

Diagnostika kardiorespirační kapacity jako významného biomarkeru zdravotního stavu

Jaroslav Novák^{1,2,*}, Jaromír Votík², Milan Štork³ a Václav Zeman¹

¹Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova, Plzeň, Česká republika; ²Fakulta pedagogická, Západočeská Univerzita v Plzni, Plzeň, Česká republika; ³Fakulta elektrotechnik, Západočeská Univerzita v Plzni, Plzeň, Česká republika

Copyright: © 2016 J. Novák et al. Toto je open access článek vydaný pod Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Východiska: Kardiorespirační kapacita významnou měrou charakterizuje zdravotní stav člověka. Její úroveň souvisí s řadou faktorů objektivních (např. věk, pohlaví) i ovlivnitelných (pohybová aktivita, výživa). Nízká úroveň kardiorespirační kapacity významně koreluje s řadou poruch zdravotního stavu. **Cíle:** Posouzení úrovně kardiorespirační kapacity umožňuje u sportovců v řadě disciplín zhodnotit výkonnostní předpoklady, u nesportující populace upozornit na případné hrozící riziko řady tzv. civilizačních chorob. Cílem studie bylo zjistit, zda lze spiroergometrické vyšetření, vyžadující poměrně náročné technické vybavení, nahradit metodikou použitelnou v běžné ordinaci praktického lékaře. **Metodika:** Z databáze vyšetření v letech 1994–2015 bylo použito 2 777 protokolů (2015 mužů a 762 žen). Kardiorespirační kapacita u všech těchto vyšetření byla hodnocena podle maximální spotřeby kyslíku VO_2max , pracovní kapacity W170 a maximálního dosaženého výkonu Wmax . Zátěžový test na bicyklovém ergometru spočíval ve stupňované intenzitě zatížení do vyčerpání podle metodiky užití v rámci Mezinárodního biologického programu. **Výsledky:** Uvedené parametry kardiorespirační kapacity byly vzájemně porovnány, stanoveny korelační koeficienty a vypočteny regresní rovnice. Hodnota maximálního dosaženého výkonu Wmax ve vztahu k VO_2max koreluje nejvýznamněji ($r = 0,89$ u mužů, $r = 0,85$ u žen). **Závěry:** Nejvýznamnější korelační závislosti jsou mezi parametry VO_2max a Wmax (maximální výkon na ergometru), a mezi $\text{VO}_2\text{max/kg}$ a Wmax/kg . Pravidelná pohybová aktivita aerobního charakteru může ovlivnit biologický věk člověka natolik, že parametry kardiorespirační kapacity odpovídají normativům o 10–20 i více let mladších věkových skupin. Úměrně tomu se snižuje riziko závislosti na okolích v seniorském věku, naopak významně se zvyšuje kvalita posledních let života (Shephard, 1994). Údaje o VO_2max a $\text{VO}_2\text{max/kg}$ představují významné biomarkery zdravotního stavu, které mohou posloužit také jako zpětnovazební informace, pozitivní, nebo i negativní, nejen o účinnosti pohybové aktivity, ale obecně o průběhu léčebného procesu. Úroveň „aerobní“ zdatnosti významně koreluje s poklesem morbidity, prevalence a mortality tzv. civilizačních chorob, s kvalitou života a motorickou výkonností. Nemá-li vyšetřující k dispozici analyzátor dýchacích plynů, lze uvedené biomarkery kardiorespirační kapacity se značnou přesností stanovit výpočtem podle regresních rovnic, vycházejících z maximálního dosaženého výkonu na ergometru.

Klíčová slova: biomarkery zdravotního stavu, kardiorespirační kapacita, regresní rovnice, spiroergometrie

Úvod

Kardiorespirační kapacita je významným faktorem podmiňujícím výkonnost sportovce v řadě sportovních odvětví. Její rozvoj je ovlivněn především úrovní tréninku vytrvalostního charakteru a řadou dalších

vlivů vedoucích k adaptačním změnám organismu. Maximální dosažené hodnoty jsou limitovány věkem a genetickými předpoklady každého jedince. Sportovci v rámci komplexního tělovýchovně-lékařského vyšetření absolvují zátěžový test na bicyklovém příp. běhátkovém ergometru. Výsledky tohoto vyšetření charakterizují aktuální úroveň kardiorespirační kapacity každého jedince. Vyšetřený sám, příp. jeho trenér, jsou poté schopni vyhodnotit dosažené výsledky ve vztahu k tréninkovému procesu, který tomuto

* Korespondenční adresa: Jaroslav Novák, Ústav tělovýchovného lékařství, Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova, Lidická 6, 301 00 Plzeň, Česká republika. E-mail: jaroslav.novak@lfp.cuni.cz

vyšetření předcházel, mohou také zjištěných výsledků využít k dalšímu zkvalitnění tréninku, a tím k vytvoření předpokladů pro výkonnostní růst.

Obdobnou metodikou je hodnocena kardiorespirační kapacita osob s oslabeným zdravotním stavem, příp. osob nemocných, u nichž je zátěžové vyšetření na ergometru indikováno z diagnostických či léčebně-preventivních důvodů. Zjištěné výsledky u těchto osob slouží nejen ke zhodnocení kardiorespirační kapacity, ale jsou současně podkladem k přesným doporučením vhodné pohybové aktivity v rámci komplexní terapie.

Úroveň maximální spotřeby kyslíku (VO_2max) je u každého individuálně závislá na řadě faktorů, formálně dělených na tzv. centrální a periferní. Hlavními centrálními faktory, ovlivňujícími VO_2max , jsou plicní difuze, minutový objem srdeční a celkový objem krve. U zdravých osob plicní difuze za obvyklých klimatických podmínek významnou roli nehraje. Platí to i pro výkonné sportovce – vytrvalce přesto, že plicním řečištěm za jednotku času proteče významně vyšší objem krve než u netrénovaných osob.

Významnějším faktorem je minutový objem srdeční, který podle některých autorů limituje VO_2max ze 70–85 % (Cerretelli & Di Prampero, 1987). Také Basset a Howley (2000) pokládají schopnost kardiorespiračního systému dodat maximum kyslíku zatěžovaným svalům za rozhodující faktor podílející se na výši VO_2max . Zatímco u netrénovaných osob je plató zvyšování tepového objemu dosaženo již při intenzitě zatížení do 50% maxima, u výkonných vytrvalců může i po dosažení tohoto zlomu tepový objem až do dosažení maxima dále mírně stoupat na hodnoty výrazně vyšší ve srovnání s netrénovanými osobami (Robergs & Roberts, 2000). Pravidelný intenzivní vytrvalostní trénink vede rovněž ke zvýšení objemu krve. Na tom se podílejí dva mechanismy – vyšší produkce antidiuretického hormonu – vazopresinu – adiuretinu (ADH) a aldosteronu a vzestup plasmatického objemu v souvislosti se zvýšenou tvorbou plasmatických proteinů (Wilmore & Costill, 1994). Pravidelná pohybová aktivita také příznivě ovlivňuje endotheliální funkci koronárního řečiště u nemocných s ischemickou chorobou srdeční (ICHS) (Hambrecht et al., 2000).

Periferní faktory vztahující se k VO_2max hrají roli především ve využití kyslíku v zatěžovaných sva-lech. Patří k nim hustota kapilár v příslušném svalu, tkáňová difusní kapacita a úroveň mitochondriálních oxidativních enzymů (Basset & Howley, 2000). Zatímco hustota kapilár ve sva-lech vytrvalců může být o 20 % i více vyšší ve srovnání s netrénovanými, enzymatická kapacita může být až dvojnásobně vyšší (Honig, Connett, & Gayeski, 1992). S tím souvisí též

počet a velikost mitochondrií ve svalových vláknech – může dojít ke zvýšení o 50–100 % výchozí úrovně, a tím ke zvýšení mitochondriální oxidativní kapacity (Holloszy & Coyle, 1984).

