SROVNÁNÍ INDIKÁTORŮ ÚNAVY PŘI LIMITNÍM VYTRVALOSTNÍM VÝKONU VRCHOLOVÝCH SPORTOVců A NESPORTOVců

COMPARISON OF INDICATORS FATIGUE DURING LIMITING ENDURANCE EXERCISE IN ELITE ATHLETES AND NON-SPORTSPEOPLE

L. Kovářová¹ & D. Pánek²

¹Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Laboratoř sportovní motoriky

²Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Katedra fyzioterapie

ABSTRACT

The aim of study is to determine whether the parameters evaluation to achieve the limit performance will differ depending on fitness and endurance, or will independent of fitness. The sample included two groups of probands (representatives of the Czech Republic in a short triathlon ($n = 23$) aged 18.7 ± 1.78 years and non-sportspeople, students of the Faculty of Humanities, Charles University ($n = 15$) in age 19.5 ± 1.84 years). To achieve maximum performance, we will use the test on a bicycle ergometer to vita maxima. At the end of the test were monitored selected values of acid-base balance and lactate levels in the blood. Objectification of achieve subjective maximum performance was measured using the Borg scale of fatigue. We were able to find statistically significant differences ($p \leq 0.01$) in the evaluation of parameters related to the metabolism of O_2 (pO_2 , O_2 saturation at Hb), also found a statistically significant correlation between the value of W_{max} and saturation of O_2 to Hb ($r = -0.49$, $p \leq 0.01$) and W_{max} and pO_2 ($r = -0.35$, $p \leq 0.05$). On the contrary, the two groups did not differ statistically when evaluating ABR (Hb, pCO_2 , pH, H^+ , BE, BB) and reaching the final lactate levels.

Keywords: acid-base balance; stress tests; lactate; triathlon

SOUHRN

Cílem studie je zjistit, zda parametry hodnocení dosažení limitního výkonu budou odlišné v závislosti na trénovanosti a výkonnosti, či budou na trénovanosti nezávislé. Výzkumný soubor tvořili dvě skupiny probandů (reprezentanti české republiky v krátkém triatlonu ($n = 23$) ve věku $18,7 \pm 1,78$ let a nesportovci, studenti Fakulty humanitních studií UK ($n = 15$) ve věku $19,5 \pm 1,84$ let). Pro dosažení maximálního výkonu byl zvolen stupňovaný test na bicyklovém ergometru. Na konci testu byly sledovány vybrané hodnoty acidobazické rovnováhy a hladiny laktátu v krvi. Objektivizaci subjektivního dosažení maximálního výkonu hodnocena pomocí Borgovy škály únavy. Podařilo se nám nalézt statisticky významné rozdíly ($p \leq 0,01$) při hodnocení parametrů vztahujícím se k metabolismu O_2 (pO_2 , saturace O_2 na Hb), dále nacházíme statisticky významnou korelaci mezi hodnotou W_{max} a saturací O_2 na Hb ($r = -0,49$; $p \leq 0,01$) a W_{max} a pO_2 ($r = -0,35$; $p \leq 0,05$). Naopak obě skupiny se statisticky nelišily při posuzování koncových hodnot ABR (Hb, pCO_2 , pH, H^+ , BE, BB) a dosažení koncové hladiny laktátu.

Klíčová slova: acidobazická rovnováha; zátěžové testy; laktát; triatlon

Úvod

Vytrvalost (ve smyslu tělesné aktivity) je definována jako schopnost provádět déletrvající tělesnou činnost na určité úrovni, aniž by se snížila efektivita této činnosti. Její úroveň je limitována fyziologicky, z psychologické stránky velmi úzce souvisí s projevy volního úsilí (Dovalil a kol., 1992).

