

## Laboratórne možnosti stanovenia maximálnej spotreby kyslíka: testujeme skutočne maximálne hodnoty?

### Laboratory determination of maximum oxygen consumption. Do we actually test the maximum values?

Ivan Struhár

Fakulta športovních štúdií, Masarykova univerzita, Brno

#### Abstrakt

Hlavným cieľom práce je priblížiť čitateľovi súčasný stav a laboratórne možnosti stanovenia maximálnej spotreby kyslíka. Uvedené problematika je stále aktuálna, odborná verejnosť neustále diskutuje nad dizajnom testovacieho protokolu. Čitateľovi práce chceme poskytnúť nielen objektívny pohľad na koncipovanie testovacieho protokolu, ale i vzbudiť záujem nad posúdením validity zvolených kritérií dosiahnutia maximálnych hodnôt. Vo všeobecnosti primárnym kritériom validity je plató v hodnote  $VO_2$  ( $\leq 150$  ml/min) medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami zaťaženia. V odbornej literatúre však nachádzame i prísnejšie hodnoty, ktoré podmieňujú splnenie tohto primárneho kritéria ( $\Delta VO_2 \leq 50-100$  ml/min). Potvrdenie najčastejšie používaných sekundárnych kritérií (hodnota respiračného kvocientu  $\geq 1,15$  na konci testu a maximálna srdcová frekvencia na konci testu  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej srdcovej frekvencie) je v dnešnej dobe stále považované za potrebné i vzhľadom ku uisteniu dosiahnutia subjektívneho maxima. V súčasnosti sa do popredia dostáva koncept používania verifikačnej fázy protokolu, ktorá zvyčajne nasleduje do  $\leq 20$  minút od skončenia testovacieho protokolu.

Uvedená práca nie je metaanalýzou, článok poskytuje základné informácie a uvádza do problematiky záťažovej diagnostiky. Kľúčovým aspektom platných kritérií maximálnej spotreby kyslíka je to, že by mali byť objektívne a špecifické pre daného probanda.

#### Abstract

The main aim of the article is to enhance the reader interest to the current state of determination of maximum oxygen consumption. The issue is still current. Scientists are constantly discussing the testing protocol design.

We want to provide not only an objective view on concept of the testing protocol, but also we want to have a keen interest in validity criteria of maximum oxygen consumption. In general,  $VO_2$  changes  $\leq 150$  ml/min between two consecutive stages is still considered as the primary criteria. On the other hand, we can also found more strict values  $VO_2$  changes  $\leq 50-100$  ml/min in scientific literature. Besides that, the secondary criteria are often used the respiratory exchange ratio  $\geq 1.15$  and reached  $\geq 90\%$  age predicted maximum heart rate). Subsequently, recent evidence suggests that using verification phase is a valid tool for scientist (verification phase usually starts until 20 minutes after the completion of the progressive test).

This article is not a meta-analysis. The article provides basic information about the field of performance diagnostics. Key aspects of valid  $VO_{2max}$  criteria are that they should be objective and specific to the subject.

**Kľúčové slová:** záťažová diagnostika, plató  $VO_2$ ,  $VO_{2max}$ , spiroergometria, validita.

**Key words:** performance diagnostics, plateau in  $VO_2$  uptake,  $VO_{2max}$ , spiroergometry, validity.

## ÚVOD

Maximálnu spotrebu kyslíka ( $VO_{2max}$ ) možno definovať ako maximálnu integrovanú kapacitu dýchacieho, kardiovaskulárneho a svalového systému v oblasti prijmu, transportu a využitia kyslíka ( $O_2$ ) počas progresívne sa zvyšujúcej intenzity pohybového zaťaženia (Poole, Wilkerson, & Jones, 2008).  $VO_{2max}$  je stále vo všeobecnosti chápané ako jeden zo základných pilierov záťažovej diagnostiky, ktorý má nielen popisný charakter probanda. Súčasne je táto hodnota považovaná za ukazovateľ zmeny výkonnosti športovca. Tradične, táto hodnota je získaná prostredníctvom testu do Vita maxima (test s postupne zvyšovanou záťažou, ktorý vedie k únave). Koncept testovania  $VO_{2max}$  bol prvýkrát predstavený už začiatkom dvadsiatych rokov 20. storočia (Hill, Long, & Lupton, 1924), kde autori preukázali použitie rampového a stupňovaného protokolu ako validný spôsob zistenia  $VO_{2max}$ . Pri samotnom testovaní sa však výskumník stretáva s viacerými premennými, ktoré určujú samotný výsledok testu. Modifikovanými parametrami, ktoré výlučne závisia od výskumníka, je intenzita záťaže a čas úseku pri danej intenzite (intenzita na bežiacom páse vyjadrená rýchlosťou a sklonom; v prípade (bi)cyklového ergometru je hodnota výkonu vyjadrená vo wattoch). Cieľom práce je priblížiť čitateľovi súčasný stav a laboratórne možnosti stanovenia maximálnej spotreby kyslíka. Práca nie je metaanalýzou, našim cieľom je vzbudiť u čitateľa záujem o danú problematiku. Práca si takisto kladie za cieľ vyvolať diskusiu, ktorá môže iniciovať prípadne prehodnotenie v súčasnosti používaných protokolov. Nechceme a netvrdíme dogmaticky naše odporúčania. V článku pracujeme už s publikovanými štúdiami prevažne zahraničných autorov, avšak v rámci podporenia prezentovaných zistení v práci používame formuláciu „z našich praktických meraní“. Jedná sa výhradne o nepublikované dáta. Tieto dáta nevyjadrujeme numericky, ale prezentujeme ich v nami sledovanom trende. Uvedomujeme si, že tento postup môže vyvolať nesúhlas u čitateľa práce, avšak našim cieľom nie je metaanalýza zistených výsledkov, ale prezentácia nášho pohľadu na možný spôsob testovania, resp. možné zamyslenie pred nastavením testovacieho protokolu. Prípadne, čitateľ práce má možnosť porovnať zaužívané protokoly pri testovaní  $VO_{2max}$  s protokolmi s presne ohraničenou časovou dĺžkou a intenzitou zaťaženia. Vzhľadom k lepšej orientácii, text delíme do 3 častí, kde v prvej popisujeme kritéria validity, následne dizajn testovacieho protokolu a nakoniec možné zaradenie verifikačnej fázy v protokole.