Podle některých autorů až z 50 % i více (v závislosti na věku a pohlaví) je VO_2max podmíněn geneticky (Danis, Kyriazis, & Klissouras, 2003; Hagberg, Moore, & Ferrel, 2001; Klissouras, Pirnay, & Petit, 1973). V současnosti lze diagnostikovat řadu genů určujících předpoklady k určité limitní úrovni kardiorespirační kapacity (např. Gronek, Holdy, Krysciak, & Stanislawski, 2013; Loos et al., 2015). Výsledná úroveň této kapacity, v kterémkoliv časovém údobí života, je však vždy vedle genetických faktorů ovlivněna životním stylem, v němž vlastní pohybová aktivita hraje nezastupitelnou roli (Bouchard et al., 1998).

Posouzení úrovně kardiorespirační kapacity umožňuje u sportovců v řadě disciplín zhodnotit výkonnostní předpoklady, u nesportující populace upozornit na případné hrozící riziko mnoha tzv. civilizačních chorob. Cílem studie bylo zjistit, zda lze spiroergometrické vyšetření, vyžadující poměrně náročné a nákladné technické vybavení, nahradit metodikou použitelnou v běžné ordinaci praktického lékaře.

Úroveň kardiorespirační kapacity, posuzovaná podle maximální spotřeby kyslíku VO_2max , je významným faktorem, který souvisí s rizikem metabolického syndromu, ICHS a dalších rizikových faktorů (Kishida, Inaba, & Iwata, 1997). Přitom úroveň tohoto parametru koreluje významněji s rizikovými faktory ischemické choroby srdeční, než samotný údaj o pohybové aktivitě (McMurray, Ainsworth, Harrell, Griggs, & Williams, 1998). U osob s nízkou VO_2max již devítitýdenní trénink vedl nejen k významnému zvýšení VO_2max , ale současně k redukci rizikových faktorů ICHS.

Kardioprotektivní význam vysoké kardiorespirační kapacity, vyjádřené maximální spotřebou kyslíku, prokázala řada experimentálních studií (Borodulin, Laatikainen, Lahti-Koski, & Jousilahti, 2005; Blair, Cheng, & Holder, 2001; Dannerberg, Keller, Wilson, & Castell, 1989; Eaton, 1992; Imamura et al., 2009; Kannel, Wilson, & Blair, 1985 aj.). Určitým problémem rutinního stanovení VO_2max je potřebné přístrojové vybavení a s tím spojená ekonomická náročnost.

To byl také jeden z hlavních důvodů, proč se řada autorů snažila nalézt metody, jak stanovit VO_2max nepřímo, aniž by bylo potřebné kompletní technické vybavení. Již Astrand a Ryhming (1954) uvedli nomogram, který bylo možno použít ve stanovení VO_2max na základě intenzity zátěže při steptestu, nebo na bicyklovém ergometru a odpovídající tepové frekvence.

Přesnost výpočtu VO_2max dle této metody byla mnohokrát ověřována. Sami autoři uvedli, že predikce VO_2max s využitím tohoto nomogramu u trénovaných osob může dosahovat 10% chyby, u méně zdatných osob až 15% chyby (Astrand, 1960). Důvodem je poměrně značná variabilita tepové frekvence, na jejímž zvýšení se, kromě intenzity zatížení, mohou podílet i další faktory – dehydratace během intenzivní zátěže či při expozici vyšší okolní teplotě, delší trvání zátěže, emoční stres a další faktory (Astrand & Rodahl, 1970).

Nejnověji vypracovali metodiku stanovení VO_2max na základě odezvy tepové frekvence a rychlosti běhu na běhátku finští autoři (Firstbeat Technologies, 2014).

Důvodem k použití predikce VO_2max na základě údajů získaných při submaximální intenzitě zatížení však mohou být i jiné faktory – zdravotní stav vyšetřovaného, příp. u trénovaného sportovce riziko ovlivnění závodního výkonu maximální zátěží při zátěžovém testu. V takových případech lze výhodně využít výpočtu na základě linearizace spiroergometrických údajů, získaných při submaximálním zatížení (Bunc, Dlouhá, & Heller, 1988).

Nás však zajímal spíše první problém, jak se co nejvíce přiblížit výpočtem hodnotám VO_2max v případě, že není k dispozici analyzátor dýchacích plynů, vyšetřující však má k dispozici bicyklový ergometr umožňující přesně dávkovat intenzitu zátěže vyšetřovaného při zátěžovém testu do vyčerpání.

Naším hlavním cílem tedy bylo vyhledání korelačních závislostí mezi zjištěnými parametry kardiorepirační kapacity a parametry maximálního dosaženého výkonu na bicyklovém ergometru; v případě dostatečně těsné korelační závislosti poté stanovit nejvhodnější regresní rovnice pro výpočet parametrů kardiorepirační kapacity, aniž by bylo zapotřebí využívat náročného vybavení, potřebného k jejich přímému stanovení. Při dostatečně těsné korelaci uvedených parametrů pak vybavení ordinace standardním bicyklovým ergometrem umožní i praktickému lékaři objektivně posoudit úroveň kardiorepirační kapacity vyšetřovaného a výsledku využít k přesnějším diagnostickým závěrům.

Metodika

Komplexní tělovýchovně lékařské vyšetření obsahuje pět základních komponent – anamnestické údaje, antropometrické vyšetření, základní klinické vyšetření, zátěžový test na ergometru a závěrečné zhodnocení s předáním protokolu z vyšetření vyšetřované osobě

s vysvětlením jednotlivých parametrů, zodpovězením otázek a předáním protokolu. Vyšetřovanému je doporučeno, aby kopii protokolu i s přílohou, vysvětlující použité zkratky, okopíroval a předal svému ošetřujícímu lékaři.

Zátěžový test na bicyklovém ergometru

Výrobci ergometrů přidávají k výbavě těchto zařízení zpravidla počítačovou výbavu zahrnující několik postupů k dosažení maximální, tj. vyčerpávající zátěže.

Při našem vyšetření se standardně držíme metodiky použité v rámci Mezinárodního biologického programu IBP v 70tých letech minulého století (Seligler & Bartůněk, 1976). Vyšetřovaní absolvovali vždy tři rozcvičovací třiminutové zátěže o submaximální intenzitě a na ně navazovala další každou půlminutu postupně zvyšovaná zátěž až do maxima, tedy do vyčerpání. Intenzita zatížení byla volena individuálně podle předpokládané úrovně kardiorepirační kapacity vyšetřovaného. U většiny se úvodní rozcvičovací zátěže vztahovaly k tělesné hmotnosti vyšetřovaných tak, že první třiminutový stupeň odpovídal 1 W/kg tělesné hmotnosti, druhý zátěžový stupeň 1,5 W/kg tělesné hmotnosti a třetí zátěžový stupeň 2 W/kg tělesné hmotnosti. Další zvyšování zátěže probíhalo každou půlminutu obvykle o 30 W (úměrně méně vzhledem k nižší tělesné hmotnosti u probandů žákovského věku).

Přístrojové vybavení – ergometry

Zátěžový test ve fakultní nemocnici (FN) byl prováděn na bicyklovém ergometru typu Lode, v zátěžové laboratoři na Ústavu tělovýchovného lékařství Lékařské fakulty v Plzni Univerzity Karlovy (ÚTL LF UK v Plzni) na bicyklovém ergometru typu Jaeger R900. Na obou typech uvedených ergometrů byla intenzita zatížení garantována výrobcem. Standardizace velikosti zátěže na ergometru Lode byla periodicky testována odbornou kontrolou ze specializovaného pracoviště. Nastavená zátěž (lze nastavit zadáním hodnoty zátěže na klávesnici počítače) byla frekvenčně nezávislá s doporučenou frekvencí otáček (šlápnutí do pedálů) okolo 60–70/min. Ve FN tuto frekvenci kontroloval tikot metronomu, u současného ergometru je zpětná vazba o frekvenci šlapání poskytována vyšetřovanému pomocí digitálního ukazatele umístěného na „řídítkách“ ergometru.

Přístrojové vybavení – měření tepové frekvence (TF)

Tepovou frekvenci lze snímat dvojím způsobem. Pro další počítačové vyhodnocení se do paměti

počítače ukládají hodnoty zachycené přístrojem Polar. Principem tohoto přístroje je vysílačka snímající signály srdečních stahů ze dvou prekordiálně umístěných plochých elektrod (upevněných ve správné poloze pomocí pružného pásu) a snímací část umístěná napevno na řídítkách ergometru spojená s počítačem. Správnou funkci aparatury (informaci o hodnotě tepové frekvence) lze kontrolovat na displeji náramkových hodinek snímajících rovněž signály vysílačky. Ty jsou také připevněny na řídítkách ergometru. Informace o tepové frekvenci je zároveň přijímána osobním počítačem.