Vytrvalost ve smyslu dlouhodobého odolávání únavě je nezbytná pro dosažení limitního vytrvalostního výkonu, motorické testy jsou pak vhodným nástrojem pro zjišťování úrovně vytrvalosti. V oblasti fyziologie zátěže po mnoho let přetrvával dominantní názor, že limitujícím faktorem ukončení dlouhodobého vytrvalostního zatížení je únava zúčastněných orgánů a ztráta schopnosti

generovat stejný výkon i přes maximální motivaci a vůli zapojení (Hill, Long & Lupton, 1924, Edwards, 1983). Naopak fyziologické a neurologické výzkumy z posledních let se velmi rozcházejí v názoru, zda fyziologické faktory jsou opravdu tím limitujícím faktorem činnosti ukončení, nebo je jím periferní nebo centrální nervový systém (např. Amann & Secher, 2010; Marcora 2010, Smirmaul, Fontes & Noakes, 2010; Noakes 2011, Place & Kayser, 2010). Lidská výkonnost je pravděpodobně různorodý komplex těchto faktorů.

Havlíčková a kol. (2000) dělí únavu z hlediska metabolických místních svalových změn na únavu anaerobně rychle nastupující (vyvolanou zatížením submaximální až maximální intenzity) a aerobně pomalu nastupující (při zatížení střední až mírné intenzity). Rychle vznikající úrava je charakteristická nadprodukcí kyseliny mléčné, která způsobuje pokles pH, což vede k inhibici klíčového glykolytického enzymu fosfofruktokinázy (PFK) a následně k poklesu glykolýzy a snížení resyntézy adenosintrifosfátu (ATP) a kreatinkinázy (CP). Kromě změn metabolických způsobuje acidóza i změny elektrochemické. Nadbytek H^+ iontů vyvolává hyperpolarizaci svalové membrány, čímž dochází ke zpomalení rychlosti vedení akčního potenciálu na svalovém vlákně a následně ke snížení počtu příčných aktinomyozinových můstků. Nástup centrální únavy, která je definovaná jako časoprostorové snížení aktivace alfa motoneuronů ovlivněné vyššími úrovněmi CNS, není doposud vyřešen. Předpokládají se faktory metabolické, neurofyziologické na bázi zpětno-vazebných mechanismů a psychologické, kde významnou roli hraje motivace.

Novák a kol., (1986) uvádí ve svém výzkumu na triatlonistech, že u limitní dlouhodobé vytrvalostní zátěže dochází během výkonu k významnému vzestupu Mg^{++} , anorganického fosforu, poklesu volných mastných kyselin, vzestupu močoviny, kreatininu, koncentraci laktátu, poklesu pH a base excess (BE), vzestupu aktivity enzymů Aspartat-Aminotransferázy (ASAT), kreatinkinázy (CK) a laktát-dehydrogenázy (LDH) a poklesu poměru koncentrace močoviny v moči a v séru. Většina těchto změn souvisí s metabolickými procesy zabezpečujícími dlouhodobý pohybový výkon a upravuje se během krátké doby několika dnů k výchozímu stavu.

Souhrnně však můžeme říci, že otázka svalové únavy není z fyziologického pohledu doposud zcela vyřešena. Pozornost je zaměřena především na problematiku periferního nástupu únavy. Obecně se autoři shodují, že nástup svalové únavy je asociován s narušením Na^+ - K^+ rovnováhy, změnami intracelulárních hodnot pH, akumulací anorganického fosfátu, snížením energetických rezerv nutných pro restituci ATP, akumulací volných radikálů, snížením intracelulární koncentrace Ca^{2+} a

akumulací intracelulárních vodíkových iontů H^+ (Fits, 1994; Bickham, 2003; Carsten, 2006; Lindinger, 2007).

Hodnocení subjektivního vnímání únavy pomocí Borgovy škály

Zátěž a s ní spojenou únavu lze monitorovat z několika různých pohledů a fyziologické procesy hodnotit z hlediska mnoha úzce specifických parametrů. V sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století však vznikla praktická potřeba najít způsob, jak by mohl člověk posuzovat intenzitu zatížení mimo laboratoř.

