

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 Mířková, 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 Mífková, Petr Dobšák**

**Autoři:**

MUDr. František Várnay, CSc.

MUDr. Pavel Homolka, Ph.D.

Mgr. Leona Mífková, 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.



<b>Seznam použitých zkratek</b> . . . . .	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>Základní parametry sledované při spiroergometrii</b> (Várnay F., Mifková L.) . . . . .	<b>31</b>
<b>Vzpomínka</b> . . . . .	<b>16</b>	<b>3.1</b>	<b>Průběh dechového objemu, dechové frekvence a minutové ventilace – od mírných nepravidelností až po oscilující ventilaci při zátěži (EOV)</b> (Várnay F.) . . . . .	<b>33</b>
<b>Úvod</b> . . . . .	<b>17</b>	3.1.1	Základní mechanizmy regulace dýchání . . . . .	34
<b>1 Transportní systém a fyziologická odezva organismu na zatížení</b> (Dobšák P.) . . . . .	<b>19</b>	3.1.1.1	Chemosenzitivní receptory . . . . .	34
<b>1.1 Úvod</b> . . . . .	<b>19</b>	3.1.1.2	Respirační centra . . . . .	35
<b>1.2 Energetické zdroje pro svalovou práci (ATP-CrP systém, anaerobní glykolýza, aerobní fosforylace)</b> . . . . .	<b>19</b>	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
<b>1.3 Transportní systém a celulární respirace</b> . . . . .	<b>22</b>	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
<b>2 Praktické provedení spiroergometrického vyšetření</b> (Homolka P.) . . . . .	<b>25</b>	3.1.7	Přehled základních variant definice oscilujícího dýchání při zátěži (EOV) . . . . .	45
<b>2.1 Indikace spiroergometrie</b> . . . . .	<b>25</b>	3.1.7.1	Postup analýzy při hodnocení oscilujícího dýchání při zátěži (EOV) . . . . .	45
<b>2.2 Kontraindikace spiroergometrie</b> . . . . .	<b>25</b>	3.1.7.2	Prognostický význam EOV u chronického srdečního selhání . . . . .	53
<b>2.3 Laboratorní podmínky</b> . . . . .	<b>26</b>	<b>3.2 Příjem kyslíku (VO<sub>2</sub>)</b> (Várnay F.) . . . . .	<b>55</b>	
2.3.1 Prostředí laboratoře . . . . .	26	3.2.1	Kinetika VO <sub>2</sub> a průběh křivky VO <sub>2</sub> při rampovém spiroergometrickém vyšetření . . . . .	55
2.3.2 Bezpečnostní opatření . . . . .	26	3.2.1.1	Krytí energetických potřeb pro svalovou práci a kinetika VO <sub>2</sub> v zátěžové a zotavovací fázi rampového spiroergometrického vyšetření . . . . .	55
2.3.3 Personál . . . . .	26	3.2.1.2	Průběh křivky VO <sub>2</sub> 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
<b>2.4 Postup před zátěžovým testem</b> . . . . .	<b>27</b>	3.2.3	Přehled grafů, na kterých se vyskytuje příjem kyslíku (VO <sub>2</sub> ) . . . . .	63
<b>2.5 Sledování během zátěže</b> . . . . .	<b>27</b>			
2.5.1 Důvody ukončení spiroergometrického vyšetření . . . . .	27			
<b>2.6 Postup po ukončení zátěže a péče o pacienta po testu</b> . . . . .	<b>28</b>			
<b>2.7 Zátěžové zdroje a protokoly</b> . . . . .	<b>28</b>			