Kontrolu reálných hodnot, změřených tímto snímačem, lze pravidelně ve stanovených intervalech provádět pomocí odečtu hodnoty TF z EKG záznamu, pomocí kterého je celý průběh zátěžového testu monitorován.

Přístrojové vybavení – měření plicní ventilace

Hodnoty plicní ventilace byly ve FN zjišťovány pouze se záměrem zachytit objem vydechaného vzduchu při maximální zátěži. Vydechaný vzduch byl jímán v poslední půlminutě (případně v posledních dvou půlminutových úsecích) maximální zátěže do modifikovaných Douglasových vaků. Po odečtu změn v obsahu dýchacích plynů O_2 a CO_2 v tomto vzorku vydechaného vzduchu byl objem vaku změřen pomocí plynových hodin a následně vypočítána hodnota minutové plicní ventilace.

U nové přístrojové techniky, užívané od roku 2001 v ÚTL LF UK v Plzni, tato manipulace odpadla. Ventilace je měřena turbínovým snímačem průtoku a ventilační hodnoty jsou zaznamenávány každou půlminutu automaticky pomocí snímače umístěného ve výdechové části polomasky.

Přístrojové vybavení – analyzátory dýchacích plynů

Rovněž toto vybavení doznalo v průběhu let podstatného zlepšení. Zatímco ve FN byly u každého vzorku vzduchu, zachyceného pomocí modifikovaných Douglasových vaků, stanoveny odděleně změny v obsahu dýchacích plynů O_2 a CO_2 pomocí analyzátoru Spirolyt, současný analyzátor firmy Junkalor (se senzory plynů od švýcarské firmy Pewatron) provádí stanovení obsahu dýchacích plynů průběžně (se zpožděním cca 15–20 s) po celou dobu vyšetření, takže hodnoty procentuálního úbytku O_2 a procentuálního přírůstku CO_2 ve vydechaném vzduchu můžeme sledovat po celou dobu zátěžového testu. Programové vybavení umožňuje přímé exportování dat z programového ovladače analyzátoru dýchacích plynů Kardiospirox.

Přístrojové vybavení – monitorace EKG

Ve FN byly změny elektrokardiogramu (EKG) sledovány pomocí jednokanálového, přímo píšícího EKG záznamu, který byl vyhodnocován každou půlminutu v průběhu zátěžového testu.

V současnosti je dvanáctisvodový EKG záznam průběžně po celou dobu vyšetření a dále ještě nejméně po dobu 5 minut po skončení zátěžového testu monitorován. Nejsou-li přítomny nějaké abnormální či patologické změny, je na konci každé ze tří submaximálních zátěží, a v každé půlminutě maximální zátěže, záznam ukládán do paměti počítače. Po skončení zátěžového testu pak jsou tyto záznamy vytisknuty a následně archivovány v dokumentaci vyšetřené osoby.

EKG je monitorován ještě ve 4–5 minutách zotavení po absolvovaném zátěžovém testu do vyčerpání.

Standardizace výsledků

Před zahájením každého zátěžového testu je třeba do paměti počítače vložit aktuální hodnoty korekčních faktorů f_{STPD} a f_{BTPS} . Tyto faktory jsou odečítány z tabulek na základě aktuálních, obvykle ranních hodnot barometrického tlaku a teploty ve vyšetřovně. Hodnoty respirační, tj. spotřeba kyslíku za minutu VO_2 a výdej oxidu uhličitého VCO_2 , jsou automaticky korigovány na standardní podmínky STPD, tj. na 0 °C, 760 torr a pro suchý vzduch. Hodnoty ventilační, tj. především minutová plicní ventilace, jsou korigovány na podmínky BTPS, tj. na tělesnou teplotu 37 °C, na aktuální tlak vzduchu a pro vzduch nasycený vodní parou, tedy na podmínky panující v plicích zdravého člověka.

Další parametry vyhodnocované programem Konsil

Pracovní kapacita W170

Pracovní kapacita W170 (W170 a W170/kg) je definována jako předpokládaný výkon, kterého by vyšetřovaný dosáhl při tepové frekvenci 170/min. Metoda byla zavedena jako test tělesné zdatnosti Wahlundem (1948). U nás se rozšířila jako metoda hodnocení tělesné zdatnosti v šedesátých letech poté, co se stala dostupnější díky vybavení oddělení tělovýchovného lékařství bicyklovými ergometry a zcela nahradila dřívější zátěžové testy, jako byla Letunovova funkční zkouška či harvardský step-test. Díky studii International Biological Program (IBP, Mezinárodní biologický program) máme pro naši populaci věkové normativy tohoto parametru (Seliger & Bartůněk, 1976). Metoda je dodnes užívána buď současně s dále popsanou metodou stanovení VO_{2max} , nebo jako výhradní

metoda hodnocení tělesné zdatnosti v případě, že pracoviště není vybaveno dokonalejší (a ekonomicky náročnější) technikou, především v podobě analyzátoru dýchacích plynů.

Hodnocení W170 vychází z principu lineární závislosti tepové frekvence na intenzitě zátěže. Na základě tří zátěží submaximální intenzity lze zkonstruovat extrapolací přímku závislosti mezi uloženou intenzitou zátěže ve wattech a odpovídající hodnotou TF. S její pomocí pak lze na úrovni 170 tepů/minutu odečíst, jaká intenzita zátěže ve wattech by této hodnotě TF odpovídala.

Vyšší trénovanost probanda se projeví nižší hodnotou TF při odpovídající intenzitě zátěže, extrapolací přímka se tak posune více doprava a odpovídající pracovní kapacita W170 dosáhne vyšší úrovně. Opačně se pokles zdatnosti promítne do vyšších hodnot TF při srovnatelné zátěži, posunu extrapolací přímky opačným směrem a poté poklesem výsledných hodnot W170.

Metoda doznala širokého použití a dodnes je jednou ze základních metod zátěžové diagnostiky (Placheta, 1988; Placheta, Siegllová, & Štefka, 1999).

Maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max})

VO_{2max} je definována jako maximální schopnost využít kyslík z okolního prostředí pro krytí energetických nároků pohybové činnosti. Každý má individuálně rozdílnou limitovanou schopnost dosáhnout při pohybové činnosti do vyčerpání této maximální úrovně. Změřit tuto hodnotu lze při zátěži stupňované do vyčerpání. Pokud se z mnoha možností, jak zvyšovat tuto zátěž až do vyčerpání, držíme metodiky, použité v rámci IBP, necháváme vyšetřovaného nejdříve rozvíjet na úrovni lehké až střední intenzity zátěže a teprve poté zátěž stupňujeme již v kratších časových intervalech až do maxima, tedy do vyčerpání.

Vyšetřovaný je v průběhu maximální zátěže průběžně informován, kolik mu zbývá času do dokončení nejbližší půlminuty, aby pokud možno dosáhl zátěže nejvyšší možné intenzity (maximální zátěž).

Tato část zátěžového testu trvá obvykle 2–4 minuty, z nichž nejvyšší intenzity, a tedy výkonově nejnáročnější, jsou závěrečné dva až tři půlminutové úseky. Na této úrovni se na krytí energetických nároků významně uplatňuje i anaerobní glykolýza s výraznou akumulací kyseliny mléčné v zatěžovaných svalech. Ta je příčinou vysokého stupně lokální tkáňové metabolické acidózy, která může dosahovat až pH 6,5. Ve vzorcích odebrané arterializované kapilární krve odebrané 3–5 minut po takové zátěži, může pH klesnout na hodnoty okolo pH = 7,0 (Wilmore & Costill,

1994). V tomto stavu již nemohou probíhat enzymatické reakce nutné k uvolnění potřebného množství energie k obnově adenosintrifosfátu (ATP) a vyšetřovaný zátěž pro vyčerpání končí.