První škála, která vznikla a později byla upravena, byla právě RPE (Rating of Perceived Exertion). Přestože vznikaly později i další typy škál (CR10, CR100), lze říci na základě výsledků mnoha studií (např. Chen, Fan & Moe, 2002; Marcora & Staiano, 2010), že pro použití našeho měření je RPE škála nejvhodnější. Její stupnice začíná číslem 6, protože klidové hodnoty tepové frekvence většiny populace se pohybují kolem 60 tepů/min a končí číslem 20 (maximální SF v konečné fázi testu se rovněž pohybovala kolem 200 tepů/min). Výhodou hodnocení na Borgově škále je doplnění informací týkajících se vnímání procesů uvnitř těla samotným probandem.

Trénovanost jako míra adaptace na limitní vytrvalostní zátěž

Pojem trénovanost jako aktuální míra přizpůsobení ke konkrétní sportovní činnosti, které je dosahováno tréninkem, není ve sportovní praxi ani teorii tréninku vykládán zcela jednotně. Zúžení bývá tento pojem vztahován pouze na biologické (morfologické a funkční) adaptační změny. Tréninkem pak rozumíme samotný adaptační proces (Dovalil, 1992).

Maximální aerobní výkon je definován jako maximální množství z přijatého kyslíku, který je organismus schopen zpracovat při svalové práci. Více kyslíku spotřebovávaného ve svaích znamená více energie vytvářené efektivním aerobním způsobem, méně odpadních látek a tím i vyšší výkon a oddálení únavy. Absolutní či relativní hodnoty (přepočítané na kg hmotnosti) jsou používány jako bazální ukazatel vytrvalosti (Grasgruber & Cacek, 2008). Individuální hodnota VO_{2max} je výsledkem vzájemné interakce centrálních (kardiorespiračních) a periferních (svalových) faktorů. Hlavními limitujícími činiteli VO_{2max} jsou výkon srdce a schopnost krevního oběhu transportovat kyslík, u trénovaných sportovců pak i kapacita plic (Bassett & Howley, 2000; Grasgruber & Cacek, 2008). Jednou z neefektivnějších metod zjištění hodnoty maximálního aerobního výkonu je laboratorní vyšetření do vita maxima na běžecím koberci, popř. na cyklistickém ergometru.

Tabulka 1. Základní charakteristika analyzovaných parametrů.
Table 1. Basic characteristics of the analyzed parameters.

Název parametru	Zkratka parametru	Klidové hodnoty	Jednotky měření
Name of the parameter	Abbreviation	Rest values	Units of measurement
Hemoglobin	Hb	150	g.l ⁻¹
Parciální tlak kyslíku	pO ₂	9.3 - 15.5	kPa
Parciální tlak oxidu uhličitého	pCO ₂	5.3 ± 0.5	kPa
Potential of hydrogen	pH	7.40 ± 0.04	
Koncentrace volných vodíkových iontů	H ⁺	40	nmol.l ⁻¹
Base Excess	BE	0 ± 2	mmol.l ⁻¹
Buffer Base	BB	48	mmol.l ⁻¹
Saturace hemoglobinu kyslíkem	O ₂ SAT	97	%
Laktát	LA	0.6–2.1	mmol.l ⁻¹

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že parametry závislé na stupni trénovanosti a výkonnosti, které do jisté míry souvisí i s předpoklady pro dosažení tohoto stavu, budou u skupiny vysoce trénovaných jedinců vyšší. Zároveň předpokládáme, že sportovci budou adaptováni na stavy spojené s tímto diskomfortem a tato adaptace jim umožní dosáhnout statisticky odlišných hraničních hodnot sledovaného fyzického zatížení než u nesportovců, kde naopak předpokládáme sníženou (nulovou) míru adaptace na tento typ zátěže.