<b>3.3</b>	<b>Výdej oxidu uhličitého (VCO<sub>2</sub>)</b> (Várnay F.) . . . . .	<b>63</b>	3.6.3	Význam hodnoty RER <sub>peak</sub> pro posouzení míry metabolického vyčerpání při spiroergometrickém vyšetření . . . . .	113
3.3.1	Průběh křivky VCO <sub>2</sub> v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření . . . . .	64	<b>3.7</b>	<b>Ventilační ekvivalenty (EQ) (Várnay F.)</b> . . . . .	<b>114</b>
3.3.2	Vyšší hodnoty VCO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> a VO <sub>2</sub> pomocí regresních rovnic a směrnice VO <sub>2</sub> a VCO <sub>2</sub> . . . . .	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 <sub>2</sub> – matematický výpočet a graf ExCO <sub>2</sub> . . . . .	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 <sub>2</sub> ) . . . . .	75	3.7.2	Popis průběhu ventilačních ekvivalentů v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření . . . . .	130
<b>3.4</b>	<b>Minutová ventilace (VE) (Várnay F.)</b> . . . . .	<b>76</b>	3.7.3	Popis průběhu ventilačních ekvivalentů při oscilující ventilaci . . . . .	135
3.4.1	Průběh křivky VE při rampovém spiroergometrickém vyšetření . . . . .	77	<b>3.8</b>	<b>Parciální tlak kyslíku na konci výdechu (PETO<sub>2</sub>) a parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu (PETCO<sub>2</sub>) (Várnay F.)</b> . . . . .	<b>136</b>
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 <sub>2</sub> a PETCO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> . . . . .	139
3.4.5	Hypoventilace . . . . .	90	3.8.2.2	Průběh PETO <sub>2</sub> . . . . .	140
3.4.5.1	Hypoventilace u obezity (OHS – obesity hypoventilation syndrome) . . . . .	91	3.8.2.3	Grafické zobrazení průběhu PETCO <sub>2</sub> a PETO <sub>2</sub> . . . . .	140
3.4.5.2	Relativní hypoventilace vzhledem k extrémně vysoké hodnotě maximálního dosaženého výkonu (W <sub>peak</sub> ) 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 <sub>2</sub> pro diagnostiku a stratifikaci plicních a kardiovaskulárních nemocí . . . . .	147
<b>3.5</b>	<b>VE/VCO<sub>2</sub> slope (Várnay F.)</b> . . . . .	<b>96</b>	<b>3.9</b>	<b>Oxygen uptake efficiency slope (OUES)</b> (Várnay F.) . . . . .	<b>150</b>
3.5.1	Úvod . . . . .	96	3.9.1	Obecné pojednání o vztahu VO <sub>2</sub> a VE . . . . .	150
3.5.2	Rozbor metodiky VE/VCO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> slope – přítomnost oscilující ventilace při zátěži (EOV) . . . . .	99	3.9.3	Analýza a význam OUES . . . . .	153
3.5.2.2	Závislost VE na VCO <sub>2</sub> v zotavovací (recovery) fázi spiroergometrického vyšetření . . . . .	100	<b>3.10</b>	<b>Srdeční frekvence (Mifková L.)</b> . . . . .	<b>159</b>
3.5.2.3	Abnormality VE/VCO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> ) pomocí ventilačního ekvivalentu pro CO <sub>2</sub> (EQCO <sub>2</sub> ) . . . . .	103	3.10.2	Nepravdivosti průběhu srdeční frekvence během spiroergometrického vyšetření . . . . .	161
<b>3.6</b>	<b>Poměr respirační výměny (RER)</b> (Várnay F.) . . . . .	<b>106</b>	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	<b>3.11</b>	<b>Krevní tlak (Mifková L.)</b> . . . . .	<b>164</b>
3.6.2	Příklady abnormálního průběhu poměru respirační výměny . . . . .	110	<b>3.12</b>	<b>Systolický a minutový objem srdeční, tepový kyslík (Várnay F.)</b> . . . . .	<b>167</b>
			3.12.1	Systolický a minutový objem srdeční . . . . .	167
			3.12.2	Tepový kyslík (VO <sub>2</sub> /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
<b>3.13</b>	<b>Elektrokardiografie (Várnay F.) . . . . .</b>	<b>179</b>
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
<b>3.14</b>	<b>Subjektivní odhad vnímání intenzity zátěže a hodnocení potíží (Mířková L.) . . . . .</b>	<b>182</b>
<b>3.15</b>	<b>Indexy výkonnosti (Mířková L.) . . . . .</b>	<b>184</b>
3.15.1	Výkon . . . . .	184
3.15.2	Kritický výkon . . . . .	185
<b>4</b>	<b>Ventilační prahy a jejich stanovení, laktátové prahy (Várnay F.) . . . . .</b>	<b>193</b>
<b>4.1</b>	<b>Obecný úvod k energetickému metabolismu . . . . .</b>	<b>193</b>
<b>4.2</b>	<b>Definice ventilačních prahů a názvosloví . . . . .</b>	<b>194</b>
<b>4.3</b>	<b>Metody stanovení ventilačních prahů a hodnocení prvního ventilačního prahu . . . . .</b>	<b>194</b>
4.3.1	Stanovení VT1 metodou $\text{ExCO}_2$ . . . . .	196
4.3.2	Stanovení ventilačních prahů podle průběhu křivky $\text{EQO}_2$ a $\text{EQCO}_2$ . . . . .	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 $\text{VE}/\text{VCO}_2$ 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 $\text{ExCO}_2$ , ale nelze stanovit podle průběhu křivky $\text{EQO}_2$ . . . . .	202
4.3.7.3	Důvody obtížné stanovitelnosti až nemožnosti lokalizace VT2 . . . . .	203
<b>4.4</b>	<b>Laktátové prahy – přehled a vztah k ventilačním prahům . . . . .</b>	<b>205</b>
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
<b>5</b>	<b>Hodnocení zotavovací fáze (Várnay F.) . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>5.1</b>	<b>Kinetika příjmu kyslíku během zotavovací fáze spiroergometrického vyšetření (<math>\text{VO}_2\text{rec}</math>) . . . . .</b>	<b>214</b>
5.1.1	Hlavní faktory ovlivňující průběh $\text{VO}_2$ recovery . . . . .	215
5.1.2	Metodika hodnocení $\text{VO}_2$ 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 $\text{VO}_2\text{rec}$ ( $\text{T1}/2 \text{VO}_2\text{rec}$ ) . . . . .	223
5.1.3	Klasifikace kinetiky $\text{VO}_2$ v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření . . . . .	223
5.1.4	Příklad konkrétního postupu analýzy průběhu kinetiky $\text{VO}_2$ recovery . . . . .	225
<b>5.2</b>	<b>Hodnocení srdeční frekvence během zotavovací fáze (HRrec) . . . . .</b>	<b>229</b>
<b>6</b>	<b>Principy hodnocení výsledku spiroergometrického vyšetření (Várnay F.) . . . . .</b>	<b>231</b>
<b>6.1</b>	<b>Datové protokoly . . . . .</b>	<b>231</b>
<b>6.2</b>	<b>Grafické zobrazení parametrů spiroergometrického vyšetření . . . . .</b>	<b>232</b>
<b>6.3</b>	<b>Souhrnná závěrečná zpráva ze spiroergometrického vyšetření . . . . .</b>	<b>234</b>
<b>7</b>	<b>Specifika spiroergometrického vyšetření u vybraných kardiologických diagnóz (Várnay F.) . . . . .</b>	<b>237</b>
<b>7.1</b>	<b>Vazospastická angina pectoris (VSA) . . . . .</b>	<b>237</b>
<b>7.2</b>	<b>Plicní hypertenze . . . . .</b>	<b>238</b>
<b>7.3</b>	<b>Chronické srdeční selhání . . . . .</b>	<b>241</b>
<b>7.4</b>	<b>Stav po ortotopické transplantaci srdce (OTS) . . . . .</b>	<b>241</b>
<b>7.5</b>	<b>Neobjasněná námahová dušnost (unexplained exertional dyspnea) . . . . .</b>	<b>242</b>
<b>8</b>	<b>Stanovení intenzity tréninkové zátěže pro kardiologicky nemocné v rámci kardiovaskulární rehabilitace (Mířková L.) . . . . .</b>	<b>245</b>
<b>8.1</b>	<b>Kardiovaskulární rehabilitace . . . . .</b>	<b>245</b>
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