Zda vyšetřovaný dosáhl maximální zátěže či nikoliv, resp. zda dosaženou konečnou hodnotu VO_{2max} lze pokládat skutečně za individuální dosažitelné maximum, lze posoudit v souladu s obecně přijatými zásadami podle čtyř kritérií (např. Fox & Mathews, 1981; Howley, Bassett, & Welch, 1995 aj.) –

- a) je dosaženo *plateau spotřeby kyslíku*;
- b) TF dosáhne, nebo se alespoň přiblíží, hodnotě odpovídající věkovému normativu vyšetřovaného pro *maximální tepovou frekvenci TFmax*;
- c) respirační kvocient $R (CO_2/O_2)$ *dosáhne 1,05 a vyšších hodnot*;
- d) hodnota maximální koncentrace kyseliny mléčné LA_{max} *dosáhne u dospělých úrovně 10,0 mmol/l a více*.

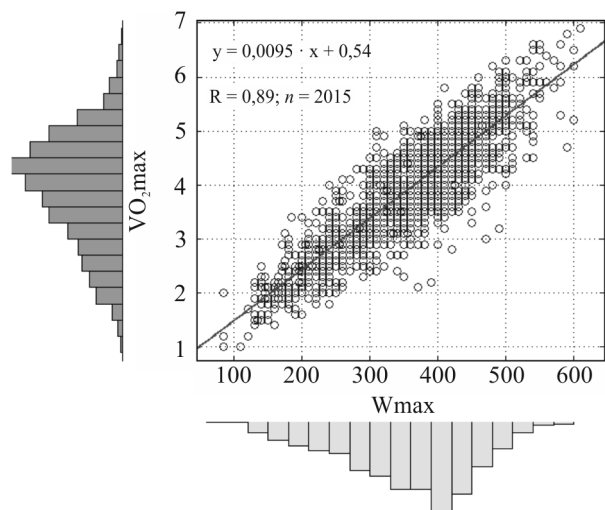
Etický kodex

Etická komise LF UK v Plzni neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy mezinárodními směrnici pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

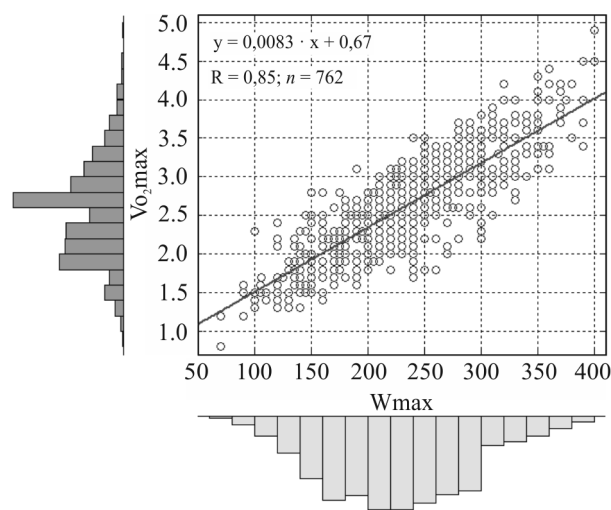
Výsledky

Smyslem vzájemného porovnání parametrů kardiorepirační kapacity (resp. tělesné zdatnosti) bylo především najít mezi uvedenými parametry ty, mezi nimiž existují u většiny skupin nejvyšší korelační závislosti. Porovnávaly se vždy vzájemné vztahy mezi jednou trojicí parametrů VO_{2max} , W170 a Wmax a druhou trojicí parametrů, vztaženou na kg tělesné hmotnosti, tedy VO_{2max}/kg , W170/kg a Wmax/kg. Významnost korelační závislosti vyjadřuje korelační koeficient R. Současně lze u každé z dvojice těchto vybraných parametrů stanovit regresní rovnici, pomocí které při známé hodnotě jednoho z parametrů lze vypočítat parametr druhý. Hlavní otázkou bylo, zda a s jakou přesností lze úroveň maximální spotřeby kyslíku VO_{2max} a VO_{2max}/kg stanovit pomocí buď hodnot W170 a W170/kg či hodnot Wmax a Wmax/kg.

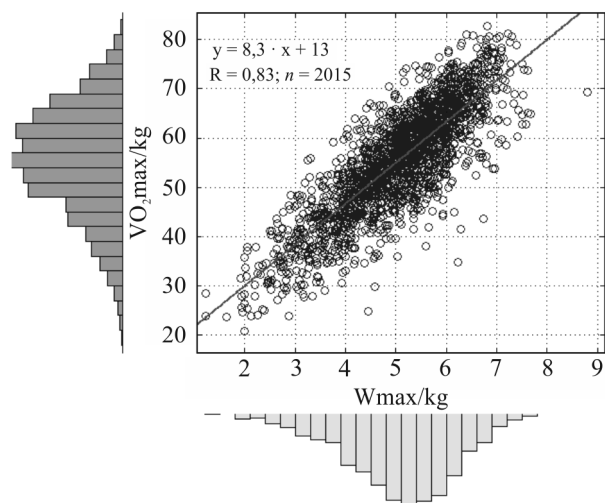
Na Obrázku 1 až 4 jsou uvedeny nejvýznamnější korelační závislosti mezi vybranými spiroergometrickými parametry u celého vyšetřovaného souboru mužů ($n = 2015$) a u celého vyšetřovaného souboru žen ($n = 762$). Nejvyšší korelační závislost byla zjištěna mezi parametry Wmax a VO_{2max} a obdobně mezi Wmax/kg a VO_{2max}/kg , a to jak u souboru mužů, tak u souboru žen. Obdobné korelační závislosti, i když s někdy mírně nižším korelačním koeficientem R,



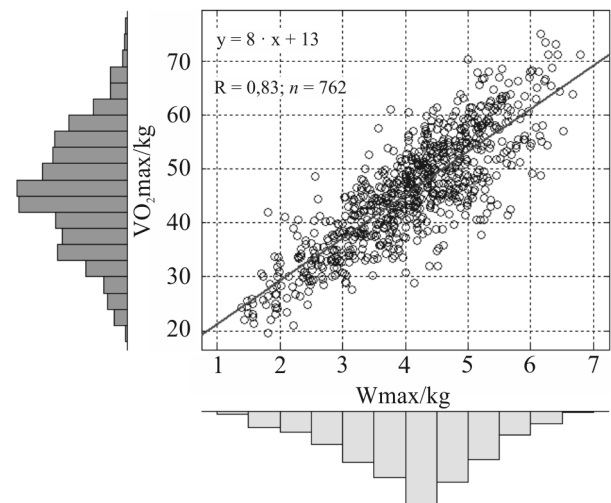
Obrázek 1. Korelační závislost mezi $VO_2\max$ a $W\max$ u souboru mužů ($n = 2\,015$, $r = 0,89$)



Obrázek 3. Korelační závislost mezi $VO_2\max$ a $W\max$ u souboru žen ($n = 762$, $r = 0,85$)



Obrázek 2. Korelační závislost mezi $VO_2\max/kg$ a $W\max/kg$ u souboru mužů ($n = 2\,015$, $r = 0,85$)



Obrázek 4. Korelační závislost mezi $VO_2\max/kg$ a $W\max/kg$ u souboru žen ($n = 762$, $r = 0,83$)

byly zjištěny i u jednotlivých sledovaných skupin sportovců a sportovkyň (vytrvalostní sporty – sportovní hry – ostatní sportovci) i u kontrolních skupin nesportujících mužů a žen. Korelační závislosti mezi dvěma základními charakteristikami kardiorespirační kapacity, jakými jsou $VO_2\max$ a pracovní kapacita W_{170} jsou sice také významné, nedosahují však té úrovně, jako zmíněné vztahy mezi maximálním dosaženým výkonem na ergometru $W\max$ a maximální spotřebou kyslíku $VO_2\max$.

Nejvýznamnější regresní rovnice pro výpočet $VO_2\max$, resp. $VO_2\max/kg$, vyplývají z jejich poměrně velmi těsného vztahu k maximálnímu dosaženému výkonu na bicyklovém ergometru měřenému ve wattech. Mají následující podobu:

Muži

- $VO_2\max = 0,0095 \cdot W\max + 0,54$ (l/min) ($r = 0,89$);
- $VO_2\max/kg = 8,3 \cdot W\max/kg + 13$ (ml/min/kg) ($r = 0,83$).

