPAP), ale normální tlak v zaklínění (PAWP)
 PAO₂ – parciální alveolární tlak kyslíku (alveolar partial pressure of oxygen)
 PaO₂ – parciální tlak kyslíku v arteriální krvi (arterial partial pressure of oxygen)
 PAWP – pulmonary arterial wadge pressure; tlak v zaklínění plicnice
 P_B – barometrický tlak
 peak – maximální dosažená (vrcholová) hodnota

- peakVE_{osc} – peak hodnota VE oscilační vlny
- P_ECO₂ neboli PeCO₂ – mixed expired PCO₂; průměrná hodnota parciálního tlaku CO₂ během celého expira
- PET – end tidal parcial pressure; parciální tlak na konci výdechu
- PETCO₂ – parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu, tj. nejvyšší hodnota parciálního tlaku (PCO₂) na konci výdechu
- PETCO_{2VT1 (VT2)} – parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- PETO₂ – parciální tlak kyslíku na konci výdechu, obvykle je to nejmenší hodnota během výdechu
- PF – pracovní fáze (intervalového tréninku)
- PH – plicní hypertenze, tj. střední tlak v plicnici (mPAP) je ≥ 25 mm Hg v klidu
- pH – Potential of Hydrogen; potenciál vodíku, tj. číslo, kterým se vyjadřuje, zda vodný roztok reaguje kyselé nebo zásaditě
- PH₂O – parciální tlak vodních par
- P_i – anorganický fosfor
- QCO₂ – produkce oxidu uhličitého na úrovni buňky
- QO₂ – spotřeba kyslíku na úrovni buňky
- RCP – bod respirační kompenzace (jiný názvoslovný výraz pro druhý ventilační práh)
- refDF_{max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota dechové frekvence
- refOUES – referenční (predikovaná) hodnota oxygen uptake efficiency slope
- refSF_{max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota srdeční frekvence
- refVCO_{2max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota výdeje oxidu uhličitého
- refVE_{max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota minutové ventilace
- refVO_{2max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota příjmu kyslíku
- refVO_{2VT1} – referenční (predikovaná) hodnota příjmu kyslíku na úrovni prvního ventilačního prahu
- refVT_{max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota dechového objemu
- refW_{max} – referenční (predikovaná) maximální hodnota výkonu
- RER, R – poměr respirační výměny
- RER_{rec} – poměr respirační výměny v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- RER_{VT1 (VT2)} – hodnota poměru respirační výměny časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- RISTK – restituční index systolického tlaku
- 1-RM – One Repetition Maximum; jednou opakovatelné maximum
- RPE – Rating of Perceived Exertion; hodnocení vnímání intenzity zatížení
- RQ – respirační kvocient
- SD – Standard Deviation; směrodatná odchylka
- SF – srdeční frekvence
- SF_{klid} – klidová (výchozí) srdeční frekvence
- SF_{peak} – maximální dosažená srdeční frekvence
- SF_{trén} – tréninková srdeční frekvence
- SF_{VT1 (VT2)} – hodnota srdeční frekvence časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- SpO₂ – saturace kyslíku v krvi
- STK – systolický krevní tlak
- STK_{REC1} – rychlost poklesu systolického krevního tlaku v 1. minutě zotavovací fáze
- STPD – korekční faktor pro přepočet objemu O₂ a CO₂
- SV – Stroke Volume; systolický (tepový) objem
- SVi – tepový objem vztažený na 1 m² tělesného povrchu
- T1/2(exp) – poločas poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření vypočítaný z exponenciální rovnice
- T1/2 VO_{2rec} – poločas poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TC HR – časová konstanta srdeční frekvence v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TC VO₂ – časová konstanta příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TK – krevní tlak
- trendVE_{nadir} – spojnice všech lokálních minimálních hodnot oscilací VE (nadir bodů)