<b>8.2</b>	<b>Intenzita zátěže pro trénink kardiologicky nemocných . . . . .</b>	<b>247</b>	9.1.2	Fyziologický profil veslaře . . . . .	281
8.2.1	Trénink nad úrovní VT1 v kardiiovaskulární 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 kardiiovaskulární rehabilitaci? . . . . .	251	9.1.4	Současné trendy sledování výkonnosti a optimalizace tréninku veslařů v České republice a ve světě . . . . .	282
<b>8.3</b>	<b>Pravidla preskripce tréninkové zátěže pro kardiiovaskulární rehabilitaci . . . . .</b>	<b>253</b>	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 <sub>2</sub> 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	<b>9.2</b>	<b>Spiroergometrie v ledním hokeji (Homolka P.) . . . . .</b>	<b>292</b>
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 kardiiovaskulární rehabilitace . . . . .	268	9.2.1.1	Hrazení energetických potřeb během střídání na ledě . . . . .	293
8.3.3.2	Metabolická a kardiiovaskulární 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 kardiiovaskulární rehabilitace . . . . .	273	9.2.4	Testování anaerobních schopností . . . . .	296
<b>9</b>	<b>Spiroergometrické vyšetření ve sportovní medicíně (Homolka P.) . . . . .</b>	<b>279</b>	9.2.5	Interpretace spiroergometrických parametrů u hokejistů . . . . .	296
	<b>Úvod . . . . .</b>	<b>279</b>	<b>10</b>	<b>Seznam možných variant grafického zobrazení parametrů získaných při spiroergometrickém vyšetření . . . . .</b>	<b>301</b>
<b>9.1</b>	<b>Spiroergometrie ve veslování (Homolka P., Kára T., Panuška P.) . . . . .</b>	<b>280</b>	<b>Rejstřík . . . . .</b>	<b>307</b>	
9.1.1	Veslařská zátěž z energetického hlediska . . . . .	280	<b>Souhrn . . . . .</b>	<b>309</b>	
			<b>Summary . . . . .</b>	<b>311</b>	