### 1. KRITÉRIA VALIDITY DOSIAHNUTIA MAXIMA

Odborná verejnosť stále až do dnešného dňa diskutuje o podobe záťažového protokolu. K problematike testovania do Vita maxima však okrem samotného dizajnu testu potrebujeme poznať i kritéria validity dosiahnutia maxima, ktoré nám potvrdia, že tento hypotetický bod (uvádzame zámerne) proband dosiahol.

V literatúre sa najčastejšie stretáme s nasledovnými (Coquart, Tabben, Farooq, Tourny, & Eston, 2016; Lucía et al., 2006; Mier, Alexander, & Mageean, 2012; Poole, Wilkerson, & Jones, 2008):

1. Dosiahnutie tzv. plató v hodnote  $VO_2$  ( $\leq 150$  ml/min) medzi dvoma po sebe nasledujúcimi zvýšeniami intenzity zaťaženia.
2. Hodnota respiračného kvocientu (RQ)  $\geq 1,15$  na konci testu.
3. Subjektívne vyjadrenie záťaže na Borgovej škále  $\geq 17$ .
4. Dosiahnutie  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej srdcovej frekvencie (SF) (220-vek).
5. Hodnota laktátu na konci testu  $\geq 8$  mmol/l

Uvedomujeme si, že kritérium dosiahnutie hodnoty  $SF \geq 90\%$  maximálnej predikovanej srdcovej frekvencie z vzorca 220-vek nie je považované za objektívne. Avšak toto kritérium nachádzame v odbornej literatúre i v súčasnosti. Navyše toto kritérium nie je na prvom mieste posúdenia kritérií validity dosiahnutia maxima. Preto sme názoru, že používanie tohto kritéria má stále svoje opodstatnenie i vzhľadom k dosiahnutiu subjektívneho maxima testovanej osoby. Preto nevidíme dôvod takto nastavené kritérium nepoužívať i naďalej. Na splnenie validity testu je všeobecne akceptované splnenie aspoň troch parametrov. Upozorňujeme čitateľa práce, že splnenie validity býva diskutabilné a často v kompetencii výskumníka, ktoré kritéria si zvolí.

Pri detailnejšom preskúmaní kritéria validity dosiahnutia maxima sa v prácach stretávame i s ďalším delením kritérií a to na *primárne a sekundárne*.

V tomto uvažovaní je v literatúre za primárny a najpresvedčivejší dôkaz akceptované dosiahnutie  $VO_{2max}$  tzv. plató v hodnote  $VO_2$ . Teória tzv. plató v hodnote  $VO_2$  bola prvýkrát (podľa autorovej informácie) potvrdená výskumom kolektívu autorov (Taylor, Buskirk, & Henschel, 1955), ktorí odhalili stagnáciu príjmu  $O_2$  pri zvyšujúcej sa záťaži u 108 z 115 probandov práve na hodnote ( $\Delta VO_2 < 150$  ml/min). Vyššie uvedená hodnota  $VO_2$  ( $\leq 150$  ml/min) však nesmie byť považovaná za dogmu. Hodnota  $\Delta VO_2 \leq 150$  ml/min medzi dvoma stupňami záťaže však už takisto bola podrobená kritike. Uvažovanie považujeme za správne z hľadiska použitia samotného protokolu. V prácach autorov však nachádzame i prísnejšie kritérium validity  $\Delta VO_2$  medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami záťaže a to najčastejšie konkrétne hodnoty v intervale  $\Delta VO_2 \leq 50-100$  ml/min (Astorino et al., 2000; Cumming & Friesen, 1967). V súvislosti s touto hodnotou nachádzame dve zaujímavé štúdie, ktoré sa uvedenou problematikou zaoberali. Výskyt tzv. plató v hodnote  $\Delta VO_2$  ( $\leq 150$  ml/min) autori (Lucia et al., 2006) v prvom prípade zaznamenali len u 47 % probandov (profesionálni cyklisti,  $n = 38$ ,  $VO_{2max} = 73.5 \pm 5.5$  mL  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>  $\cdot$  min<sup>-1</sup>). V druhom prípade, v testovanej skupine elitných britských atlétov (beh 800 - 42,195 m) bol výskyt dokonca ešte menší (Doherty, Nobbs, & Noakes, 2003) a to len 39% ( $n = 14$ ) u mužov a 25 % ( $n = 4$ ) u žien. Uvedené štúdie uvádzame zámerne s cieľom nastolenia hypotetickej otázky u čitateľa. Ak dosiahnutie tzv. plató v hodnote  $VO_2$  predstavuje skutočný nástup obmedzenia dodávky  $O_2$  do kostrového svalstva, ktorá následne vedie k procesom zastavenia resp. minimálneho zníženia intenzity, prečo tento ukazovateľ nebol zaznamenaný u vyššie spomenutých športovcov vo väčšom percentuálnom počte? Navyše, športovci na najvyššej úrovni, predpokladajme, majú motiváciu dosiahnutia čo najlepšieho umiestnenia a výkonu vyššiu ako rekreačne športujúca časť populácie.

Nemenej podstatnou časťou je spôsob samotného určenia plató v hodnote  $VO_2$ . Otázkou, ktorá častokrát spôsobuje vzájomnú neporovnateľnosť výsledkov je elementárna, avšak častá chyba a to časový interval výpočtu priemerných hodnôt ventilačných ukazovateľov. Je jasné, že  $\Delta VO_2$  medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami záťaže je menšia v prípade kratšieho intervalu (hodnoty tzv. breath-by breath, 2 sekundy, 5 sekúnd) v porovnaní s hodnotami v intervale 30-60 sekúnd. Chceme tým upozorniť čitateľa na možnú chybu, či už pri vyhodnocovaní dát resp. pri práci s odbornou literatúrou.