- VA – alveolární ventilace
- VC – vitální kapacita plic
- VCO₂ – výdej oxidu uhličitého
- VCO_{2peak} – maximální dosažená hodnota výdeje oxidu uhličitého
- VCO_{2rec} – výdej oxidu uhličitého v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VCO_{2startW} – hodnota výdeje oxidu uhličitého na začátku zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření
- VCO_{2VT1 (VT2)} – hodnota výdeje oxidu uhličitého časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- $\Delta VCO_2/\Delta W$ – strmost vzestupu určitého úseku výdeje oxidu uhličitého, která je definována rozdílem dvou vybraných hodnot výdeje oxidu uhličitého a rozdílem dvou příslušných hodnot výkonu (Δ = delta, označuje diferenci mezi dvěma zvolenými body)
- VCO₂/W slope – směrnice strmosti vzestupu výdeje oxidu uhličitého v závislosti na zátěži
- VD – funkční (též fyziologický) mrtvý prostor; physiological dead space
- VDm – mrtvý prostor dýchacího ventilu přístroje (breathing valve dead space)
- VD/VT – poměr funkčního (fyziologického) mrtvého prostoru k dechovému objemu
- VE – minutová ventilace
- VENadir1 – hodnota minutové ventilace v nejnižším bodu začátku oscilační vlny VE
- VENadir2 – hodnota minutové ventilace v nejnižším bodu na konci oscilační vlny VE
- VE_{peak} – maximální dosažená hodnota minutové ventilace
- VERec – minutová ventilace v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VE_{startW} – hodnota minutové ventilace na začátku zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření
- VE_{VT1 (VT2)} – hodnota minutové ventilace časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- VE/VCO₂ slope – závislost (regresní vztah) minutové ventilace na změnách výdeje oxidu uhličitého
- VE/VCO₂ slope rec – závislost (regresní vztah) minutové ventilace na změnách výdeje oxidu uhličitého v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- $\Delta VE/\Delta W$ – strmost vzestupu určitého úseku minutové ventilace, která je definována rozdílem dvou vybraných hodnot minutové ventilace a rozdílem dvou odpovídajících hodnot výkonu (Δ = delta, označuje diferenci mezi dvěma zvolenými body)
- VE/W slope – směrnice strmosti vzestupu minutové ventilace v závislosti na zátěži odvozená z regresní rovnice
- VMK – volné mastné kyseliny
- VO₂ – příjem kyslíku
- VO₂.kg⁻¹ – příjem kyslíku přepočtený na kilogram hmotnosti
- VO_{2max} – nejvyšší hodnota příjmu kyslíku při zátěžovém testu, která splňuje podmínku, že při zvyšující se zátěži již příjem kyslíku dále nestoupá a přechází do plató VO₂. Pokud plató VO₂ není detekováno, pak lze hodnotu VO_{2peak} považovat za VO_{2max}, pokud bylo dosaženo plného metabolického vyčerpání charakterizovaného hodnotou RER_{peak} minimálně 1,10 u nemocných a $\geq 1,15$ u sportovců
- VO_{2peak} – nejvyšší hodnota příjmu kyslíku, které daný jedinec dosáhl při zátěžovém testu
- VO_{2R} – rezerva příjmu kyslíku
- VO_{2rec} – příjem kyslíku v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VO₂-REC₂ – pokles příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za 2 minuty
- %VO₂-REC₂ – procentuální pokles příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za 2 minuty
- VO_{2SC} – pomalá komponenta příjmu kyslíku
- VO₂/SF – tepový kyslík
- VO_{2VT1} – příjem kyslíku na úrovni prvního ventilačního prahu, tj. hodnota prvního ventilačního prahu
- VO_{2VT2} – příjem kyslíku na úrovni druhého ventilačního prahu, tj. hodnota druhého ventilačního prahu
- $\Delta VO_2/\Delta W$ – strmost vzestupu určitého úseku příjmu kyslíku, která je definována rozdílem dvou vybraných hodnot příjmu kyslíku a rozdílem dvou příslušných hodnot výkonu (Δ = delta, označuje diferenci mezi dvěma zvolenými body)
- V/Q – poměr ventilace a perfuze v plicích (ventilačně-perfuzní poměr)
- V/Q mismatch(ing) – ventilačně-perfuzní nerovnováha (nesoulad)
- VRS – ventrální respirační skupina, tj. skupina respiračních neuronů v prodloužené míše
- VSA – vazospastická angina pectoris
- VT – dechový objem

VT1 – první ventilační práh

VT2 – druhý ventilační práh

W – výkon ve wattech

$W \cdot kg^{-1}$ – výkon přepočtený na kilogram hmotnosti

WL – Workload; výkon ve wattech

$\Delta W/min$ – strmost vzestupu zátěže za minutu při rampovém protokolu spiroergometrického vyšetření

W_{peak} – maximální dosažený výkon ve wattech

WR – Work Rate; výkon ve wattech

$W_{VT1 (VT2)}$ – výkon časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu

Profesor Placheta velmi rád maloval. Dovolujeme si zde otisknout jeho obrázek, který visí na renomovaných pracovištích zátěžových laboratoří v USA a který dokumentuje jeho úžasný životní nadsázka a smysl pro humor. Obrázek, který s nadsázkou ukazuje složitost spiroergometrického vyšetření, dokumentuje také velké množství získaných výsledků, které doposud končí bez dostatečného využití v praxi.