# Seznam použitých zkratek

- aADCO<sub>2</sub> – arterio-alveolární diference oxidu uhličitého  
 ACC/AHA – American College of Cardiology / American Heart Association  
 ACSM – American College of Sports Medicine  
 ADP – adenosindifosfát  
 AMP – adenosinmonofosfát  
 apexPETCO<sub>2</sub> – nejvyšší hodnota PETCO<sub>2</sub> v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření  
 ATP – adozintrifosfát  
 ATP-CrP systém – bezprostřední zdroje energie (ATP – adozintrifosfát, CrP – kreatinfosfát)  
 BL<sub>A2,0</sub> – dynamicky definovaný fixní anaerobní laktátový práh stanovený jako klidová hodnota laktátu + 1,5 mmol.l<sup>-1</sup>  
 BLC<sub>4</sub> – Blood Lactate Concentration; jedno z označení pro fixní anaerobní laktátový práh (na úrovni koncentrace laktátu 4 mmol.l<sup>-1</sup>)  
 BMI – Body Mass Index  
 BNP – natriuretic peptid B; mozkový natriuretický peptid  
 BTPS – korekční faktor pro přepočet hodnot ventilace  
 C(a-v)O<sub>2</sub> – arterio-venózní diference 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 EQCO<sub>2</sub> – nejnižší hodnota ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý  
 DF – dechová frekvence  
 difVO<sub>2</sub> – velikost poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za určitý čas (za 1, 2 nebo 3 minuty) vyjádřeného v ml.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>  
 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  
 EQCO<sub>2</sub> – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý  
 EQCO<sub>2,rec</sub> – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření  
 EQCO<sub>2VT1 (VT2)</sub> – hodnota ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu práhu  
 EQO<sub>2</sub> – ventilační ekvivalent pro kyslík  
 EQO<sub>2,rec</sub> – ventilační ekvivalent pro kyslík v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření  
 EQO<sub>2VT1 (VT2)</sub> – hodnota ventilačního ekvivalentu pro kyslík časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu práhu  
 ExCO<sub>2</sub> – excés oxidu uhličitého  
 FAD – flavinadeninukleotid (oxidovaná forma)

- FADH<sub>2</sub> – flavinadeninindinukleotid (redukovaná forma)  
 FECO<sub>2</sub> – frakční podíl CO<sub>2</sub> ve vydechaném vzduchu  
 FEO<sub>2</sub> – frakční podíl O<sub>2</sub> ve vydechaném vzduchu  
 FETCO<sub>2</sub> – frakční koncentrace CO<sub>2</sub> na konci výdechu (fractions of dray gas volume)  
 FETO<sub>2</sub> – frakční koncentrace O<sub>2</sub> na konci výdechu (fractional end tidal oxygen concentration)  
 FICO<sub>2</sub> – frakční podíl CO<sub>2</sub> ve vdechovaném vzduchu  
 FIO<sub>2</sub> – frakční podíl (koncentrace) O<sub>2</sub> 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 – kardiiovaskulární rehabilitace  
 LA – laktát (není to kyselina mléčná, ale její aniont, tj. bez H<sup>+</sup>)  
 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<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> VO<sub>2</sub>  
 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<sup>+</sup> – nikotinamidadeninindinukleotid (oxidovaná forma)  
 NADH – nikotinamidadeninindinukleotid (redukovaná 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<sup>-1</sup>)  
 OF – odpočinkové fáze intervalového tréninku  
 OHS – obesity hypoventilation syndrome  
 OTS – ortotopická transplantace srdce  
 OUES – oxygen uptake efficiency slope  
 PACO<sub>2</sub> – parciální alveolární tlak CO<sub>2</sub> (alveolar partial pressure of carbon dioxide)  
 PaCO<sub>2</sub> – parciální tlak CO<sub>2</sub> 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)  
 PAO<sub>2</sub> – parciální alveolární tlak kyslíku (alveolar partial pressure of oxygen)  
 PaO<sub>2</sub> – parciální tlak kyslíku v arteriální krvi (arterial partial pressure of oxygen)  
 PAWP – pulmonary arterial wadge pressure; tlak v zaklínění plicnice  
 P<sub>B</sub> – barometrický tlak  
 P<sub>peak</sub> – maximální dosažená (vrcholová) hodnota