Častým problémom je však otázka, či je možné zistený výsledok považovať za validný a tým priamo za hodnotu  $VO_{2max}$ . Odpoveď je nejednoznačná, a v súčasnosti nechceme dogmaticky tvrdiť áno, respektíve nie. **Určite však sme názoru, že primárne kritérium by malo byť splnené a následne by mal proband na konci testu splniť minimálne dve ďalšie sekundárne kritéria.** Vyššie v texte sme spomenuli, že v rámci našich praktických meraní považujeme za sekundárne kritéria práve dosiahnutie hodnoty  $RQ \geq 1,15$  na konci testu a  $SF$  na konci testu  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej srdcovej frekvencie (220-vek). Tieto kritéria však nenahrádzajú plató v hodnote  $VO_2$ . Skôr ich odporúčame chápať ako potvrdenie toho, že proband vyvinul počas testu svoje subjektívne maximum i napriek tomu, že nie sme schopní jasne preukázať plató v hodnote  $VO_2$ . Následná interpretácia hodnôt a tým potvrdenie validity testu je opäť závislá na použitej metóde.

ke. Podobnú situáciu sme dokumentovali na hodnote  $\Delta VO_2$  medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami záťaže. Ak hovoríme o  $RQ \geq 1,15$  na konci testu a  $SF$  na konci testu  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej srdcovej frekvencie (220-vek) v odborných prácach zaznamenávame odlišné výsledky dosiahnutia spomenutých hodnôt (Adrian W. Midgley & Carroll, 2009; Poole, Wilkerson, & Jones, 2008). V tomto uvažovaní nachádzame zaujímavú štúdiu, ktorá porovnáva hodnoty  $RQ$  a  $SF_{max}$  na konci testu (Adrian W. Midgley, Carroll, Marchant, McNaughton, & Siegler, 2009). V práci autori porovnávali hodnoty sekundárnych kritérií u 20 bežcov a cyklistov ( $37,6 \pm 5,8$  rokov; telesná výška  $1,75 \pm 0,07$  m; telesná hmotnosť  $71,6 \pm 8,4$  kg). Výsledky poukazujú, že v prípade  $RQ \geq 1,15$  túto podmienku splnilo len 14 probandov a v prípade  $SF_{max} \geq 90\%$  predikovanej maximálnej  $SF$  18 probandov. V prípade, ak by sme kritérium  $RQ$  znížili  $\geq 1,10$ , túto podmienku by splnilo 19 a  $RQ \geq 1,05$  všetkých 20 probandov. Uvedené hodnoty opäť potvrdzujú, že kritéria sú závislé od rozhodnutia výskumníka. Autori vo vyššie uvedenej štúdií avšak označujú tradičné sekundárne kritéria, už v dnešnej dobe, za obsolentné a nevalidné k dnešnej praxi.

**Z našich praktických meraní však používame nasledovné:**

1.  $\Delta VO_2 \leq 100$  ml/min (*primárne kritérium*);
2. Hodnota  $RQ$  na konci testu  $\geq 1,15$  (*sekundárne kritérium*);
3.  $SF$  na konci testu  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej  $SF$  (*sekundárne kritérium*).

Naše kritéria sú v súlade s kolektívom autorov (Astorino et al., 2000), ktorí pri identifikácii používajú tie isté kritéria ako my, avšak so zmenou hodnoty  $\Delta VO_2$  (50 ml/min).

Ďalšou a zásadnou chybou by bolo, ak by výskumník pri nesplnení primárneho kritéria ( $\Delta VO_2 \leq 150$  ml/min medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami záťaže) označil hodnotu ako  $VO_{2max}$ . Jedná sa o častú zameniteľnosť pojmov v prípade testov do Vita maxima. V prípade, ak výskumník nie je schopný objektívne a jasne zaznamenať plató v hodnote  $VO_2$ , odporúčame výhradne používať označenie  $VO_{2peak}$  namiesto  $VO_{2max}$ .  $VO_{2peak}$  v tomto chápaní považujeme za najvyššiu zaznamenanú hodnotu prijatého kyslíka (L/min).

Otázkou, ktorá dnes oprávnené vzbudzuje záujem, je stanovenie regulačných (v literatúre sa v tejto súvislosti používa i limitujúcich) mechanizmov určujúcich  $VO_{2max}$ . I takmer po 100ročnej histórii objektívneho poznania a skúmania  $VO_{2max}$  neexistuje jasný konsenzus, ktorý by objektívne potvrdil, čo vlastne reguluje, nastavuje dosiahnutie horného limitu  $VO_{2max}$  počas pohybovej aktivity. Najčastejšie sa však proti sebe uvádzajú dva teoretické modely.

*Klasický prístup* vychádza z predpokladu, že maximálna intenzita pohybovej aktivity je obmedzená kapacitou srdca pumpovať krv do kostrového svalstva, ktoré môže prijať viac krvi než maximálny výkon srdca (Andersen & Saltin, 1985). Z uvedeného jasne vyplýva, že faktorom, ktorý determinuje  $VO_{2max}$  je maximálna kapacita srdca.