Ženy

- $VO_2\max = 0,0083 \cdot W\max + 0,67$ (l/min) ($r = 0,85$);
- $VO_2\max/kg = 8,0 \cdot W\max/kg + 13$ (ml/min/kg) ($r = 0,83$).

Diskuze

Stupeň obezity dospělých má negativní vztah k $VO_2\max$ (Rosenberg, 2015). U dětí tomu tak být

nemusí, obézní děti se dokonce mohou vyznačovat vyšší úrovní VO_2max ve srovnání se štíhlými. Vysoká tělesná hmotnost, na níž se podílí nadbytek tukové tkáně, však vede nejen k velmi významně nižším hodnotám $\text{VO}_2\text{max/kg}$, ale pochopitelně velmi významně negativně ovlivňuje i motorickou výkonnost těchto dětí (Rowland, 1991).

Vyšší úroveň kardiorepirační kapacity, vyjádřená VO_2max , souvisí s příznivějším rizikovým skórem ICHS, a to jak u mužů, tak u žen (Jetté, Sidney, Quenneville, & Landry, 1992). U početného souboru 4 082 mužů a 1 205 žen – zaměstnanců veřejného sektoru – ve věku 30–59 let zjistili, že vyšší hodnoty kardiorepirační zdatnosti významně korelovaly s příznivějším rizikovým profilem ICHS. Ke stejným závěrům dospěli i McMurray, Ainsworth, Harrell, Griggs a Williams (1998).

Rozsáhlou metaanalýzu 33 studií, hodnotících mortalitu ve vztahu ke kardiorepirační kapacitě, uvedli Kodama et al. (2009). Podle dosažených hodnot VO_2max rozdělili soubor na osoby s nízkou zdatností (VO_2max byl 7,9 METs a nižší), střední zdatností (VO_2max mezi 7,9 a 10,8 METs) a s vysokou zdatností (10,9 METs a více). Studie ukázala velmi významné rozdíly mortality mezi jednotlivými skupinami (nejvyšší mortalita u nejméně zdatných). Na mortalitě se nejvýrazněji podílela ICHS. Autoři tak doporučují zátěžový test ke stanovení VO_2max jako důležitý biomarker rizika mortality.

Whelton, Chin, Xin a He (2002) provedli metaanalýzu 54 studií, zahrnujících 2 419 osob, u kterých sledovali vliv pohybové aktivity na hodnoty krevního tlaku. Pohybové aktivity aerobního charakteru vedly k redukci krevního tlaku jak hypertoniců, tak normotoniců.

K obdobným výsledkům dospěla i řada dalších rozsáhlých studií (Dickinson et al., 2006; Halbert et al., 1997; Hamer, 2006 a další).

Na rozsáhlém souboru 24 536 zdravých osob, vyšetřených v Cooperově klinice v letech 1971 až 1995 prokázali Cheng et al. (2003), že osoby fyzicky aktivní a nekuřáci se vyznačovali vyšší kardiorepirační kapacitou (stanovenou zátěžovým testem na běhacím ergometru), vyšší FEV-1s i vyšší FVC ve srovnání s osobami se sedavým způsobem života či s těmi, které se staly „sedavými“. Kuřáci měli ve všech srovnáních horší výsledky výše uvedených parametrů.

Za základní kritérium kardiorepirační kapacity pokládají VO_2max také Mehri et al. (2007). Po čtyřtýdenním tréninku na běhacím ergometru (třikrát týdně) zjistili u nemocných s chronickou obstrukční plicní nemocí (CHOPN) významné zlepšení VO_2max

a dalších subjektivních i objektivních příznaků (maximální výkon na ergometru, síla inspiračního svalstva, dyspnoické potíže, kvalita života).

Nízká kardiorepirační kapacita je u diabetiků II. typu pokládána za časný marker inzulinové rezistence (Leite, Monk, Upham, Chacra, & Bergenstal, 2009). Osoby se zvýšeným rizikem syndromu inzulinové rezistence a diabetu II. typu měly významně nižší (o 15 %) VO_2max (22 ml/min/kg) ve srovnání s kontrolní skupinou se stejným životním stylem (26 ml/min/kg), která rovněž odpovídala velmi nízké kardiorepirační kapacitě. Významnou souvislost mezi inzulinovou rezistencí a nízkou kardiorepirační kapacitou zjistili i další autoři (Ericsson & Lindgärde, 1996; Nyholm et al., 1996).

Obdobně popsali souvislost mezi nízkou kardiorepirační kapacitou a diabetem II. typu Helmrigh, Ragland, Leung a Paffenbarger (1991), Jackson, Wysocki a Hartus (1992) či Manson et al. (1992). Wei, Gibbons, Kampert, Nichaman a Blair (2000) upozornili na souvislost mezi nízkou tělesnou zdatností a nízkou pohybovou aktivitou a na druhé straně zvýšenou mortalitou u diabetiků 2. typu.

Pozitivní vliv pohybové aktivity v rámci komplexní terapie diabetu 2. typu zdůrazňuje řada metodických pokynů (např. ACSM, 2015; ACSM/ADA, 2010; Colberg et al., 2010 aj.) vycházejících ze studií potvrzujících tento pozitivní vliv v několika metaanalýzách (Boule, Haddad, Kenny, Wells, & Sigal, 2001; Kelley & Kelley, 2007). Zdůrazňuje se zejména příznivý vliv na redukci HbA1c (*glycated haemoglobin A1c*) jako nejdůležitějšího markeru kontroly, tzv. průměrné nebo dlouhodobé glykémie a hladiny LDL-cholesterolu. Pokles mechanické zátěže, související s nedostatkem pohybové aktivity, vede k poklesu kostní denzity (Gutin & Kasper, 1992).

Pohybová aktivita hraje významnou roli v prevenci některých forem rakoviny. U rakoviny tlustého střeva byla prevalence u pohybově aktivních mužů a žen o 30–40 % nižší než u inaktivních. Riziko je nižší u osob s vyšší úrovní (objemem a intenzitou) pohybové aktivity. Za potřebnou úroveň se pokládá 30–60 minut denně aerobní zátěže střední a vyšší intenzity.

Pozitivní vliv pohybové aktivity na prevalenci nádorů prsu byl rovněž prokázán – prevalence je o 20–30 % nižší u aktivních žen, pokud jejich pohybová aktivita dosahuje obdobné úrovně, jako u předchozí skupiny. Některé studie ukazují příznivý vliv též na prevalenci rakoviny prostaty a plic (Lee, Sesso, & Paffenbarger, 2003).

Obdobné závěry na základě shrnutí poznatků ze 170 observačních epidemiologických studií uvádí Friedenreich a Orenstein (2002). Zatímco důraz na preventivní význam správné výživy a kuřácké abstinence je znám již dávno, pohybová aktivita je dalším z těchto významných faktorů, hrajících roli v prevenci řady nádorových onemocnění.

Pohybová aktivita se projevuje řadou prospěšných vlivů na psychiku cvičících. McAuley (1994) zjistil pozitivní korelaci mezi pohybovou aktivitou a sebevěrou, sebeovládáním, psychologickým pocitem pohody a tvůrčími schopnostmi. Na druhé straně uvádí negativní korelaci (tedy zlepšení) ve vztahu k úzkosti, stresu a depresi. North, McCullagh a Vu Tran (1990) na základě metaanalýzy 80 studií došli k závěru o pozitivním vlivu jak jednorázové, tak dlouhodobé pohybové aktivity na účinnou redukci klinické deprese.

Úplné přerušení tréninku vede velmi rychle ke ztrátě adaptačních změn, zejména na subcelulární úrovni. Přerušení tréninku na 12 dnů je provázeno poklesem enzymatické kapacity o 75 % a její obnova při znovuzahájení tréninku trvá dvojnásobek času, tedy 24 dnů (Ready & Quinney, 1982).

Ogawa et al. (1992) zdůraznili, že zatímco pokles VO_2max v průběhu čtyř decenníí odpovídá 40–41 % původní úrovně u osob se sedavým životním stylem, u trénovaných osob odpovídá tento pokles jen 25–32 % původní úrovně. Při tom pokles tepového objemu se na poklesu VO_2max podílel z 50 %, další díl připadal na pokles TFmax a nižšího využití kyslíku v zatížených svalech.