- peakVE<sub>osc</sub> – peak hodnota VE oscilační vlny
- P<sub>E</sub>CO<sub>2</sub> neboli PeCO<sub>2</sub> – mixed expired PCO<sub>2</sub>; průměrná hodnota parciálního tlaku CO<sub>2</sub> během celého expira
- PET – end tidal parcial pressure; parciální tlak na konci výdechu
- PETCO<sub>2</sub> – parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu, tj. nejvyšší hodnota parciálního tlaku (PCO<sub>2</sub>) na konci výdechu
- PETCO<sub>2VT1 (VT2)</sub> – parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- PETO<sub>2</sub> – 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  $\geq 25$  mm Hg v klidu
- pH – Potential of Hydrogen; potenciál vodíku, tj. číslo, kterým se vyjadřuje, zda vodný roztok reaguje kyselé nebo zásaditě
- PH<sub>2</sub>O – parciální tlak vodních par
- P<sub>i</sub> – anorganický fosfor
- QCO<sub>2</sub> – produkce oxidu uhličitého na úrovni buňky
- QO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku na úrovni buňky
- RCP – bod respirační kompenzace (jiný názvoslovný výraz pro druhý ventilační práh)
- refDF<sub>max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota dechové frekvence
- refOUES – referenční (predikovaná) hodnota oxygen uptake efficiency slope
- refSF<sub>max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota srdeční frekvence
- refVCO<sub>2max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota výdeje oxidu uhličitého
- refVE<sub>max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota minutové ventilace
- refVO<sub>2max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota příjmu kyslíku
- refVO<sub>2VT1</sub> – referenční (predikovaná) hodnota příjmu kyslíku na úrovni prvního ventilačního prahu
- refVT<sub>max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota dechového objemu
- refW<sub>max</sub> – referenční (predikovaná) maximální hodnota výkonu
- RER, R – poměr respirační výměny
- RER<sub>rec</sub> – poměr respirační výměny v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- RER<sub>VT1 (VT2)</sub> – 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<sub>klid</sub> – klidová (výchozí) srdeční frekvence
- SF<sub>peak</sub> – maximální dosažená srdeční frekvence
- SF<sub>trén</sub> – tréninková srdeční frekvence
- SF<sub>VT1 (VT2)</sub> – hodnota srdeční frekvence časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku v krvi
- STK – systolický krevní tlak
- STK<sub>REC1</sub> – rychlost poklesu systolického krevního tlaku v 1. minutě zotavovací fáze
- STPD – korekční faktor pro přepočítání objemu O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>
- SV – Stroke Volume; systolický (tepový) objem
- SV<sub>i</sub> – tepový objem vztažený na 1 m<sup>2</sup> tělesného povrchu
- T1/2(exp) – poločas poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření vypočítaný z exponenciální rovnice
- T1/2 VO<sub>2,rec</sub> – poločas poklesu příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TC HR – časová konstanta srdeční frekvence v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TC VO<sub>2</sub> – časová konstanta příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření
- TK – krevní tlak
- trendVE<sub>nadir</sub> – spojnice všech lokálních minimálních hodnot oscilací VE (nadir bodů)