*V jasnej opozícii* tomuto predpokladu je názor, ktorý tvrdí, že maximálny výkon srdca nie je možné dosiahnuť vzhľadom k tomu, že v tomto bode nastane ischémia srdcového svalu (Zhou et al., 2001). Môžeme teda povedať, že tento model predpokladá akúsi fyziologickú rezervu (kardiovaskulárnu a nervovo-svalovú) s cieľom prevencie zlyhania resp. poškodenia vnútorných orgánov. Ak však budeme uvažovať týmto smerom, maximálny výkon (v našom prípade  $VO_{2max}$ ) je skôr regulovaný ako limitovaný (Noakes & Marino, 2009). Táto regulácia je zabezpečená počtom aktivovaných motorických jednotiek v pracujúcich svaloch dolných alebo horných končatín. Systolický objem (SO) a  $SF$  počas progresívne sa zvyšujúcej intenzity narastajú lineárne, približne do hodnoty 40%  $VO_{2max}$ . Za týmto bodom je SO závislý prevažne na zvýšení  $SF$  (Fleg et al., 1994; Moon, Coggan, Hopper, Baker, & Coyle, 1994), a to u pravidelne športujúcej i nešportujúcej časti populácie. Dosiahnutie plató SO je najčastejšie vysvetľované ako dôsledok progresívne sa znižujúceho času plnenia krvou ľavej srdcovej komory pri zvyšujúcej sa intenzite zaťaženia. Avšak prevažne u vytrvalostných športoch nachádzame jednoznačné dôkazy o náraste SO bez výskytu

plató (Gledhill, Cox, & Jamnik, 1994; Zhou et al., 2001). V prvom prípade autori porovnávali 3 skupiny probandov < 30 rokov (nešportujúci študenti; univerzitní bežci; elitní bežci, čas na 5 km < 15 minút). Všetci probandi sa podrobili stupňovanému testu (iniciálna rýchlosť nastavená podľa probanda, následne každé 3 minúty zvýšenie sklonu bežiaceho pásu o 3 %) do subjektívneho maxima. Výsledky dokumentujú lineárne, takmer identické zvýšenie hodnoty SO do hodnoty 115 tepov/minútu. Od tohto bodu pozorujeme plató v hodnote SO v skupine nešportujúcich a univerzitných bežcov, avšak hodnoty v skupine elitných bežcov sa progresívne zvyšujú až takmer do hodnoty 190 ml/tep. Podobné výsledky nachádzame i v druhej štúdií (Gledhill et al., 1994), kde autori porovnali 7 profesionálnych cyklistov ( $22,5 \pm 2,1$  rokov;  $VO_{2max} = 68,6 \pm 2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) a 7 rekreačne športujúcich zdravých mužov ( $22,2 \pm 4,9$  rokov;  $VO_{2max} = 44,1 \pm 1,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

## 2. DIZAJN TESTOVACIEHO PROTOKOLU

Ďalším problémom pri laboratórnom zistení  $VO_{2max}$  je neakceptovanie samotného charakteru testu vzhľadom k pohybovej aktivite skúmaného probanda. Okrem vyššie spomenutého (regulačné mechanizmy, ktoré maximálny výkon limitujú) problém vidíme v neznalosti probanda o časovej dĺžke samotného testu. Je samozrejme bežnou a správnou praxou informovať probanda o predpokladanej dĺžke testu, avšak vždy to bude len odhad. Nami odhadovaná dĺžka testu v mnohých prípadoch nikdy nebude presná a rozdiel môže byť i niekoľko minút. Podobné uvažovanie nachádzame i v štúdií (Ansley, Robson, St Clair Gibson, & Noakes, 2004), kde autori poukazujú na fakt presného poznania časovej dĺžky zaťaženia v zmysle optimalizácie pohybového výkonu. Ďalším, vzhľadom k našej práci podstatným potvrdením, sú výsledky práce (Mauger & Sculthorpe, 2012), kde autori porovnávali na skupine 16 netrénovaných študentov ( $22 \pm 7$  rokov; telesná výška  $1,75 \pm 0,1$  m; telesná hmotnosť  $78 \pm 16$  kg) dva typy protokolov. Prvý test pozostával zo stupňovaného protokolu (každý stupeň 2 minúty) s iniciálnou záťažou 60 W. Test bol ukončený pri subjektívnom dosiahnutí maxima alebo pri situácii poklesu kadencie < 60. Druhý test bol presne časovo ohraničený (5 stupňov, každý stupeň 2 minúty). Intenzita zaťaženia bola prispôbovaná testovanej osobe podľa subjektívneho hodnotenia probanda s využitím Borgovej škály (11, 13, 15, 17, 20). Výsledky potvrdili vyšší maximálny výkon (W) na konci testu a  $VO_{2max}$  v prípade subjektívne riadeného protokolu s využitím Borgovej škály. Zaujímavým zistením bol i časový údaj trvania prvého testu, a to  $13 \pm 3$  min. Je pravdou, že autori nepopisujú presnú formuláciu, akým spôsobom testovanú osobu informovali o protokole. Avšak i na základe smerodajnej odchýlky je jasné, že nikdy nebudeme presne schopní informovať o dĺžke testu pred takto koncipovaným protokolom. Navyše, ak chceme u testovanej osoby zistiť maximálnu hodnotu  $VO_{2max}$  (akýsi hypotetický konečný bod), môžeme to vlastne testovať pri protokole neohraničeným časom? V tomto bode do procesu vstupuje práve psychická stránka. Uvedený koncept nachádzame i v štúdií (Lafargue & Sirigu, 2006), kde autori poukazujú práve na uvedomenie si vynaloženého úsilia. Práve to je iniciátorom k aktivácii ďalších motorických jednotiek, a tým i dosiahnutia vyššieho výkonu. Práve tento fakt môžeme preniesť i do našej praxe. Sme názoru, že vynaložené úsilie, ktoré môže byť merateľné i subjektívne (Borgovou škálou), musí mať svoje hranice. Tieto hranice v prípade testovania do Vita maxima by mali byť vyjadrené presne stanovenou časovou dĺžkou testu.