Úvod

Poslední kniha publikovaná autory z našeho pracoviště zabývající se zátěžovou diagnostikou vyšla v roce 1999 (Placheta, Z. et al. *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi*). Za uplynulých 20 let se výrazně zdokonalilo přístrojové vybavení a zlepšily se možnosti podrobnější analýzy spiroergometrického vyšetření. V současné době se na našem pracovišti provádí průměrně 1000 spiroergometrií ročně u zdravých lidí, nemocných pacientů i vysoce výkonných sportovců. Nahromaděné poznatky jsme se snažili zahrnout do předkládané knihy.

V současném českém písemnictví stále chybí kniha zabývající se komplexně spiroergometrickým vyšetřením pro široké spektrum indikací. I to nás vedlo k sepsání této monografie, u které jsme se snažili využít našich zkušeností vycházejících z mnohaleté praxe, a proto mottem předkládané knihy by mohlo být „z praxe do praxe“.

Publikace je určena nejen lékařům provádějícím spiroergometrické vyšetření, ale i dalším odborníkům, kteří se setkávají s výsledky spiroergometrie a kterým by kniha mohla pomoci tyto výsledky správně interpretovat a optimálně využít ve své praxi (odborníci zabývající se kardiovaskulární rehabilitací, posudkoví lékaři, praktičtí lékaři a trenéři výkonnostních a vrcholových sportovců). Kniha je také určena studentům lékařských a sportovních fakult a všem dalším zájemcům o tuto problematiku.

Úvodní kapitoly jsou věnovány fyziologickým dějům probíhajícím při zátěži, základním technickým předpokladům a metodickým postupům správného provedení spiroergometrie. Rozsáhlá třetí kapitola popisuje jednotlivé parametry sledované při spiroergometrii s grafickým zobrazením kinetiky jejich změn při zátěži. K názorné ilustraci kinetiky změn jednotlivých parametrů a jejich vzájemných souvislostí v zátěžové a zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření jsou použity standardní,

ale i nové, v jiných knižních publikacích zatím dosud nepoužívané typy barevných grafů. Čtvrtá kapitola se zabývá stanovením ventilačních prahů a okrajově také přehledem problematiky laktátových prahů. Vcelku novou oblastí je popis zotavovací fáze spiroergometrického vyšetření v páté kapitole. Šestá kapitola uzavírá obecnou část a zabývá se celkovým hodnocením výsledku spiroergometrie. Další kapitola je věnována aplikaci výsledků spiroergometrie u vybraných kardiologických onemocnění. Osmá kapitola se zabývá kardiovaskulární rehabilitací a zejména správným způsobem preskripce tréninkových parametrů pro různé modalitě aerobního vytrvalostního tréninku (kontinuální trénink s konstantní zátěží, intervalový trénink a excentrický trénink s konstantní zátěží) v rámci kardiovaskulární rehabilitace. Závěrečná kapitola je věnována využití spiroergometrického vyšetření ve sportovní medicíně – v ledním hokeji a ve veslování. V kapitole o veslování je navržen nový spiroergometrický test, kterým lze stanovit schopnost dostatečně dlouho pracovat na vysokých procentech maximálního příjmu kyslíku.

Je naším velkým přáním, aby předložená monografie splnila svůj cíl – tedy aby seznámila všechny cílové skupiny čtenářů s možnostmi využití spiroergometrického vyšetření pro klinickou i sportovní praxi.

Na závěr bychom rádi poděkovali zejména našim nejbližším rodinným příslušníkům za trpělivost, pochopení a poskytnutí potřebného zázemí při psaní této knihy. Poděkování patří také současnému i minulému vedení kliniky za podporu ve vědecké práci a všem spolupracovníkům Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace FN u sv. Anny v Brně, bez jejichž každodenní práce bychom těžko nashromáždili tolik výsledků. Děkujeme též oběma recenzentům za užitečné připomínky, sponzorům a samozřejmě nakladatelství Grada Publishing.

Existuje mnoho dobrých důvodů dát mu SORTIS®.
Tady je 7 z nich.



**U pacientů
s chronickou
renální insuficiencí
bez nutnosti úpravy
dávkování¹**



SORTIS
atorvastatinum

Síla. Jistota. Důvěra.