- VA – alveolární ventilace
- VC – vitální kapacita plic
- VCO<sub>2</sub> – výdej oxidu uhličitého
- VCO<sub>2peak</sub> – maximální dosažená hodnota výdeje oxidu uhličitého
- VCO<sub>2rec</sub> – výdej oxidu uhličitého v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VCO<sub>2startW</sub> – hodnota výdeje oxidu uhličitého na začátku zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření
- VCO<sub>2VT1 (VT2)</sub> – 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 ( $\Delta$  = delta, označuje diferenci mezi dvěma zvolenými body)
- VCO<sub>2/W</sub> 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<sub>peak</sub> – maximální dosažená hodnota minutové ventilace
- VERec – minutová ventilace v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VE<sub>startW</sub> – hodnota minutové ventilace na začátku zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření
- VE<sub>VT1 (VT2)</sub> – hodnota minutové ventilace časově odpovídající prvnímu (druhému) ventilačnímu prahu
- VE/VCO<sub>2</sub> slope – závislost (regresní vztah) minutové ventilace na změnách výdeje oxidu uhličitého
- VE/VCO<sub>2</sub> 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 ( $\Delta$  = 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
- VO<sub>2</sub> – příjem kyslíku
- VO<sub>2,kg<sup>-1</sup></sub> – příjem kyslíku přepočtený na kilogram hmotnosti
- VO<sub>2max</sub> – nejvyšší hodnota příjmu kyslíku při zátěžovém testu, která splňuje podmínku, že při zvyšující se zátěži již příjem kyslíku dále nestoupá a přechází do plató VO<sub>2</sub>. Pokud plató VO<sub>2</sub> není detekováno, pak lze hodnotu VO<sub>2peak</sub> považovat za VO<sub>2max</sub>, pokud bylo dosaženo plného metabolického vyčerpání charakterizovaného hodnotou RER<sub>peak</sub> minimálně 1,10 u nemocných a  $\geq 1,15$  u sportovců
- VO<sub>2peak</sub> – nejvyšší hodnota příjmu kyslíku, které daný jedinec dosáhl při zátěžovém testu
- VO<sub>2R</sub> – rezerva příjmu kyslíku
- VO<sub>2rec</sub> – příjem kyslíku v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření
- VO<sub>2-REC<sub>2</sub></sub> – pokles příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za 2 minuty
- %VO<sub>2-REC<sub>2</sub></sub> – procentuální pokles příjmu kyslíku v recovery fázi spiroergometrického vyšetření za 2 minuty
- VO<sub>2SC</sub> – pomalá komponenta příjmu kyslíku
- VO<sub>2/SF</sub> – tepový kyslík
- VO<sub>2VT1</sub> – příjem kyslíku na úrovni prvního ventilačního prahu, tj. hodnota prvního ventilačního prahu
- VO<sub>2VT2</sub> – 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 ( $\Delta$  = 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