Predmetom záujmu je koncipovanie testu s presne ohraničeným časovým intervalom. Samozrejme, v tomto prípade je potrebné počas testu modifikovať záťaž. Nemenej podstatným limitujúcim faktorom testu  $VO_{2max}$  je testovací protokol, ktorý v tradičnom a stále najčastejšie využívanom formáte začína od nízkej intenzity smerom k najvyššie možnej akceptovanej. Avšak tento koncept testu nenapĺňa podmienky realizácie samotnej pohybovej aktivity. Športovec predsa svoj najvyššie možný akceptovateľný výkon nerealizuje od nízkej intenzity, ale je nútený pracovať

od začiatku v progresívne sa zvyšujúcom režime, ktorý častokrát začína hlavne vo vytrvalostných športoch na úrovni anaerobného prahu a vyššie. To platí hlavne u vrcholových športovcov. Vyššie spomenuté dokumentujeme na základe našich nepublikovaných výsledkov s vrcholovými cyklistami. Ak budeme protokol začínať od nízkej intenzity, tak čas testu bude príliš dlhý, kde nám do procesu bude vstupovať i výrazný nástup únavy. Odporúčaný čas testu na zistenie  $VO_{2max}$  by mal byť v intervale 8–10 minút (Yoon, Kravitz, & Robergs, 2007). V takomto prípade je potom skutočne potrebné začať test nie od nízkej intenzity zaťaženia.

Takisto nemenej podstatným faktorom je, že testovaná osoba nemôže počas striktno nastaveného protokolu modifikovať záťaž mimo výnimky, kedy test subjektívne ukončí. Otázkou navyše, ktorá vzbudzuje takisto oprávnený záujem, je subjektívne rozhodnutie testovanej osoby ukončiť test. Avšak podľa našich praktických meraní, v prípade podpory motivačnej stránky probanda sme na konci testu dosiahli vyššie hodnoty  $VO_{2max}$ , ale i vyššie hodnoty maximálnej akceptovateľnej záťaže ( $W_{max}$ ).

Všeobecne akceptovaný konsenzus ohľadom presného dizajnu testovacieho protokolu nie je možno stanoviť už iba na základe charakteru športovej činnosti. V nižšie uvedenom texte sa pokúsime ukázať rozdiely v použitom testovacom protokole vzhľadom k výkonovým a ventilačným ukazovateľom. Na začiatku je potrebné spomenúť základné protokoly, najčastejšie používané v stanovení  $VO_{2max}$ , či už na bežiacom páse alebo (bi)cyklovom ergometri. Jedná sa o rampový protokol, ktorý začína obyčajne od nízkej intenzity zaťaženia s presne nastaveným, progresívne sa zvyšujúcim zaťažením. Ďalším typom je stupňovaný protokol, ktorý je charakteristický presnou časovou dĺžkou každého stupňa a takisto presne definovaným zaťažením (vyjadrené rýchlosťou km/h alebo wattmi). Časový interval samotného stupňa a veľkosť záťaže je podstatnou časťou. Ak by sme nastavili napríklad u netrénovaného zdravého probanda príliš veľkú záťaž medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stupňami  $\geq 1,0$ – $1,5$  W/kg, na (bi)cyklovom ergometri reálne hrozí, že svoje subjektívne maximum nedosiahne vzhľadom k príliš intenzívnej zmene medzi stupňami. V tomto ohľade odporúčame veľkosť zmeny nastaviť v intervale  $0,3$ – $0,5$  W/kg s časovým intervalom stupňa 1–2 minúty. Takisto je potrebné správne odhadnúť veľkosť iniciálnej záťaže tak, aby test netrval  $\geq 10$ – $12$  minút (Yoon, Kravitz, & Robergs, 2007). To hlavne platí vo vytrvalostných športoch. V prípade testovania na bežiacom páse odporúčame podľa našich praktických meraní iniciálnu záťaž nastaviť v intervale 8–12 km/h (subjektívne podľa probanda, ale i po zistení základných údajov o probandovi) so sklonom 1%. Následne pokračujeme vo zvyšovaní rýchlosti o 1 km/h každú 1 minútu. Po dosiahnutí rýchlosti 15–16 km/h rýchlosť ďalej nezvyšujeme a už pracujeme iba so zvyšovaním sklonu o 1% každú minútu. Potvrdenie dosiahnutia submaximálnej rýchlosti ako hraničnej nachádzame i v prácach (Billat et al., 2013; Mauger, Metcalfe, Taylor, & Castle, 2013). Autori potvrdili vyššie hodnoty  $VO_{2max}$  pri submaximálnej rýchlosti. Môže to byť spôsobené i neskorším nástupom aktivácie svalových vlákien typu II.A, B.

Zdôrazňujeme, že existuje veľké množstvo testovacích protokolov, ktoré majú častokrát diametrálne odlišné ciele. Obecný konsenzus v časovej dĺžke stupňa resp. následného zvýšenia intenzity medzi stupňami nie je možné presne definovať. Naše zistenia sú v súlade so zisteniami ostatných autorov (Coen, Urhausen, & Kindermann, 2001; Stockhausen, Grathwohl, Bürklin, Spranz, & Keul, 1997), ktorí potvrdzujú, že v prípade časovej dĺžky jedného stupňa  $> 3$  minúty, hodnota  $VO_{2max}$  nemusí byť vždy dosiahnutá. Obidve práce však pracovali s netrénovanými zdravými probandmi. I v tomto bode opäť upozorňujeme, čo sme už dokumentovali, a to rozdielne hodnoty  $VO_{2max}$  pri použití rôznych typov protokolov. Otázka validity a reliability testu je určite potom problematická.