Zkrácená informace o přípravku:

Sortis 10, 20, 40, 80 mg potahované tablety. Složení: Atorvastatinum 10, 20, 40, 80 mg v jedné potahované tabletě. Pomocné látky se známým účinkem: 1 potahovaná tableta obsahuje 27,25 mg nebo 54,50 mg nebo 109,00 mg či 218,00 mg monohydrátu laktosy; a další pomocné látky. **Indikace:** Primární hypercholesterolemie, familiární hypercholesterolemie (včetně homozygotní formy u dospělých pacientů) nebo smíšená hyperlipidémie (typ IIa nebo typ IIb podle Fredricksona) u dospělých a dětí ve věku 10 let a starších. Prevence kardiovaskulárních příhod u dospělých pacientů s předpokládaným vysokým rizikem první kardiovaskulární příhody. Léčbu zahajujeme, pokud dieta a jiná nefarmakologická opatření nebyla dostatečně účinná. **Dávkování a způsob podání:** Počáteční dávka je pro všechny indikace obvykle 10 mg atorvastatinu jedenkrát denně. Pro dosažení cílových hladin LDL-cholesterolu může být nutné použít vyšších dávek. Maximální denní dávka je 80 mg atorvastatinu. Dávkování u dětí: Léčba by měla být řízena pouze specialisty. Atorvastatin není indikován k léčbě pacientů mladších 10 let. **Kontraindikace:** Hypersenzitivita na složky přípravku, jaterní onemocnění v aktivním stavu, neobjasněné přetrvávající zvýšení sérových transamináz na více než trojnásobek normálních hodnot, těhotenství, kojení, ženy ve fertilním věku, které nepoužívají vhodnou antikoncepci. Léčba antivirotky glekaprevirem/pibrentasvirem proti hepatitidě C. **Zvláštní upozornění:** Jaterní testy by měly být provedeny před a pravidelně kontrolovány v průběhu léčby. Pokud přetrvávají více než trojnásobně zvýšené hodnoty transamináz, doporučuje se dávku přípravku Sortis snížit nebo terapii vysadit. Léčbu je nutné přerušit, objeví-li se významné zvýšení CK nebo je diagnostikována rhabdomyolýza. Atorvastatin se nesmí podávat současně se systémovou léčbou kyselinou fusidovou nebo během 7 dnů po ukončení léčby kyselinou fusidovou. **Interakce:** Riziko myopatie stoupá při současném užívání atorvastatinu a následujících léků: např. erythromycin, cyklosporin, telithromycin, klarithromycin, delavirdin, stiripentol, ketokonazol, vorikonazol, itraconazol, posakonazol, inhibitory HIV proteázy, kyselina fusidová, kolchicin aj. Při současném podávání přípravku Sortis a inhibitorů cytochromu P450 3A4 je třeba opatrnosti. Atorvastatin se nedoporučuje u pacientů užívajících letermovir souběžně podávaný s cyklosporinem. Při užívání antivirotky elbasvir/grazoprevir proti hepatitidě C nebo letermovir v profylaxi infekce cytomegalovirem souběžně s atorvastatinem nesmí dávka atorvastatinu překročit 20 mg/den. **Fertilita, těhotenství a kojení:** Sortis je kontraindikován. **Účinky na schopnost řídit a obsluhovat stroje:** Nežádoucí účinky: Časté: nasofaryngitida, alergické reakce, hyperglykémie, bolest hlavy, faryngolaryngeální bolest, epistaxe, zácpa, plynatost, dyspepsie, nauzea, průjem, myalgie, artralgie, bolest končetin, zad, svalové křeče, otok kloubů, zvýšení CK a jaterních testů. **Předávkování:** Speciální léčba neexistuje, pacienta je třeba léčit symptomaticky. Je třeba monitorovat jaterní testy a CK v séru. **Uchovávání:** Žádné zvláštní podmínky. **Balení:** m.j. 30 nebo 100 tablet v blistru. **Jméno a adresa držitele rozhodnutí o registraci:** Pfizer, spol. s r.o., Stroupežnického 17, 150 00 Praha 5, ČR. **Registrační číslo:** Sortis 10-40 mg: 31/233-5/99-C, Sortis 80 mg: 31/397/03-C. **Datum poslední revize textu:** 1. 9. 2019. Výdej léčivého přípravku je vázán na lékařský předpis. Přípravek je hrazen z prostředků veřejného zdravotního pojištění. Před předepsáním se prosím seznámte s úplnou informací o přípravku.

Reference: 1. SPC Sortis.

SOR-2020.01.001

Pfizer, spol. s r. o., Stroupežnického 17, 150 00 Praha 5,
telefon: 283 004 111, fax: 251 610 270, www.pfizer.cz

I ❤️ ORIGINALS

Pfizer

Upjohn
A Pfizer Company

1 Transportní systém a fyziologická odezva organismu na zatížení

Dobšák P.