Cíl

Cílem výzkumu bylo srovnat ukazatele dosažení limitního výkonu u sportovců a nesportovců a zjistit vztah těchto ukazatelů k míře trénovanosti.

Metodika

Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořily dvě skupiny probandů.

1. Reprezentanti české republiky v krátkém triatlonu (n = 23; 14 mužů a 9 žen) v kategoriích dorostu, juniorů a K23 ve věku 18,7 ± 1,78 let.

2. Nesportovci, studenti Fakulty humanitních studií UK (n = 15; 9 mužů a 6 žen) ve věku 19,5 ± 1,84 let.

První skupinu tvoří tedy probandi s vysokou mírou adaptace na vytrvalostní limitní typ zatížení, druhou skupinu tvoří nesportovci bez zkušenosti s vrcholovým ani výkonnostním sportem, předpokladem zařazení do této skupiny byl právě tento požadavek a absence jakéhokoli vytrvalostního typu sportu v jejích anamnéze.

Výzkumné metody

Pro dosažení maximálního výkonu byl zvolen stupňovaný test na bicyklovém ergometru. Test byl

realizován ve standardních podmínkách na laboratorním přístroji Cyclus 2, který umožňuje použití vlastního rámu kola. Intenzita zatížení v prvním úseku byla stanovena výpočtem.

Skupina reprezentantů: Power (W) = hmotnost probanda (kg) * 2,5 [1]

Skupina nesportovců: Power (W) = hmotnost probanda (kg) * 1,5 [2]

Délka každého úseku byla 2 minuty, intenzita zatížení se stupňovala o 25 W na počátku každého dalšího započatého úseku. Po celou dobu testu byly snímány respirační ukazatele pomocí přístroje CORTEX Metalyzer. Na konci testu byl odebrán vzorek krve z bříška prstu horní končetiny pro analýzu vybraných hodnot acidobazické rovnováhy a hladiny laktátu v krvi. Pro analýzu hodnot byly použity přístroje Combi line a Biosen C-line. Pro objektivizaci subjektivního dosažení maximálního výkonu byli probandi na konci testu vyzváni k subjektivnímu hodnocení vnímání únavy pomocí Borgovy škály. Doba celého testu byla předběžně kalkulována na 10 – 14 minut.

Statistické zpracování dat

V rámci analýzy jsme hodnotili tyto parametry krve (Tabulka 1). V Tabulce uvádíme název parametru, dále jeho zkratku používanou ve výsledkové části, klidové hodnoty daného parametru a jednotky měření.

Dále byly hodnoceny indikátory výkonnosti a trénovanosti a úroveň subjektivního vnímání únavy pomocí Borgovy škály (Tabulka 2).

Tabulka 2. Základní charakteristika analyzovaných parametrů výkonu a subjektivního vnímání únavy.
Table 2. Basic characteristics of the analyzed parameters of performance and subjective perception of fatigue.

Název parametru	Zkratka parametru	Jednotky měření
Name of the parameter	Abbreviation	Units of measurement
Maximální příjem kyslíku na 1 kg hmotnosti	VO _{2max}	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹
Borgova škála únavy (6 – 20)	Borg	
Maximální relativní výkon	W _{max}	W.kg ⁻¹

Tabulka 3. Základní statistická charakteristika analyzovaných parametrů.
Table 3. Basic statistical characteristics of the analyzed parameters.