Problematikou dizajnu testovacieho protokolu sa zaoberá štúdia (Beltrami et al., 2012), kde autori na 26 bežcoch na lyžiach ( $29,0 \pm 10,0$  rokov; telesná výška  $1,77 \pm 0,06$  m; telesná hmotnosť  $73,7 \pm 9,8$  kg) skúmali zmeny v maximálnych ventilačných parametroch vzhľadom k testovaciemu protokolu. Probandi ( $n = 26$ ) na začiatku boli náhodne rozdelení do 2 skupín a absolvovali v rámci

prvého (vysvetlený dizajn štúdie) a druhého stretnutia test do Vita maxima s verifikačnou fázou (VF) testu. VF nasledovala po 15 minútach od skončenia prvej fázy testu, ktoré proband využil buď na odpočinok vo forme chôdze, pomalého behu, respektíve sedu (podľa svojho rozhodnutia). Následne, iniciálna fáza začala s rýchlosťou o 1 km/h rýchlejšie ako výsledok v prvej časti testu. Probandi boli inštruovaní toto zaťaženie akceptovať po čo najdlhšiu znesiteľnú dobu. Tieto dve testované skupiny (A, B) absolvovali ďalšie 3 testovacie merania s odstupom vždy 48 hodín. Skupina A absolvovala klasický stupňovaný protokol (warm-up, 5 min 10 km/h; 5 min 12 km/h – iniciálna záťaž 9 km/h – každý ďalší stupeň sa zvýšila rýchlosť o 1 km/h každých 60 sekúnd). Skupina B absolvovala 2 postupne znižujúce sa dizajny protokolov (warm-up, 5 min 10 km/h; 5 min 12 km/h – následne záťaž 10 km/h, sklon bežiacieho pásu 5%, 1 minúta – iniciálna rýchlosť z VF, 1 minúta – každý ďalší stupeň sa rýchlosť znížila o 0,5 km/h, časová dĺžka stupňa sa postupne zvyšovala vo formáte 30–45–60–90–120 sekúnd). Výsledky preukázali štatisticky významné rozdiely medzi skupinami (probandi s postupne sa znižujúcim dizajnom testu dosiahli hodnoty  $VO_{2max} + 4,4\%$  dokonca pri pomalšej rýchlosti na úrovni  $VO_{2max}$   $14,3 \pm 1,1$  vs.  $16,2 \pm 0,7$  km/h). Takisto zaujímavým zistením bolo, že v skupine výhradne so stupňovaným protokolom autori zaznamenali štatisticky významne zmeny v hodnote maximálnej minútovej ventilácie ( $VE_{max}$ ) ( $157,0 \pm 25,6$  L/min vs.  $146,5 \pm 24,0$  L/min,  $p = 0,013$ ). Táto zmena bola zaznamenaná medzi stupňovaným testom s verifikačnou fázou a posledným stupňovane zvyšujúcim sa protokolom.

Podobným konceptom sa zaoberala i štúdia (Hamlin, Draper, Blackwell, Shearman, & Kimber, 2012), kde autori porovnávali 2 typy testovacích protokolov na vzorke 29 probandov. V prvom prípade sa jednalo o tzv. Bruce protokol (Iniciálna záťaž 2,7 km/h, sklon 10%, dĺžka trvania stupňa 3 minúty. Vzhľadom k obsiahlemu popisu poskytujeme údaje iba o začiatku testu. Ostatná podoba testu je verejne prístupná). V druhom testovacom protokole ( $B_{protokol}$ ) bola iniciálna rýchlosť nastavená na 8–10 km/h s postupným zvyšovaním rýchlosti o 1 km/h každú minútu. V bode, keď proband dosiahol hranicu, ktorú podľa subjektívneho rozhodnutia by mohol akceptovať po dlhšiu dobu, každú minútu sa zvýšil sklon bežiacieho pásu o 1%. Výsledky naznačujú zmeny v hodnotách RQ ( $B_{protokol}$  vs. Bruce  $_{protokol}$ , 1,19 vs. 1,24), času potrebného k dosiahnutiu  $VO_{2max}$  ( $B_{protokol}$  vs. Bruce  $_{protokol}$ , 618 vs. 641 sekúnd) a  $SF_{max}$  ( $B_{protokol}$  vs. Bruce  $_{protokol}$ , 182 vs. 179 tepov/minútu). Výsledky ale nepotvrdili žiadne štatisticky významné zmeny v minútovej ventilácii a ani v maximálnych hodnotách laktátu na konci testu. Vyššie hodnoty RQ môžu byť podľa nášho názoru spôsobené i sklonom bežiacieho pásu hneď od začiatku Brucevho protokolu. Skoršie zapojenie svalových vlákien typu II.A,B môže viesť k skoršiemu začiatku nástupu anaeróbného metabolizmu, čo sa následne prejaví vo vyšších hodnotách RQ (Mauger, Metcalfe, Taylor, & Castle, 2013).

Nechceme dogmaticky tvrdiť a uprednostňovať žiadny typ testovacieho protokolu pri zistení  $VO_{2max}$ . Sme však názoru, že proband by mal presne poznať časovú dĺžku testovacieho protokolu. V tomto prípade však musíme záťaž modifikovať počas samotného testu podľa subjektívneho vnímania každého probanda. V tomto kontexte nachádzame hneď niekoľko štúdií (Eston, Lamb, Parfitt, & King, 2005; Faulkner, Parfitt, & Eston, 2007; Mauger et al., 2013; Coquart, Tabben, Farooq, Tourny, & Eston, 2016). Zaujímavé porovnanie nám poskytuje práca (Mauger et al., 2013), ktorá porovnávala stupňovaný test (1% sklon, zvýšenie rýchlosti o 1 km/h každé 2 minúty) s následnou VF (iniciálna rýchlosť o stupeň vyššie z predchádzajúceho testu) s testom, ktorý bol prispôbený aktuálnemu subjektívnemu vnímaniu probanda. Probandmi v tejto práci boli registrovaní bežci ( $22,7 \pm 4,6$  rokov; telesná výška  $1,80 \pm 0,07$  m; telesná hmotnosť  $75,9 \pm 10,6$  kg). Test pozostával z 5 dvojminútových blokov. Každý blok bol časovo ohraničený 2 minútami a záťaž bola riadená subjektívne podľa Borgovej škály (11, 13, 15, 17, 20). Proband mal po celú dobu viditeľne umiestnené číselne vyjadrené subjektívne zaťaženie. Štatisticky významné zmeny a vyššie hodnoty boli zaznamenané v prospech práve subjektívne koncipovaného protokolu ( $VO_{2max}$ ,  $64,4 \pm 7,7$  vs.  $61,4 \pm 7,3$ ;  $VE_{max}$ ,  $150,3 \pm 16$  L/min vs.  $143,7 \pm 20,4$  L/min).