Karlsen et al. (2015) uvedli kasuistiku 80letého sportovce, jehož kardiorespirační kapacita posuzovaná podle VO_2max , stejně jako ventilační parametry či složení těla, odpovídaly 35letým trénovaným či 25letým „sedavým“ norským mužům. Tento muž absolvoval v průměru 10 900 kroků a 2:51 hodiny pohybové aktivity denně.

Stanovit VO_2max na základě predikce, aniž by bylo třeba použít analyzátorů dýchacích plynů či dosáhnout maximální intenzity při stupňovaném zatížení, se u různě početných souborů pokusila řada autorů. Storer, Davis a Caiozzo (1990) ukázali u skupiny 115 netrénovaných mužů a 116 netrénovaných žen, že lze s vysokou mírou přesnosti vypočítat VO_2max na základě maximálního výkonu Wmax . Obdobně Patton, Vogel a Mello (1982) našli vysokou korelační závislost mezi přímo změřenou, a na základě maximálního dosaženého výkonu vypočítanou hodnotou VO_2max u skupiny 15 mužů a 12 žen. Verma, Gupta a Malhotra (1977) použili k výpočtu VO_2max hodnot tepové frekvence a změn plicní ventilace při submaximálních

zátěžích. O stanovení VO_2max nepřímou, podle hodnot tepové frekvence při submaximálních zátěžích, se pokusili již Astrand a Ryhming (1954), Wyndham (1967) a další. Použitelnost těchto různých přístupů byla obvykle limitována jednak v charakterech souboru vyšetřených, jednak použitou metodikou. Vesměs se jednalo o málo početné soubory.

Závěry

Na otázku, zda pohybová aktivita může být dostatečnou prevencí ischemické choroby srdeční i v případě stravy s vysokým obsahem tuků odpověděl Taylor (2014). Aktivní životní styl může zabránit rozvoji obezity a endotheliální dysfunkci věčtých tepen i v případě obezitogenního prostředí.

Význam pohybové aktivity a kardiorespirační kapacity v prevenci metabolického syndromu prokázala čtyřletá studie (Laaksonen et al., 2002). Osoby s více než třemi hodinami pohybové aktivity týdně o střední až vysoké intenzitě měli jen poloviční riziko rozvoje metabolického syndromu ve srovnání s osobami se sedavým životním stylem. Třetina sledovaných osob s nejvyššími hodnotami VO_2max měla o 75 % nižší riziko rozvoje metabolického syndromu ve srovnání s třetinou osob s nejnižšími hodnotami VO_2max .

Ve studii McGavock, Anderson a Lewanczuk (2006), srovnávající mladé dospělé muže s různým životním stylem, ukázaly výsledky nízkou úroveň citlivosti vůči insulinu a vyšší tepennou tuhost skupiny „sedavé“ skupiny ve srovnání jak se skupinou pohybově aktivních, tak zejména s vytrvalci.

V reprezentativním souboru 1 626 dospělých osob zjistili Ford, Kohl, Mokdad a Ajani (2005) dvakrát vyšší riziko metabolického syndromu u osob se sedavým životním stylem ve srovnání s osobami, které se alespoň 150 minut týdně věnovali pohybové aktivitě střední intenzity. Nejvyšší prevalence metabolického syndromu byla zjištěna u osob sledujících televizi či trávících čas u počítače více než 4 hodiny denně. Snížit dobu trávenou před televizí či u počítače a zvýšit volnočasovou pohybovou aktivitu, a tím podstatně snížit prevalenci metabolického syndromu je doporučení, které není omezeno jen pro americkou populaci. K podobným závěrům dospěli i Hu et al. (2001), Rosolová (2012), Salmon, Campbell a Crawford (2006) a Salmon, Timperio, Telford, Carver a Crawford (2000) a další.

Někteří američtí autoři označují soubor zdravotních rizik souvisejících s nedostatkem pohybové aktivity jako „sedentary death syndrome“ (Booth

& Chakravarty, 2002; Booth & Krupa, 2001; Lees & Booth, 2004). Již v roce 2001 uvedení autoři uvedli, že v USA se zvýšila prevalence obezity dvojnásobně, prevalence diabetu 2. typu devítinásobně a úmrtí na kardiovaskulární onemocnění je stále hlavní příčinou smrti v USA. Za hlavní příčinou pokládají nedostatek pohybové aktivity vedoucí k předčasným zdravotním problémům a smrti. Rizikovou skupinou je v současnosti 60 % Američanů včetně dětí. V budoucích letech je třeba počítat s obrovským zvýšením výdajů na zdravotní péči.

V rozsáhlé metaanalýze, zpracované na základě 33 studií a zahrnujících 102 980 osob, se Kodama et al. (2009) pokusili posoudit význam kardiorespirační kapacity ve vztahu k mortalitě. Probandy rozdělili do tří skupin – s nízkou kardiorespirační kapacitou s VO_2max odpovídající méně než 7,9 METs, střední (7,9–10,8 METs) a vysokou kardiorespirační kapacitou (více než 10,9 METs). Za minimální limit kardiorespirační kapacity podle této analýzy pokládají VO_2max odpovídající 9 METs u mužů a 7 METs u žen (věk 40 let), 8 METs u mužů a 6 METs u žen (věk 50 let) a 7 METs u mužů a 5 METs u žen (věk 60 let). Každé zvýšení VO_2max o 1 MET bylo spojeno s 13% poklesem mortality a 15% poklesem prevalence ICHS. Z klinického hlediska pak lze odhadnout, že každé takové zvýšení kardiorespirační kapacity o 1 MET je spojeno s poklesem obvodu pasu o 7 cm, poklesem TKs o 5 torrů, poklesem hladiny triglyceridů o 1 mmol/l, poklesem glykémie rovněž o 1 mmol/l a vzestupem HDL-cholesterolu o 0,2 mmol/l.

Povědomí o úrovni kardiorespirační kapacity změřené jak přímo při spiroergometrickém vyšetření, tak případně nepřímo výpočtem podle výše uvedených regresních rovnic, vycházejících ze znalosti maximálního dosaženého výkonu na ergometru, může lékařům poskytnout cennou informaci o prevalenci řady chorobných stavů, které jejich klienty (či pacienty) dříve nebo později čekají. Těm na druhé straně taková objektivní informace může být nejen motivací, přisoudit pohybové aktivitě ve svém životním stylu místo, odpovídající jejímu významu, ale také možnost pomocí získaných údajů sledovat její účinnost.

Stanovit úroveň kardiorespirační kapacity podle VO_2max v ambulanci praktického lékaře je za současných podmínek téměř nemožné. Výjimkou jsou ti praktičtí lékaři, kteří mají současně nastavbovou atestaci z oboru tělovýchovného lékařství a tedy i ambulanci vybavenou potřebnou přístrojovou technikou. Možnost získat v rámci specializovaného kurzu odborné znalosti ve „sportovní medicíně“, a tím i v metodice zátěžového testování na ergometru, však

nabízí možnost širšímu okruhu lékařů využívat zátěžového vyšetření u svých pacientů a hodnotit jejich kardiorespirační kapacitu. Použití výše uvedených rovnic umožňuje se značnou mírou přesnosti vypočítat a vyhodnotit VO_2max s použitím spolehlivých bicyklových ergometrů, na našem trhu již běžně dostupných.