Parametr	Skupina	Průměr	95% konfidenční interval průměru		Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
			Dolní mez	Horní mez			
Parametr	Sample	Mean	95% Confidence Interval for Mean		Std. Deviation	Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound			
Hb	1	164.29	157.99	170.58	13.84	135.00	201.00
	2	172.36	159.25	185.46	22.70	132.00	205.00
pO ₂	1	10.54	10.06	11.01	1.10	7.91	12.18
	2	12.73	11.37	14.08	2.45	10.79	18.76
pCO ₂	1	4.81	4.49	5.13	0.74	3.69	6.42
	2	4.64	4.36	4.92	0.50	3.81	5.56
pH	1	7.26	7.24	7.28	0.05	7.152	7.368
	2	7.25	7.22	7.29	0.06	7.176	7.382
H ⁺	1	54.89	52.12	57.65	6.40	42.90	70.50
	2	56.18	52.09	60.27	7.39	41.50	66.60
BE	1	-11.14	-13.17	-9.12	4.45	-18.40	-1.60
	2	-9.71	-14.69	-4.72	8.25	-17.20	13.60
BB	1	35.20	29.94	40.45	11.54	-11.50	45.80
	2	37.14	34.67	39.61	4.09	32.40	45.30
O ₂ SAT	1	93.55	92.64	94.46	2.00	89.90	96.00
	2	96.12	95.36	96.87	1.25	94.60	98.30
VO _{2max}	1	62.89	58.98	66.80	9.05	46.70	83.00
	2	42.07	37.05	47.08	9.05	27.00	67.00
Borg	1	19.43	19.12	19.75	0.73	17.00	20.00
	2	19.27	18.59	19.94	1.22	16.00	20.00
LA	1	8.54	7.62	9.47	2.14	4.40	13.60
	2	8.55	7.12	9.98	2.58	3.20	12.80
W _{max}	1	4.68	4.46	4.90	0.51	3.60	5.60
	2	2.69	2.30	3.08	0.70	1.50	4.30

Legenda:

1 – reprezentanti, triatlonisté

2 - nesportovci

Pro analýzu dat byla nejprve využita základní explorativní analýza. Pro porovnání jednotlivých souborů jsme, vzhledem k jejich charakteristice a splnění podmínky normality rozložení dat, použili parametrický nepárový t-test pro dva soubory. Pro zpracování dat byl použit program SPSS PASW Statistics 18. Statistickou významnost jsme posuzovali na hladině 0,05.

Organizace výzkumu

Data byla od jednotlivých respondentů získávána v Laboratoři sportovní motoriky UK FTVS. Probandi byli nejprve podrobně seznámeni s protokolem testu a po jejich rozsvícení byl zahájen samotný test. Výzkum byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod evidenčním číslem 097/2012.

Výsledky

Tabulka 3 prezentuje základní charakteristiky parametrů prezentovaných v Tabulce 1 a Tabulce 2 naměřených v obou skupinách probandů (průměr, 95% konfidenční interval průměrné hodnoty, směrodatnou odchylku a minimální a maximální naměřenou hodnotu.

Tabulka 4 pak uvádí výsledky parametrického t-testu pro dva nezávislé soubory (triatlonisté, nesportující) pro parametry prezentované v Tabulce 1 a Tabulce 2.

Z výsledků lze vyčíst, že obě testované skupiny dosáhly nestatisticky významných rozdílů ($p = 0,598$) v hodnotách subjektivního vnímání únavy (Borgova škála únavy). V tohoto výsledku je patrné, že probandi obou skupin dosáhly na konci testu svého subjektivního maxima, což bylo pro další interpretaci výsledků klíčové. Zároveň se potvrdil náš předpoklad, že došlo k statisticky významným změnám parametru dosažení maximálního relativního výkonu ($p \leq 0,01$) a maximální relativní spotřebě kyslíku ($p \leq 0,01$). Naopak obě skupiny se statisticky nelišily při posuzování koncových hodnot acidobazické rovnováhy (ABR) (Hb, $p\text{CO}_2$, pH, H^+ , BE, BB) a dosažení koncové hladiny laktátu. Oproti tomu došlo ke statisticky významným rozdílům ($p \leq 0,01$) při hodnocení parametrů vztahujícím se k metabolismu O_2 ($p\text{O}_2$, $p = 0,001$; saturace O_2 , $p = 0,000$).

Tabulka 4. Výsledky parametrického t-testu pro dva nezávislé soubory.