### 3. ZARADENIE VERIFIKAČNEJ FÁZY (VF) PROTOKOLU

Odborná literatúra pri koncipovaní testu využíva rôzne protokoly s cieľom overenia ich validity. V poslednom desaťročí stále viac a viac protokolov obsahuje VF, ktorá slúži k potvrdeniu, respektíve minimálne k porovnaniu získaných hodnôt s predchádzajúcou časťou testu. Primárne ide o potvrdenie kritéria dosiahnutia platô v hodnote  $\Delta VO_2$ . Tento spôsob považujeme za správny, síce časovo náročný, čo v prípade testovania viacerých probandov spôsobuje značné komplikácie. Definovať presný postup VF je predmetom záujmu. Ako prvé je potrebné nastaviť časový interval medzi skončením stupňovaného zaťaženia a VF. Najčastejšie nachádzame hodnoty v intervale 5–20 minút (A. W. Midgley & Carroll, 2009; Adrian W. Midgley, McNaughton, & Carroll, 2006). Avšak v jasnej opozícii takmer bezprostrednému uskutočneniu VF je odporúčanie uskutočniť VF až v nasledujúcom dni (Kirkeberg, Dalleck, Kamphoff, & Pettitt, 2011; Sedgeman, Dalleck, Clark, Jamnick, & Pettitt, 2013). Odporúčame z našich praktických meraní zvoliť prvú variantu. Ďalšou časťou protokolu je fáza medzi skončením stupňovaného zaťaženia a VF. Momentálne nenachádzame obecný konsenzus o zaradení pohybovej aktivity respektíve pasívneho odpočinku (podľa autorovej informácie). Vyššie uvedené práce v tejto fáze pracovali najčastejšie s pasívnym odpočinkom probanda (sed) a takisto s časťou, kedy proband vykonával aktivitu v intenzite 50–60 % z  $VO_{2max}$ . Avšak našim odporúčaním je nastavenie medzi fázy protokolu v režime pomalej chôdze (3–4 km/h) s postupným zvyšovaním intenzity smerom k začiatku VF. Samotná VF môže byť realizovaná v podstate len v dvoch režimoch. Prvá, kde iniciálna záťaž je nastavená zvyčajne jeden stupeň nad najvyšším stupňom záťaže z predchádzajúcej časti protokolu. Druhý typ pozostáva z postupného zvyšovania intenzity v režime 50–60 %  $VO_{2max}$ , 80–90 %  $VO_{2max}$ , a jeden stupeň nad maximum z prechádzajúcej časti testu (Hawkins, Raven, Snell, Stray-Gundersen, & Levine, 2007; Nolan, Beaven, & Dalleck, 2014).

Zaradenie VF odporúčame hlavne v prípade, že výskumník pracuje s vrcholovým športovcom.

### ZÁVER

Poznanie hodnoty maximálnej spotreby kyslíka je stále v praxi vo všeobecnosti považované za jeden zo základných pilierov záťažovej diagnostiky. Určenie hodnoty  $VO_{2max}$  sa častokrát stáva i kľúčom k nastaveniu intenzity zaťaženia resp. indikátorom zlepšenia výkonnosti hlavne vo vytrvalostných športoch. Samozrejme nám do procesu vstupuje mnoho ďalších faktorov ako napríklad ekonomika pohybovej aktivity. Dôraz je potrebné venovať hlavne i ďalším, zo záznamu testu zistiteľným ukazovateľom, a to napríklad jednotlivým ventilačným prahom.

Dnes sme však častokrát svedkami považovania hodnoty  $VO_{2max}$  za faktor, ktorý jednoznačne rozhoduje o úspechu, respektíve neúspechu športovca, hlavne vo vytrvalostných športoch. Sme presvedčení, že to nie je jednoznačne iba popisná hodnota, ktorá by mala informačný charakter. Avšak sme takisto názoru, že pri koncipovaní tréningu a nastavení optimálnej intenzity, hlavne u športovcov, je potrebné zvážiť i ďalšie faktory determinujúce výkon. Naša práca sa zaoberá dizajnom testovacích protokolov a kritériami validity dosiahnutia maxima. Súčasné odporúčania stále navrhujú používanie tradičných kritérií (1.  $\Delta VO_2 \leq 100\text{--}150$  ml/min; 2. Hodnota RQ na konci testu  $\geq 1,15$ ; 3. SF na konci testu  $\geq 90\%$  maximálnej predikovanej SF). Avšak i vzhľadom k prezentovaným výsledkom sme názoru, že zaradenie verifikačnej fázy sa môže postupne stať bežnou praxou. Verifikačná fáza by následne prispela k zvýšeniu validity celého testovania.