Referenční seznam

- ACSM. (2015). Standards of medical care in diabetes – 2015. *Diabetes Care*, 38(Suppl. 1), S1–S93.
- ACSM/ADA. (2010). Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association – joint position statement. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 42, 2282–2303.
- Astrand, I. (1960). Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiologica Scandinavica*, 49(Suppl. 169), 1–92.
- Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1970). *Textbook of work physiology*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Astrand, P. O., & Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, 7, 218–224.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determination of endurance performance. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 32, 70–84.
- Blair, S. N., Cheng Y., & Holder, J. S. (2001). Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits? *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 33, 379–399.
- Booth, F. W., & Chakravarthy, M. V. (2002). Cost and consequences of sedentary living: New battleground for an old enemy. *President's Council on Physical Fitness and Sports. Research Digest*, 3, 1–8.
- Booth, F. W., & Krupa, D. J. (2001). Sedentary death syndrome is what researchers now call American second largest threat to public health. Staženo z <http://hdl.handle.net/10355/10361>
- Borodulin, K., Laatikainen, T., Lahti-Koski, M., & Jousilahti, P. (2005). Associations between estimated aerobic fitness and cardiovascular risk factors in adults with different levels of abdominal obesity. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, 12, 126–131.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., ... Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO_2max in the sedentary state: The HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 252–258.
- Boule, N. G., Haddad, E., Kenny, G. P., Wells, G. A., & Sigal, R. J. (2001). Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA*, 286, 1218–1227.
- Bunc, V., Dlouhá, R., & Heller, J. (1988). Odhad maximální spotřeby kyslíku pomocí submaximálních zatížení. *Časopis lékařů českých*, 127, 276–280.
- Cerretelli, P., & Di Prampero, P. E. (1987). Gas exchange in exercise. In A. P. Fishman, A. B. Fischer, & S. R. Geiger (Eds.), *Handbook of Physiology* (pp. 297–339). Maryland:

- Vernon B. Brooks, Bethesda.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., ... Sigal, R. J. (2010). Exercise and type 2 diabetes: The American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association – joint position statement executive summary. *Diabetes Care*, 33, 2692–2696.
- Danis, A., Kyriazis, Y., & Klissouras, V. (2003). The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3–4), 309–318.
- Dannerberg, A. L., Keller, J. B., Wilson, P. W., & Castell, W. P. (1989). Leisure-time physical activity in the Framingham Offspring Study. Description, seasonal variation, and risk factor correlates. *American Journal of Epidemiology*, 129(9), 76–78.
- Dickinson, H. O., Mason, J. M., Nicolson, D. J., Campbell, F., Beyer, F. R., Cook, J. V., ... Ford, G. A. (2006). Lifestyle interventions to reduce raised blood pressure: A systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Hypertension*, 24, 215–233.
- Eaton, C. N. (1992). Relation of physical activity and cardiovascular fitness to coronary heart disease. Part I: A meta-analysis of the independent relation of physical activity and coronary heart disease. *Journal of American Board of Family Practitioners*, 5, 31–42.
- Ericsson, K. F., & Lindgärde, F. (1996). Poor physical fitness, and impaired early insulin response but late hyperinsulinemia, as predictors of NIDDM in middle-aged Swedish men. *Diabetologia*, 39, 573–579.
- Firstbeat Technologies. (2014). *Automated fitness level (VO₂max) estimation with heart rate and speed data*. Staženo z <http://www.firstbeat.com>
- Ford, E. S., Kohl, K. W., Mokdad, A. H., & Ajani, U. A. (2005). Sedentary behavior, physical activity, and the metabolic syndrome among U. S. adults. *Obesity Research*, 13, 608–614.
- Fox, E. L., & Mathews, D. K. (1981). *The physiological basis of physical education and athletics*. Philadelphia: Saunders Coll. Publ.
- Friedenreich, Ch. M., & Orenstein, M. R. (2002). Physical activity and cancer prevention. Etiological evidence and biological mechanisms. *Journal of Nutrition*, 132, 3465–3464.
- Gronek, P., Holdy, J., Krysiak, J., & Stanislawski, D. (2013). Maximal oxygen uptake is associated with the snp 13470 G > C polymorphism of the mitochondrial NADH dehydrogenase subunit 5 gene (*mtND5*) in caucasians from Poland. *TRENDS in Sport Science*, 4, 189–196.
- Gutin, B., & Kasper, M. J. (1992). Can vigorous exercise play a role in osteoporosis prevention? A review. *Osteoporosis International*, 2(2), 55–69.
- Hagberg, J. M., Moore, G. E., & Ferrell, R. E. (2001). Specific genetic markers of endurance performance and VO₂max. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 29(1), 15–19.
- Halbert, J., Silagy, C. A., Finucane, P., Withers, R. T., Hamdorf, P. A., & Andrews, G. R. (1997). The effectiveness of exercise training in lowering blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials of 4 weeks or longer. *Journal of Human Hypertension*, 11, 641–649.
- Hambrecht, R., Wolf, A., Gielen, S., Linke, A., Hofer, J., Erbs, S., ... Schuler, G. (2000). Effect of exercise on coronary endothelial function in patients with coronary artery disease. *New England Journal of Medicine*, 342, 454–460.
- Hamer, M. (2006). The anti-hypertensive effects of exercise. *Sports Medicine*, 36, 109–116.
- Helmrich, S., Ragland, D. R., Leung, R. W., & Paffenbarger, R. S. Jr. (1991). Physical activity and reduced occurrence of non insulin-dependent diabetes mellitus. *New England Journal of Medicine*, 325, 147–152.
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56, 831–838.
- Honig, C. R., Connett, R. J., & Gayeski, T. E. J. (1992). O₂ transport and its interaction with metabolism: A systems view of aerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 47–53.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 9, 1292–1301.
- Hu, F. B., Leitzmann, M. F., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Willett, W. C., & Rimm, E. B. (2001). Physical activity and television watching in relation to risk for type 2 diabetes mellitus in men. *Archives of Internal Medicine*, 161, 1542–1548.
- Cheng, Y., Macera, C. A., Addy, C. L., Sy, S. L., Wieland, D., & Blair, S. N. (2003). Effects of physical activity on exercise tests and respiratory function. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 521–528.
- Imamura, H., Yoshimura, Y., Okishima, K., Iide, K., Mazura, R., Noda, Y., ... Nagata, A. (2009). Physical activity, physical fitness and coronary heart disease risk factors in college women. *Journal of Health Sciences*, 55, 611–618.
- Jackson, S. C., Wysocki, T., & Hartus, M. A. (1992). The association between physical fitness and non-insulin dependent diabetes in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 561–564.
- Jetté, M., Sidney, K., Quenneville, J., & Landry, F. (1992). Relation between cardiorespiratory fitness and selected risk factors for coronary heart disease in a population of Canadian men and women. *Canadian Medical Association Journal*, 146, 1353–1360.
- Kannel, W. B., Wilson, P., & Blair S. N. (1985). Epidemiological assessment of the role of physical activity and fitness in development cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 109, 876–885.
- Karlsen, T., Leinan, I. M., Bækkerud, F. M., Lundgren, K. M., Tari, A., Steinshamn, S. L., ... Rongmo, Ø. (2015). *How to be 80 years old and have a VO₂max of a 35 year old*. Hindawi Publ. Corp: Case Report Medicine. Staženo z <http://dx.doi.org/10.1155/2015/909561>
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2007). Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins in adults with type 2 diabetes a meta-analysis of randomized-controlled trials. *Public Health*, 121, 643–655.
- Kishida, T., Inaba, R., & Iwata, H. (1997). Relationships between maximal oxygen uptake (VO₂max) and physical activity, blood pressure and serum lipids. *Nihon Eiseigaku Zasshi*, 52, 475–480.
- Klissouras, V., Pirnay, F., & Petit, J. M. (1973). Adaptation to maximal effort: Genetics and age. *Journal of Applied Physiology*, 25(2), 288–293.
- Kodama, S., Saito, K., Tahala, S., Maki, M., Zachu, Y., Asumi, M., ... Sone, H. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular

- events in healthy men and women. *Journal of American Medical Association*, 301, 2024–2035.
- Laaksonen, D. E., Lakka, H. M., Salonen, J. T., Niskanen, L. K., Rauramaa, R., & Lakka, T. A. (2002). Low levels of leisure time physical activity and cardiorespiratory fitness predict development of the metabolic syndrome. *Diabetic Care*, 25, 1612–1618.
- Lee, I. M. (2003). Physical activity and cancer prevention: Data from epidemiologic studies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 1623–1627.
- Lee, I. M., Sesso, H. D., & Paffenbarger, R. S. Jr. (2003). Relative intensity of physical activity and risk of coronary heart disease. *Circulation*, 107, 1110–1116.
- Lees, S. J., & Booth, F. W. (2004). Sedentary death syndrome. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 447–460.
- Leite, S. A. O., Monk, A. M., Upham, P. A., Chacra, A. R., & Bergenstal, R. M. (2009). Low cardiorespiratory fitness in people at risk for type 2 diabetes: Early marker for insulin resistance. *Diabetology & Metabolic Syndrome*. doi: 10.1186/1758-5996-1-8
- Loos, R. J., Hagberg, J. M., Pérusse, L., Roth, S. M., Sarzynski, M. A., Wolfarth, B., ... Bouchard, C. (2015). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2014. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47, 1105–1112.
- Manson, J., Nathan, D. M., Krolewski, A. S., Stampfer, M. J., Willett, W. C., & Hennekens, C. H. (1992). A prospective study of exercise and incidence of diabetes among U. S. physicians. *Journal of American Medical Association*, 268, 63–67.
- McAuley, E. (1994). Physical activity and psychosocial outcomes. In C. Bouchard, R. J. Shephard, & T. Stephens (Eds.), *Physical activity, fitness, and health* (pp. 51–68). Champaign, IL: Human Kinetics.
- McMurray, R. G., Ainsworth, B. E., Harrell, J. S., Griggs, T. R., & Williams, O. D. (1998). Is physical activity or aerobic power more influential on reducing cardiovascular disease risk factors? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 1521–1529.
- McGavock, J. M., Anderson, T. J., & Lewanczuk, R. Z. (2006). Sedentary lifestyle and antecedents of cardiovascular disease in young adults. *American Journal of Hypertension*, 19, 701–707.
- Mehri, S. N., Khoshnevis, M. A., Zarrehbinan, F., Hafezi, S., Ghasemi, A., & Ebadi, A. (2007). Effect of treadmill exercise training on VO_2 peak in chronic obstructive pulmonary disease. *Tunaffos*, 6, 18–24.
- North, T. C., McCullagh, P., & Vu Tran, Z. (1990). Effect of exercise on depression. *Exercise and Sports Science Review*, 18, 379–415.
- Nyholm, B., Mengel, A., Nielsen, S., Skjaerbaek, Ch., Moller, N., Alberti, K. G. M. M., & Schmitz, O. (1996). Insulin resistance in relatives of NIDDM patients: The role of physical fitness and muscle metabolism. *Diabetologia*, 39, 813–822.
- Ogawa, T., Spina, R. J., Martin, W. H., Kohrt, W. M., Schechtman, K. B., Holloszy, J. O., ... Ehsani, A. A. (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*, 86, 494–503.
- Patton, J. F., Vogel, J. A., & Mello, R. P. (1982). Evaluation of a maximal predictive cycle ergometer test of aerobic power. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 131–140.
- Placheta, Z. (1988). *Submaximal exercise testing*. Brno: LF UJEP.
- Placheta, Z., Siegllová, J., & Štejfá, M. (1999). *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi*. Praha: Grada.
- Ready, A. E., & Quinney, H. A. (1982). Alteration in anaerobic threshold as a result of endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 292–296.
- Robergs, R. A., & Roberts, S. (2000). *Exercise physiology*. Boston: McGraw-Hill.
- Rosenberg, W. (2015). *How does BMI affects VO_2* . Staženo z Livestrong.com/article/356365
- Rosolová, H. (2012). *Kardiometabolický syndrom*. Praha: Maxdorf.
- Rowland, T. W. (1991). Effects of obesity on aerobic fitness in adolescent females. *American Journal of Diseases of Children*, 145, 757–762.
- Salmon, J., Timperio, A., Telford, A., Carver, A., & Crawford, D. (2000). The association between television viewing and overweight among Australian adults participating in various levels of leisure time physical activity. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 24, 600–606.
- Salmon, J., Campbell, K. J., & Crawford, D. A. (2006). Television viewing habits associated with obesity risk factors: A survey of Melbourne schoolchildren. *Medical Journal of Australia*, 184, 64–67.
- Seliger, V., & Bartůněk, Z. (1976). *Mean values of various indices of physical fitness in the investigation of Czechoslovak population aged 12–55 years*. Praha: ČSTV.
- Shephard, R. J. (1994). *Aerobic fitness and health*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Storer, T. W., Davis, J. A., & Caiozzo, V. J. (1990). Accurate prediction of $\text{VO}_{2\text{max}}$ in cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 704–712.
- Verma, S. S., Gupta, J. S., & Malhotra, M. S. (1977). Prediction of maximal aerobic power in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 36(3), 215–222.
- Taylor, D. (2014). Physical activity is medicine for older adults. *Postgraduate Medical Journal*, 90, 26–32.
- Wahlund, H. (1948). Determination of physical working capacity. *Acta Medica Scandinavica, Supplementum* 215, 1–127.
- Wei, M., Gibbons, L. W., Kampert, J. B., Nichaman, M. Z., & Blair, S. N. (2000). Low cardiorespiratory fitness and physical inactivity as predictors of mortality in men with type 2 diabetes. *Annals of Internal Medicine*, 132, 605–611.
- Whelton, S. P., Chin, A., Xin, X., & He, J. (2002). Effect of aerobic exercise on blood pressure: A meta-analysis of randomized, controlled trials. *Ann. Intern. Med.*, 136, 493–503.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wyndham, C. H. (1967). Submaximal tests for estimating maximum oxygen uptake. *Canadian Medical Association Journal*, 96, 736–742.

Cardio-respiratory capacity as an important biomarker of health

Background: Cardio-respiratory capacity is an important factor in human health. It's quality depends on many objective factors (such as age and gender), but it can be influenced also by others (physical activity, nutrition). Low level of cardio-respiratory capacity significantly correlates with numerous health failures. **Objective:** Evaluation of the cardio-respiratory capacity in athletes enables a prediction of performance. In a non-sporting population a critically low level of cardio-respiratory capacity could be a warning signal of a high risk of diseases. The Spiroergometric examination needs very sophisticated technical equipment including O₂-CO₂ analyzer. The aim of the study was to examine the possibility of how to replace direct measurement of oxygen consumption by the method. **Methods:** 2 777 protocols from the data base of examinations performed in the period of 1994 till 2015 were used. Cardio-respiratory capacity in all examinations was evaluated according to maximal oxygen uptake VO₂max, physical working capacity W170 and maximal performance on the cyclo-ergometer. Step-wise increased workload on cyclo-ergometer based on procedure used in International Biological Program was applied to obtain the characteristics of cardio-respiratory capacity of each subject (2 015 men and 762 women). **Results:** Correlation coefficients r and regression equations of cardio-respiratory capacity characteristics (W170, W170/kg, VO₂max, VO₂max/kg, Wmax, Wmax/kg) were calculated. The highest correlation was found between VO₂max and Wmax and between VO₂max/kg and Wmax/kg, both in men and women ($r = .89$ in men and $r = .85$ in women for VO₂max and Wmax). The most important regression equations are: (men) $VO_{2\max} = 0.0095 \cdot W_{\max} + 0.54$ (l/min) ($r = .89$), $VO_{2\max}/kg = 8.3 \cdot W_{\max}/kg + 13$ (ml/min/kg) ($r = .83$); (women) $VO_{2\max} = 0.0083 \cdot W_{\max} + 0.67$ (l/min) ($r = .85$), $VO_{2\max}/kg = 8.0 \cdot W_{\max}/kg + 13$ (ml/min/kg) ($r = .83$). **Conclusions:** It was proved that VO₂max and VO₂max/kg values could be calculated according to the maximal performance (Wmax and Wmax/kg) attained on bicycle ergometer. Regular aerobic endurance exercise could reduce biological age of active individuals by 10 to 20 years with a correspondingly decreased likelihood of becoming dependent when a senior and an expressive improvement in the quality of the final years of life (Shephard, 1994). VO₂max and VO₂max/kg values represent important health quality biomarkers. They also offer feedback information, positive and/or negative, about the effectiveness of physical activity influencing its development. Thus, aerobic fitness level has been strongly and positively associated with reduced morbidity, prevalence and mortality rates of so called civilization diseases, good quality of life, performance level, and functional ability. Thus, if no O₂-CO₂ analyzer during ergometry examination is available, calculated VO₂max and VO₂max/kg values can be used for evaluation of cardio-respiratory capacity.

Keywords: cardio-respiratory capacity, health biomarkers, regression equations, spiroergometry