Table 4. Results of parametric t-test for two independent samples.

Parametr	Levenův test rovnosti rozptylů		t-test rovnosti průměrů					
	F	p	t	p (2 chvosty rozdělení)	Průměrný rozdíl	Standardní chyba rozdílu	95% konfidenční interval rozdílu	
							Dolní	Horní
Parametr	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
	F	p	t	p (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
Hb	4.02	0.053	-1.31	0.199	-0.81	0.62	-2.06	0.45
pO2	3.20	0.082	-3.76	0.001	-2.19	0.58	-3.37	-1.01
pCO2	4.05	0.052	0.75	0.457	0.16	0.22	-0.28	0.61
pH	0.56	0.461	0.47	0.641	0.01	0.02	-0.03	0.04
H ⁺	0.54	0.468	-0.57	0.570	-1.29	2.26	-5.87	3.28
BE	1.78	0.191	-0.66	0.514	-1.44	2.17	-5.86	2.99
BB	1.07	0.308	-0.58	0.565	-1.94	3.34	-8.74	4.86
O ₂ SAT	4.76	0.037	-4.14	0.000	-2.57	0.62	-3.83	-1.31
VO _{2max}	0.07	0.796	6.93	0.000	20.82	3.00	14.73	26.92
Borg	2.12	0.154	0.53	0.598	0.17	0.32	-0.47	0.81
LA	0.66	0.422	-0.01	0.990	-0.01	0.77	-1.57	1.55
W _{max}	0.97	0.330	10.14	0.000	1.99	0.20	1.59	2.39

Diskuze

Výzkum přinesl celou řadu odpovědí, ale i nových otázek, na které bychom nyní rádi reagovali. Potvrdil se náš předpoklad, že došlo k statisticky významným změnám v parametru dosažení maximálního relativního výkonu ($p \leq 0,01$) a maximální relativní spotřebě kyslíku ($p \leq 0,01$) u obou skupin, což potvrzuje celá řada předešlých výzkumů (např. Butts & McLean, 1991; Sleivert & Wenger, 1993; Zhou, Robson, King, & Davie, 1997; Sleivert & Rowlands, 2000) a poukazuje na fakt, že sportovci jsou lépe trénováni a adaptováni na vyšší výkon a tomu odpovídá vyšší maximální aerobní výkon jako bazální ukazatel vytrvalosti.

Až na několik probandů dosáhli všichni maximálních hodnot (19 – 20) na Borgově škále únavy. Probandi, kteří dosáhli nižších hodnot (16 – 17) zároveň dosáhli nižších (vyšších) koncových hodnot ABP a hladiny laktátu. Identický nález v Borgově škále při stejné hladině laktátu nejspíše hovoří o obdobném vnímání periferního nástupu únavy, kdy překročení limitní hladiny laktátu v periferní krvi je vnímáno v obou skupinách shodně. Z tohoto bychom mohli uvažovat, že existuje jednotný model pro vyhodnocení nástupu únavy v obou skupinách. O výkonu pak bude rozhodovat trénovanost (neboli schopnost využití energetického přísunu) a s ní spojená motivační složka.

Statisticky nevýznamné rozdíly při posuzování koncových hodnot ABR (Hb, PCO_2 , pH, H^+ , BE, BB) a dosažení koncové hladiny laktátu u obou sledovaných skupin dokládají, že tento diskomfortní stav rozvratu acidobazické rovnováhy není závislý na míře trénovanosti a výkonnosti daného sportovce ani na jeho vytrvalostních předpokladech. Adaptace a opakovaná zkušenost organismu v tomto typu zátěže tedy nehraje významnou roli.

