

Obsah

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

3.3 Výdej oxidu uhličitého (VCO_2) (Várnay F.)	63
3.3.1 Průběh křivky VCO_2 v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření	64
3.3.2 Vyšší hodnoty VCO_2 v klidu i během zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření	67
3.3.3 Vzájemné porovnání kinetiky VCO_2 a VO_2 pomocí regresních rovnic a směrnice VO_2 a VCO_2	70
3.3.4 Exces CO_2 – matematický výpočet a graf $ExCO_2$	72
3.3.5 Přehled grafů, na kterých se vyskytuje výdej oxidu uhličitého (VCO_2)	75
3.4 Minutová ventilace (VE) (Várnay F.)	76
3.4.1 Průběh křivky VE při rampovém spiroergometrickém vyšetření	77
3.4.2 Podmínky a postup při analýze přiměřenosti ventilace	78
3.4.3 Prezentace postupu analýzy minutové ventilace u konkrétního pacienta	81
3.4.4 Demonstrace různých „nástrah“ při analýze přiměřenosti ventilace	84
3.4.5 Hypoventilace	90
3.4.5.1 Hypoventilace u obezity (OHS – obesity hypoventilation syndrome)	91
3.4.5.2 Relativní hypoventilace vzhledem k extrémně vysoké hodnotě maximálního dosaženého výkonu (W_{peak}) u velmi výkonného sportovce	94
3.4.6 Přehled grafů, na kterých se vyskytuje minutová ventilace (VE)	95
3.5 VE/VCO_2 slope (Várnay F.)	96
3.5.1 Úvod	96
3.5.2 Rozbor metodiky VE/ VCO_2 slope, konstrukce grafu a výpočet	97
3.5.2.1 Úskalí analýzy VE/ VCO_2 slope – přítomnost oscilující ventilace při zátěži (EOV)	99
3.5.2.2 Závislost VE na VCO_2 v zotavovací (recovery) fázi spiroergometrického vyšetření	100
3.5.2.3 Abnormality VE/ VCO_2 slope a jejich možné příčiny	103
3.5.3 Posouzení přiměřenosti ventilace (VE) k výdeji oxidu uhličitého (VCO_2) pomocí ventilačního ekvivalentu pro CO_2 ($EQCO_2$)	103
3.6 Poměr respirační výměny (RER) (Várnay F.)	106
3.6.1 Popis průběhu poměru respirační výměny v zátěžové i zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření	106
3.6.2 Příklady abnormálního průběhu poměru respirační výměny	110
3.6.3 Význam hodnoty RER_{peak} pro posouzení míry metabolického vytížení při spiroergometrickém vyšetření	113
3.7 Ventilační ekvivalenty (EQ) (Várnay F.)	114
3.7.1 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů v zátěžové části spiroergometrického vyšetření	115
3.7.1.1 Grafické zobrazení a popis normálního průběhu ventilačních ekvivalentů (EQ) v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření	116
3.7.1.2 Popis a grafické zobrazení několika abnormálních křivek ventilačních ekvivalentů (EQ) při spiroergometrickém vyšetření	120
3.7.2 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření	130
3.7.3 Popis průběhu ventilačních ekvivalentů při oscilující ventilaci	135
3.8 Parciální tlak kyslíku na konci výdechu ($PETO_2$) a parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu ($PETCO_2$) (Várnay F.)	136
3.8.1 Úvod a vysvětlení zkratk	136
3.8.2 Průběh $PETO_2$ a $PETCO_2$ při rampovém spiroergometrickém vyšetření a jeho grafické zobrazení	139
3.8.2.1 Průběh $PETCO_2$	139
3.8.2.2 Průběh $PETO_2$	140
3.8.2.3 Grafické zobrazení průběhu $PETCO_2$ a $PETO_2$	140
3.8.3 Jak postupovat v případě nedostupnosti grafu s optimalizovanými osami	147
3.8.4 Přínos $PETCO_2$ pro diagnostiku a stratifikaci plicních a kardiovaskulárních nemocí	147
3.9 Oxygen uptake efficiency slope (OUES) (Várnay F.)	150
3.9.1 Obecné pojednání o vztahu VO_2 a VE	150
3.9.2 Definice, referenční hodnoty, výpočet a konstrukce grafu OUES	152