## Literatúra

- Andersen, P., & Saltin, B. (1985). Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *The Journal of Physiology*, 366, 233–249.
- Ansley, L., Robson, P. J., St Clair Gibson, A., & Noakes, T. D. (2004). Anticipatory pacing strategies during supramaximal exercise lasting longer than 30 s. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 309–314. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113474.31529.C6>
- Astorino, T., Robergs, R., Ghiasvand, F., Marks, D., Burns, S., & Burns Incidence, S. (2000). *Incidence of the oxygen plateau at VO<sub>2</sub>max during exercise testing to volitional fatigue* (Roč. 3).
- Beltrami, F. G., Froyd, C., Mauger, A. R., Metcalfe, A. J., Marino, F., & Noakes, T. D. (2012). Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 23–29. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090306>
- Billat, V., Petot, H., Karp, J. R., Sarre, G., Morton, R. H., & Mille-Hamard, L. (2013). The sustainability of VO<sub>2</sub>max: effect of decreasing the workload. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2), 385–394. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2424-7>
- Coen, B., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2001). Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 8–16. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11332>
- Coquart, J., Tabben, M., Farooq, A., Tourny, C., & Eston, R. (2016). Submaximal, Perceptually Regulated Exercise Testing Predicts Maximal Oxygen Uptake: A Meta-Analysis Study. *Sports Medicine (Auckland, N. Z.)*, 46(6), 885–897. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0465-x>
- Cumming, G. R., & Friesen, W. (1967). Bicycle ergometer measurement of maximal oxygen uptake in children. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 45(6), 937–946.
- Doherty, M., Nobbs, L., & Noakes, T. D. (2003). Low frequency of the “plateau phenomenon” during maximal exercise in elite British athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 619–623. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0845-z>
- Eston, R. G., Lamb, K. L., Parfitt, G., & King, N. (2005). The validity of predicting maximal oxygen uptake from a perceptually-regulated graded exercise test. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 221–227. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1327-2>
- Faulkner, J., Parfitt, G., & Eston, R. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 397–407. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0508-6>
- Fleg, J. L., Schulman, S. P., O'Connor, F. C., Gerstenblith, G., Becker, L. C., Fortney, S., ... Lakatta, E. G. (1994). Cardiovascular responses to exhaustive upright cycle exercise in highly trained older men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 77(3), 1500–1506. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.3.1500>
- Gledhill, N., Cox, D., & Jamnik, R. (1994). Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1116–1121.
- Hamlin, M. J., Draper, N., Blackwell, G., Shearman, J. P., & Kimber, N. E. (2012). Determination of maximal oxygen uptake using the bruce or a novel athlete-led protocol in a mixed population. *Journal of Human Kinetics*, 31, 97–104. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0010-z>
- Hawkins, M. N., Raven, P. B., Snell, P. G., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2007). Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(1), 103–107. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64>
- Hill, A. V., Long, C. N. H., & Lupton, H. (1924). Muscular Exercise, Lactic Acid and the Supply and Utilisation of Oxygen. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 97(682), 155–176. <https://doi.org/10.1098/rspb.1924.0048>
- Kirkeberg, J. M., Dalleck, L. C., Kamphoff, C. S., & Pettitt, R. W. (2011). Validity of 3 protocols for verifying VO<sub>2</sub>max. *International Journal of Sports Medicine*, 32(4), 266–270. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269914>
- Lafargue, G., & Sirigu, A. (2006). [The nature of the sense of effort and its neural substrate]. *Revue Neurologique*, 162(6–7), 703–712.
- Lucía, A., Rabadán, M., Hoyos, J., Hernández-Capilla, M., Pérez, M., San Juan, A. F., ... Chicharro, J. L. (2006). Frequency of the VO<sub>2</sub>max plateau phenomenon in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 27(12), 984–992. <https://doi.org/10.1055/s-2006-923833>
- Mauger, A. R., & Sculthorpe, N. (2012). A new VO<sub>2</sub>max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 59–63. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090006>
- Mauger, A. R., Metcalfe, A. J., Taylor, L., & Castle, P. C. (2013). The efficacy of the self-paced VO<sub>2</sub>max test to measure maximal oxygen uptake in treadmill running. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 38(12), 1211–1216. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0384>
- Mier, C. M., Alexander, R. P., & Mageean, A. L. (2012). Achievement of VO<sub>2</sub>max criteria during a continuous graded exercise test and a verification stage performed by college athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2648–2654. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f8de9>
- Midgley, A. W., & Carroll, S. (2009). Emergence of the verification phase procedure for confirming „true“ VO<sub>2</sub>(max). *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(3), 313–322. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00898.x>
- Midgley, A. W., Carroll, S., Marchant, D., McNaughton, L. R., & Siegler, J. (2009). Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 34(2), 115–123. <https://doi.org/10.1139/H08-146>

- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Carroll, S. (2006). Verification phase as a useful tool in the determination of the maximal oxygen uptake of distance runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 31(5), 541–548. <https://doi.org/10.1139/h06-023>
- Moon, J. K., Coggan, A. R., Hopper, M. K., Baker, L. E., & Coyle, E. F. (1994). Stroke volume measurement during supine and upright cycle exercise by impedance cardiography. *Annals of Biomedical Engineering*, 22(5), 514–523.
- Noakes, T. D., & Marino, F. E. (2009). Point: maximal oxygen uptake is limited by a central nervous system governor. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 106(1), 338–339; discussion 341. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90844.2008>
- Nolan, P. B., Beaven, M. L., & Dalleck, L. (2014). Comparison of intensities and rest periods for VO<sub>2</sub>max verification testing procedures. *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1024–1029. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1367065>
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
- Sedgeman, D., Dalleck, L., Clark, I. E., Jamnick, N., & Pettitt, R. W. (2013). Analysis of square-wave bouts to verify VO<sub>2</sub>max. *International Journal of Sports Medicine*, 34(12), 1058–1062. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1341436>
- Stockhausen, W., Grathwohl, D., Bürklin, C., Spranz, P., & Keul, J. (1997). Stage duration and increase of work load in incremental testing on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(4), 295–301. <https://doi.org/10.1007/s004210050251>
- Taylor, H. L., Buskirk, E., & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of Applied Physiology*, 8(1), 73–80. <https://doi.org/10.1152/jappl.1955.8.1.73>
- Yoon, B.-K., Kravitz, L., & Robergs, R. (2007). VO<sub>2</sub>max, protocol duration, and the VO<sub>2</sub> plateau. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1186–1192. <https://doi.org/10.1249/mss.0b13e318054e304>
- Zhou, B., Conlee, R. K., Jensen, R., Fellingham, G. W., George, J. D., & Fisher, A. G. (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1849–1854.

### **Korespondující autor:**

Mgr. Ivan Struhár, Ph.D.

Department of Health Promotion, Faculty of Sports Studies, Masaryk University  
Brno, Czech Republic

E-mail: [struhar@fsps.muni.cz](mailto:struhar@fsps.muni.cz)