K jinému závěru docházíme při interpretaci výsledků parametrů spojených s metabolismem kyslíku (pO_2 , saturace O_2 na hemoglobin). Vyšší hodnoty pO_2 a O_2SAT v krvi nesportovců mohou odpovídat nižší schopnosti využití energetických zásob pro výkon, resp. neschopnosti dostatečně využít přísun kyslíku ke zvýšení fyzického výkonu. Normálně je 97 % kyslíku v krvi proudící z plic do periferních tkání vázáno na hemoglobin (Hb). Zbývající 3 % jsou fyzikálně rozpuštěné v plazmě. Vazba kyslíku na Hb je samozřejmě reverzibilní. Hemoglobin se sytí kyslíkem podle parciálního tlaku kyslíku. To znázorňuje saturační křivka. Ta má jednoznačně esovitý tvar, to ukazuje na fakt, že i při poměrně vysokém snížení parciálního tlaku kyslíku v krvi se saturace hemoglobinu výrazně nezmenší. Pokud je pO_2 vysoký, kyslík se váže na hemoglobin (př. plicní kapiláry), pokud je pO_2 nízký, kyslík vystupuje z vazby s hemoglobinem (př. tkáňové kapiláry), čímž dochází ke snížení jeho

saturace. V krvi, která je z 97 % satureována, je na 100 ml krve 19,4 ml kyslíku vázaného na hemoglobin. Po průchodu tkáněmi se tato hodnota sníží na 14,4 ml O_2 (pO_2 40 mm Hg, saturace 75 %). Z toho vyplývá, že normálně se z krve do tkání uvolňuje 5 ml O_2 z každých 100 ml krve (z 5 l krve je to 250 ml O_2). Při usilovném cvičení se z hemoglobinu uvolňuje více kyslíku, až ho nakonec navázaného na Hb zůstane jen 4,4 ml ve 100 ml krve. Do tkáně se tedy dostává 15 ml O_2 z každých 100 ml krve ($= 19,4 - 4,4$). Uvolňování kyslíku se tak zvýší trojnásobně, což se zvýšením srdeční akce – šestkrát až sedmkrát – dává až dvacetinásobné zvýšení transportu kyslíku do tkání (Trojan a kol., 2003) a právě v tomto metabolickém procesu je zřejmě rozdíl mezi vrcholovými sportovci a nesportovci. Otázkou zůstává, zda je tento výsledek způsoben pouze rozdílnou mírou adaptace na zátěž, či hraje roli míra vrozených dispozic. Odpověď bude patrně jakými váženým poměrem těchto dvou tvrzení, pro relevantní odpověď bychom ale museli provést detailnější analýzy.

Dále nás proto zajímal i sám vztah mezi maximálními hodnotami spotřeby kyslíku (VO_{2max}) a maximálním výkonem (W_{max}) (tedy indikátory trénovanosti) a výsledky parametrů ABR spojených s metabolismem kyslíku (pO_2 , saturace O_2 na hemoglobin). Zde nacházíme statisticky významnou korelaci mezi hodnotou W_{max} a saturací O_2 ($r = -0,49$; $p \leq 0,01$) a W_{max} a pO_2 ($r = -0,35$; $p \leq 0,05$). Korelace s maximální hodnotou spotřeby kyslíku (VO_{2max}) však statisticky významné nejsou. Z těchto výsledků bychom se mohli domnívat, že existuje vzájemný vztah mezi parametrem dosažením maximálního výkonu a parciálním tlakem kyslíku.

Závěr

Při hledání rozdílů mezi testovanými skupinami v hodnocených parametrech dosažení maximálního limitního vytrvalostního výkonu jsme nenašli statisticky významné rozdíly u koncových hodnot ABR (Hb, pCO_2 , pH, H^+ , BE, BB), dosažení koncové hladiny laktátu ani v subjektivním vnímání únavy pomocí Borgovy škály. Z tohoto pohledu lze tedy usuzovat, že existuje jednotný model pro vyhodnocení nástupu únavy a míra rozvratu acidobazické rovnováhy není závislá na trénovanosti a výkonnosti daného jedince ani na jeho vytrvalostních předpokladech. Naopak se podařilo nalézt statisticky významné rozdíly ($p \leq 0,01$) při hodnocení parametrů vztahujícím se k metabolismu O_2 (pO_2 , saturace O_2 na Hb), což ukazuje na jistou míru neschopnosti dostatečně využít přísun kyslíku ke zvýšení fyzického výkonu u nesportovců. Tento závěr podporují i nalezené statisticky významné korelace mezi hodnotou W_{max} a saturací O_2 na Hb ($r = -0,49$; $p \leq 0,01$) a W_{max} a pO_2 ($r = -0,35$; $p \leq 0,05$).