1.1 Úvod

Fyzická aktivita je základním kamenem oborů tělovýchovné lékařství a rehabilitace, které mají v rámci klinické medicíny nezpochybnitelné interdisciplinární postavení. Velmi zjednodušeně lze lidský organismus v průběhu fyzické zátěže přirovnat ke stroji, například k motoru automobilu. Pro chod stroje (motoru) je nezbytná přeměna jednoho typu energie na jiný a stejně tak to platí i pro organismus člověka, který během tělesné (svalové) práce konvertuje chemickou energii na mechanickou. A podobně jako stroj i lidský organismus je schopen zvýšit intenzitu fyzické zátěže zvýšeným přísunem a utilizací energetických substrátů (Brooks, 2004). Přirovnání lidského těla k motoru auta však není zcela přesné. Na rozdíl od něj je náš organismus schopen rozsáhlých adaptačních procesů, které jsou odpovědí na zátěžové stimuly, a díky tomu tak může postupně zlepšovat svoje životní funkce. V kontrastu s tím je absence zátěžových podnětů (tedy hypo- nebo inaktivita) důvodem snížení či zhoršení funkční kapacity. Podnět je vlastně tzv. stresor (nebo také stresogenní podnět), na který organismus reaguje komplexní aktivací řady biosystémů. Pravidelně opakované podněty neboli stresory (trénink) navozují v dlouhodobém horizontu stav adaptace, jejímž odrazem je zlepšená (zvýšená) funkční kapacita. Z fyziologického hlediska je hlavním cílem jakéhokoliv tréninkového procesu zatěžovat organismus tak, aby se procesy adaptace skutečně aktivovaly. Trénink má přínos a smysl pouze tehdy, jestliže jsou tělesné systémy zatěžovány dostatečně intenzivně. Na straně druhé může zátěž nepřiměřeně vysoká způsobit vážné zdravotní problémy, především přetížení (přetrénování) nebo poškození. Proto je třeba při tvorbě tréninkových programů nebo ordinaci pohybové léčby dbát na citlivý přístup a respektovat individuální zvláštnosti jedince.

Svalová práce, jako základní projev fyzické zátěže, je zabezpečena řadou bioenergetických procesů, které regulují a limitují zdatnost a výkonnost. Fyzická zátěž

simultánně spouští v organismu člověka množství fyziologických procesů, které zahrnují změny ventilace, cirkulace a sekreční aktivity neuroendokrinních systémů. Schopnost organismu člověka zabezpečovat energetické krytí tělesné práce delší než 30 s je zcela závislá na přísunu a utilizaci kyslíku (O_2). Protože převážná většina denních (habituálních) činností trvá déle než 90 s, představuje utilizace O_2 základní existenční atribut života (Placheta, 1999; Brooks, 2004). Příjem kyslíku (VO_2) stoupá proporcionálně se zvyšující se intenzitou zátěže (od klidového stavu přes mírnou, těžkou až do maximální). Nejvyšší hodnota příjmu kyslíku při zátěžovém testu (tzv. maximální aerobní kapacita), které daný jedinec dosáhl, je označována symbolem VO_{2peak} . Pokud tato hodnota (VO_{2peak}) splňuje podmínku, že při zvyšující se zátěži již dále nestoupá a přechází do „plató VO_2 “, pak se označuje jako VO_{2max} (Whipp, 2010). Referenční hodnoty, se kterými se maximální dosažená hodnota příjmu kyslíku srovnává, jsou v této knize označeny symbolem $refVO_{2max}$ (více podrobností v kapitole 3.2.2). Dosažená maximální aerobní kapacita je důležitý faktor reflektující tzv. kardiiovaskulární zdatnost (fitness) a její hodnota může být ovlivněna různými patologickými stavy, poškozujícími jednotlivé složky transportního systému na jakékoli úrovni.

1.2 Energetické zdroje pro svalovou práci (ATP-CrP systém, anaerobní glykolýza, aerobní fosforylace)

Jakákoliv forma lidského pohybu představuje sérii komplexních bioenergetických reakcí. **Adenozintrifosfát (ATP) je základní substrát pro svalovou kontrakci** a také pro jiné druhy buněčných aktivit. Základní funkci biosystémů člověka na buněčné, tkáňové či orgánové úrovni je **udržování konstantní koncentrace ATP v intracelulárním prostoru** (tzv. homeostáza ATP). Při