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

WL – Workload; výkon ve wattech

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

$W_{\text{peak}}$  – maximální dosažený výkon ve wattech

WR – Work Rate; výkon ve wattech

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

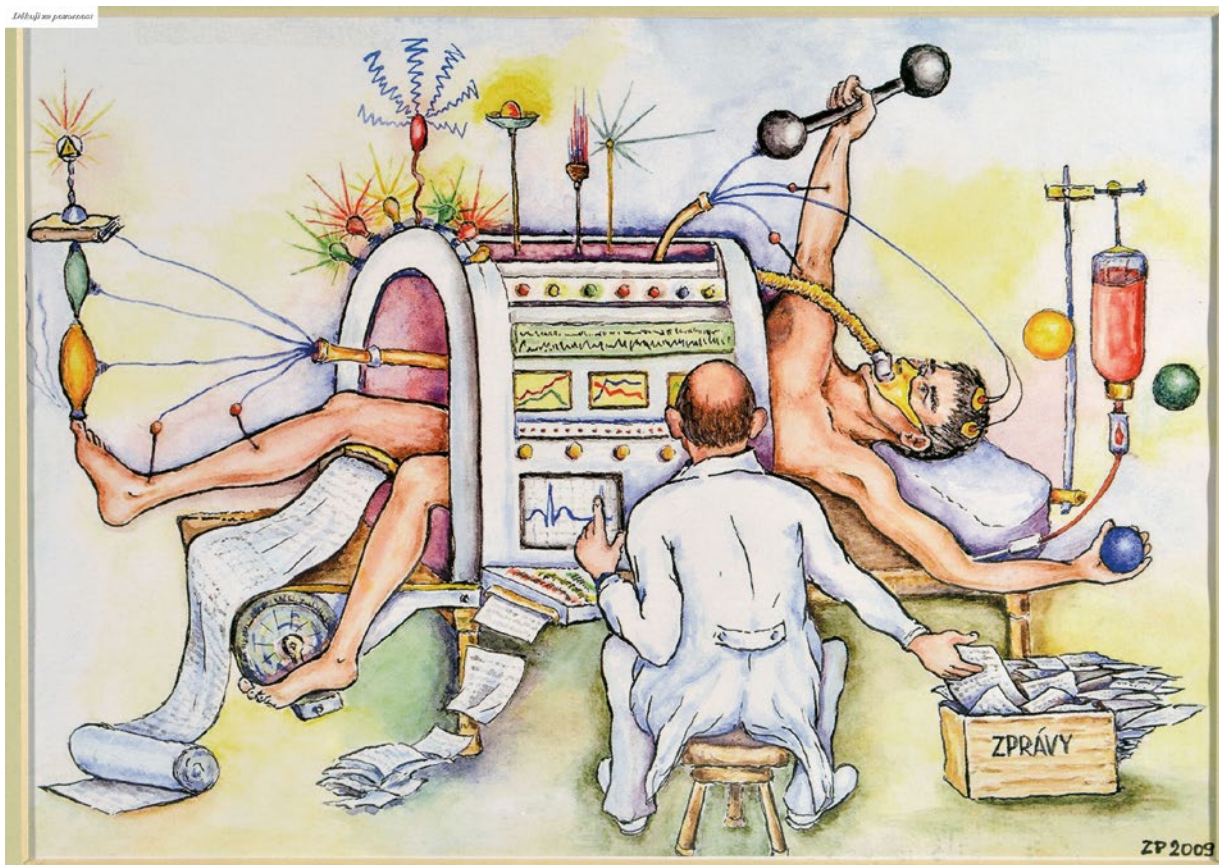


## Vzpomínka

Na tomto místě bychom rádi vzpomenuli na vynikajícího lékaře, vědce, vysokoškolského učitele, sportovce, vždy ochotného rádce a přítele profesora MUDr. Zdeňka Plachetu, DrSc. (1931–2014). Podílel se na založení oboru tělovýchovného lékařství, v rámci své klinické praxe se staral o vrcholové sportovce, u nichž také velmi záhy začal provádět spiroergometrická vyšetření. Od roku 1988 byl přednostou naší současné Kliniky tělovýchovného lékařství a rehabilitace FN u sv. Anny v Brně. Poté předal vedení kliniky profesorce MUDr. Jarmile Siegelové, DrSc., která mimo jiné založila Kardiologickou rehabilitaci a přístrojově ji vybavila. V současné

době v jejich práci pokračuje a Klinikou tělovýchovného lékařství a rehabilitace dále rozvíjí nynější přednostka profesor MUDr. Petr Dobšák, CSc.

Profesor Placheta velmi rád maloval. Dovolujeme si zde otisknout jeho obrázek, který visí na renomovaných pracovištích zátěžových laboratořích v USA a který dokumentuje jeho úžasný životní nadsázku 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 ambulanci 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 kardiiovaskulární 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 kardiiovaskulární rehabilitací a zejména správným způsobem preskripce tréninkových parametrů pro různé modalitativy aerobního vytrvalostního tréninku (kontinuální trénink s konstantní zátěží, intervalový trénink a excentrický trénink s konstantní zátěží) v rámci kardiiovaskulární 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  
dávkování<sup>1</sup>**



**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 použití 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 seznamte 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 PHARMACEUTICAL 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 organizmus 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 organizmus člověka, který během tělesné (svalové) práce konvertuje chemickou energii na mechanickou. A podobně jako stroj i lidský organizmus 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 organizmus 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 organizmus reaguje komplexní aktivací řady biosystémů. Pravidelně opakované podněty neboli stressory (trénink) navozují v dlouhodobém horizontu stav adaptace, jejímž odrazem je zlepšená (zvýšená) funkční kapacita. Z fyziologického hlediska je hlavním cílem jakéhokoliv tréninkového procesu zatěžovat organizmus 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.

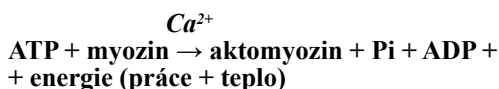
Svalová práce, jako základní projev fyzické zátěže, je zabezpečena řadou bioenergetických procesů, které regulují a limitují zdatnost a výkonnost. Fyzická zátěž

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 proporcionalně 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. kardiovaskulární 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 funkcí biosystémů člověka na buněčné, tkáňové či orgánové úrovni je **udržování konstantní koncentrace ATP v intracelulárním prostoru** (tzv. homeostáza ATP). Při

krátkodobých, velmi intenzivních silových výkonech v trvání několika sekund (maximálně do 1 minuty) je svalová práce kryta tzv. okamžitými a částečně také neoxidativními (glykolytickými) energetickými zdroji. U tělesné zátěže nad 120 s (a déle) převažují aerobní (oxidativní) energetické procesy (Placheta, 1999; Cooper, 2004; McArdle, 2014). Chemicko-mechanickou energetickou transformaci při svalové kontrakci lze vyjádřit takto:

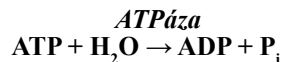


V průběhu této reakce dochází (v přítomnosti iontů  $\text{Ca}^{2+}$ ) ke spojení obou kontraktlních proteinů aktinu a myozinu (Brooks, 2004; Cooper, 2004).