Literatura

- Amann, M., & Secher, N. H. (2010). Point: afferent feedback from fatigued locomotor muscles is an important determinant of endurance exercise performance. *Journal Of Applied Physiology*, 108(2), 452-454.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70 – 84.
- Bickham, D. C. (2003). Extracellular K⁺ accumulation: a physiological framework for fatigue during intensive exercise. *Journal of Physiology*, 554(3), 593.
- Butts, N. K., & Mclean, D. (1991). Correlations between VO₂ max and performance times of recreational triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31, 339-344.
- Carsten, J. Muscle fatigue and reactive oxygen species. (2006). *Journal of Physiology*, 1, 576.
- Chen, J. M., Fan, X., & Moe, T. S. (2002). Criterion – related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta – analysis. *Journal of Sport Science*, 20, 873 – 899.
- Dovalil J. a kol. (1992). *Sportovní trénink (Lexikon základních pojmů)*. Praha: Univerzita Karlova.
- Edwards, H. T. (1983). Biochemical bases for fatigue in exercise performance: catastrophe theory in muscular fatigue. In Knuttgen H. G., Vogel J. A., & Poortmans J. *Biochemistry of exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1–28.
- Fits, R. H. (1994). Cellular mechanism of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 545, 229-240.
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press a.s.
- Havlíčková, L. a kol. (2000). *Fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum.
- Hill, A. V., Long, C. N. H., & Lupton, H. (1924). [Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Parts I–III](#). *Proceedings of the Royal Society of London*, 97, 438–75.
- Lindinger, M. I. (2007). Combating muscle fatigue: extracellular lactic acidosis and catecholamines. *Journal of Physiology*, 581(2), 419.
- Marcora, S. (2010). Counterpoint: afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. *Journal Of Applied Physiology*, 108(2), 454-456.
- Marcora, S. M., & Staiano, W. (2010). The limit to exercise tolerance in human: Mind over muscle? *European Journal of Applied Physiology*, 109, 763–770.
- Noakes, T. (2011). Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, 36(1), 23-35.
- Novák, J. a kol. (1986). Biochemické změny v krvi a v moči po vytrvalostním triatlonu u účastníků mladších a starších 35 let. *Sport ve zdraví a nemoci II. část*. Praha: ÚV ČSTV.
- Pick, P. (2004). Poruchy acidobazické regulace. In Schneiderka P. a kol. *Kapitoly z klinické biochemie*. Praha: Karolinum.
- Place, N., & Kayser, B. (2010). Limitation of performance and the brain: simply more complex. *Journal Of Applied Physiology*, 108(2), 463.
- Sleivert, G., & Rowlands, D. S. (2000). Physical and physiological factors associated with success in triathlon. *Sports Medicine*, 22, 8-18.
- Sleivert, G. G., & Wenger, H. A. (1993). Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 871-876.
- Smirmaul, B. C., Fontes, E. B., & Noakes, T. D. (2010). Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is important, but not limiting, for endurance exercise performance. *Journal Of Applied Physiology*, 108(2), 458.
- Trojan, S. a kol. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Zhou, S., Robson, J., King, M. J., & Davie, A. J. (1997). Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37, 122-130.

Mgr. Lenka Kovářová, Ph.D., MBA
FTVS UK Praha
José Martího 31
16252 Praha 6
lkovarova@ftvs.cuni.cz