3.9.3 Analýza a význam OUES	153
3.10 Srdeční frekvence (Mířková L.)	159
3.10.1 Průběh srdeční frekvence při spiroergometrickém vyšetření	159
3.10.2 Nepravidelnosti průběhu srdeční frekvence během spiroergometrického vyšetření	161
3.10.3 Srdeční frekvence při preskripci intenzity pohybových aktivit	164
3.11 Krevní tlak (Mířková L.)	164
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	5	Hodnocení zotavovací fáze (Várnay F.)	213
3.12.2.2	Referenční hodnoty tepového kyslíku ($\text{refVO}_2/\text{SF}_{\text{max}}$)	175	5.1	Kinetika příjmu kyslíku během zotavovací fáze spiroergometrického vyšetření (VO_2rec)	214
3.13	Elektrokardiografie (Várnay F.)	179	5.1.1	Hlavní faktory ovlivňující průběh VO_2 recovery	215
3.13.1	Úvod	179	5.1.2	Metodika hodnocení VO_2 recovery	216
3.13.2	Základní pojmy pro popis ST úseku	180	5.1.2.1	Metoda 1: Hodnocení průběhu křivky VO_2rec	216
3.13.3	Fyziologické změny EKG při zátěži	181	5.1.2.2	Metoda 2: Výpočet $\text{VO}_2\text{-REC}_2$ (respektive $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$)	222
3.13.4	Diagnostické EKG změny svědčící pro ischemii myokardu	182	5.1.2.3	Metoda 3: Výpočet poločasu VO_2rec ($\text{T1/2 VO}_2\text{rec}$)	223
3.13.5	Arytmie během zátěže	182	5.1.3	Klasifikace kinetiky VO_2 v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření	223
3.14	Subjektivní odhad vnímání intenzity zátěže a hodnocení potíží (Mífková L.)	182	5.1.4	Příklad konkrétního postupu analýzy průběhu kinetiky VO_2 recovery	225
3.15	Indexy výkonnosti (Mífková L.)	184	5.2	Hodnocení srdeční frekvence během zotavovací fáze (HRrec)	229
3.15.1	Výkon	184	6	Principy hodnocení výsledku spiroergometrického vyšetření (Várnay F.)	231
3.15.2	Kritický výkon	185	6.1	Datové protokoly	231
4	Ventilační prahy a jejich stanovení, laktátové prahy (Várnay F.)	193	6.2	Grafické zobrazení parametrů spiroergometrického vyšetření	232
4.1	Obecný úvod k energetickému metabolismu	193	6.3	Souhrnná závěrečná zpráva ze spiroergometrického vyšetření	234
4.2	Definice ventilačních prahů a názvosloví	194	7	Specifika spiroergometrického vyšetření u vybraných kardiologických diagnóz (Várnay F.)	237
4.3	Metody stanovení ventilačních prahů a hodnocení prvního ventilačního prahu	194	7.1	Vazospastická angina pectoris (VSA)	237
4.3.1	Stanovení VT1 metodou ExCO_2	196	7.2	Plicní hypertenze	238
4.3.2	Stanovení ventilačních prahů podle průběhu křivky EQO_2 a EQCO_2	196	7.3	Chronické srdeční selhání	241
4.3.3	Stanovení VT1 metodou V-slope	199	7.4	Stav po ortotopické transplantaci srdce (OTS)	241
4.3.4	Metoda stanovení VT1 a VT2 podle průběhu PET křivek	199	7.5	Neobjasněná námahová dušnost (unexplained exertional dyspnea)	242
4.3.5	Metoda stanovení VT2 podle WR6 grafu	200	8	Stanovení intenzity tréninkové zátěže pro kardiologicky nemocné v rámci kardiovaskulární rehabilitace (Mífková L.)	245
4.3.6	Metoda stanovení VT2 podle VE/VCO_2 slope	200	8.1	Kardiovaskulární rehabilitace	245
4.3.7	Úskalí stanovení VT1 a VT2	202	8.1.1	Časná posthospitalizační kardiovaskulární rehabilitace	245
4.3.7.1	Deformovaný průběh V-slope	202	8.1.2	Pokračování posthospitalizační kardiovaskulární rehabilitace (III. fáze – období stabilizace a IV. fáze – udržovací období)	247
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			

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	