### 1.2.1 Okamžité energetické zdroje (ATP-CrP systém)

Tyto zdroje jsou celkem tři.

První z nich je **vlastní ATP**, který je metabolizován specifickými enzymy, tzv. ATPázami (adenozintrifosfátázami). Protože tato reakce vyžaduje přítomnost  $\text{H}_2\text{O}$ , označuje se degradace ATP jako hydrolyza:



Chemickými produkty hydrolyzy ATP je adenzindifosfát (ADP) a anorganický fosfor ( $\text{P}_i$ ). Tělesná zátěž představuje cyklický proces střídání svalové kontrakce a relaxace, který je provázen kontinuální hydrolyzou ATP na ADP a následně resyntézou ATP díky fosforylaci ADP. Hodnota volné energie vznikající hydrolyzou ATP je přibližně  $7,3 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Druhým okamžitým zdrojem je **kreatinfosfát (CrP)**, též někdy označovaný jako fosfokreatin (PCr). CrP je vysokoenergetická forma kreatinu obohaceného o fosfátovou skupinu a jeho koncentrace ve svalovém vláknu je v průměru šestkrát vyšší než obsah ATP. CrP slouží k regeneraci ATP během svalové práce. Při této reakci, kterou katalyzuje enzym kreatinkináza, dochází ke spojení ADP (který vznikl degradací ATP) a CrP za vzniku ATP a kreatinu:



Z výše uvedené rovnice vyplývá, že CrP je velmi důležitý intracelulární energetický systém, který je schopen rychle nahrazovat depleci ATP při procesech kontrakce.

Třetí okamžitý zdroj energie pro svalovou práci představuje enzymatický systém **adenylátkináza**, zvaný též myokináza. Tento enzym katalyzuje reakci, při níž ze dvou ADP vzniká ATP a AMP (adenozinmonofosfát):



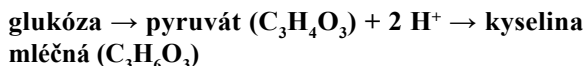
Všechny tři okamžité energetické zdroje a příslušné svalové kinázy jsou hydrosolublní. Intracelulárně se nacházejí v těsném sousedství kontraktlního aparátu aktinu a myozinu, takže jsou okamžitě k dispozici při svalové kontrakci. Kvantitativně jsou ATP a CrP schopny zabezpečit energetické potřeby v případě vysoce intenzivní (maximální) svalové kontrakce nejvýše po dobu 15–20 sekund. Pokud však svalová práce trvá déle, musí se aktivovat další energetické systémy (Cooper, 2004; McArdle, 2014).

### 1.2.2 Neoxidativní (glykolytické) energetické zdroje

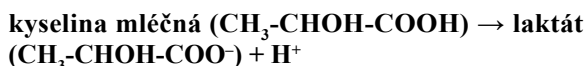
Úvodem je nutno připomenout, že na utilizaci tuků (volných mastných kyselin) je nutný kyslík, proto za anaerobních podmínek je jediným zdrojem energie glukóza a zásobní forma glykogen.

Štěpení glukózy (glykolýza) **probíhá v cytosolu buňky**. Svalová tkáň má obecně vysokou koncentraci glykolytických a glykogenolytických enzymatických systémů, takže je schopna velmi rychle a efektivně obě substance metabolizovat.

Pro zahájení štěpení 1 molekuly glukózy jsou vždy nutné 2 ATP. Při glykolýze 1 molekuly glukózy vznikají vždy 2 molekuly pyruvátu, celkově 4 ATP a 2 molekuly  $\text{NAD}^+$  (nikotinamidadenindinukleotidu) se mění na 2 molekuly NADH. Celkový zisk je tedy v této fázi jen 2 ATP. **Pyruvát se potom teoreticky může dále metabolizovat buď aerobně, nebo anaerobně.** Při anaerobní glykolýze nemohou být  $\text{H}^+$  oxidovány, ale jen se naváží na pyruvát za vzniku kyseliny mléčné:



Kyselina mléčná disociuje na  $\text{LA}^-$  a  $\text{H}^+$ :



Následující schéma ukazuje, že při anaerobní glykolýze vzniknou z jedné molekuly glukózy nakonec pouze