

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Bc. Klára Pekárková

Srovnání analýzy vydechovaných plynů při
zátěži s použitím náustku a obličejové masky

Diplomová práce

Praha 2024

Autor práce: **Bc. Klára Pekárková**

Vedoucí práce: **MUDr. Michal Procházka**

Oponent práce: **MUDr. Kryštof Slabý**

Datum obhajoby: **2024**

Bibliografický záznam

PEKÁRKOVÁ, Klára. Srovnání analýzy vydechovaných plynů při zátěži s použitím náustku a obličejové masky. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika tělovýchovného lékařství, 2024. 87 s., přílohy. Vedoucí diplomové práce MUDr. Michal Procházka.

Abstrakt

Oblíčejevé masky jsou používány jako alternativa k tradičnímu náustku s nosní sponou pro analýzu vydechovaných plynů při zátěžovém testování. Použití masky může způsobovat potenciální nepřesnosti z důvodu úniku vzduchu či většího mrtvého prostoru, a ty mohou ovlivnit výsledky měřených metabolických a ventilačních parametrů. Cílem této diplomové práce bylo srovnání měřených parametrů a subjektivního hodnocení intenzity zátěže v rámci 2 maximálních zátěžových testů u 26 probandů (8 žen a 18 mužů, $25,3 \pm 2,7$ let). Statisticky významný rozdíl při maximální intenzitě zátěže byl zjištěn u parametrů $V_{E_{max}}$ (N $112,62 \pm 23,35$ l/min, M $127,55 \pm 29,42$ l/min), DF_{max} (N $39,6 \pm 6,6$ dechů/min, M $46,9 \pm 9,0$ dechů/min), DO_{max} (N $2,89 \pm 0,63$ l, M $2,75 \pm 0,56$ l), RER_{max} (N $1,15 \pm 0,05$, M $1,17 \pm 0,04$). Statisticky významný rozdíl při maximální intenzitě zátěže nebyl zjištěn u parametru VO_{2max} (N $48,13 \pm 6,14$ ml/kg/min, M $47,47 \pm 6,46$ ml/kg/min), který je považován za zlatý standard pro hodnocení vytrvalostní zdatnosti. Hodnoty tohoto parametru byly zároveň zaneseny i do Bland-Altmanova diagramu, který vizuálně potvrzuje shodu mezi metodou N a M na všech stupních zátěže. Statisticky významný rozdíl při intenzitě zátěže $2W/kg$ byl zjištěn u parametrů $VE_{2W/kg}$ (N $53,04 \pm 8,42$ l/min, M $58,38 \pm 11,76$ l/min), DF (N $23,4 \pm 5,4$ dechů/min, M $28,6 \pm 4,3$ dechů/min) a DO (N $2,38 \pm 0,64$ l, M $2,08 \pm 0,51$ l). Statisticky významný rozdíl při iniciační fázi zátěže (po 3 min intenzity $1W/kg$) byl zjištěn u parametrů $VO_{2 1W/kg}$ (N $19,17 \pm 1,20$ ml/kg/min, M $18,55 \pm 1,22$ ml/kg/min), $VCO_{2 1W/kg}$ (N $1,30$ l/min, M $1,18$ l/min), $RER 1W/kg$ (N $0,94 \pm 0,07$, M $0,89 \pm 0,05$), DF (N $19,2 \pm 4,4$ dechů/min, M $22,7 \pm 4$ dechů/min) a $DO 1W/kg$ (N $1,86 \pm 0,66$ l, M $1,54 \pm 0,31$ l). Rozdíly parametrů TF a subjektivního vnímání intenzity zátěže Borg nebyly statisticky významné na žádném stupni zátěže. Na základě statistické analýzy a klinického zhodnocení průměrných rozdílů se jeví, že i přes existující statisticky významné rozdíly v měřených parametrech, může být obličejová maska nadále používána jako alternativa náustku během maximálních i submaximálních zátěžových testů. Při výběru masky, či náustku by se však mělo uvažovat o možném vlivu na měřené parametry, zvláště při porovnávání testů měřených odlišným sběrným zařízením.

Klíčová slova zátěžové testování, zdatnost, vytrvalost, spotřeba kyslíku, aerobní kapacita, bicyklová spiroergometrie

Abstract

Facial masks are used as an alternative to the traditional mouthpiece with a nasal clip for gas collection during cardiopulmonary exercise testing. These masks bring potential issues (gas leakage or increased dead space) that may affect the results of measured metabolic and ventilatory parameters. The aim of this thesis was to compare measured parameters and subjective assessment of exercise intensity during 2 maximal exercise tests in 26 subjects (8 women and 18 men, aged 25.3 ± 2.7 years). A statistically significant difference at maximum exercise intensity was found in parameters $\dot{V}E_{max}$ (N 112.62 ± 23.35 L/min, M 127.55 ± 29.42 L/min), DF_{max} (N 39.6 ± 6.6 breaths/min, M 46.9 ± 9.0 breaths/min), $\dot{V}O_{2max}$ (N 2.89 ± 0.63 L, M 2.75 ± 0.56 L), RER_{max} (N 1.15 ± 0.05 , M 1.17 ± 0.04). No statistically significant difference at maximum exercise intensity was found in the parameter $\dot{V}O_{2max}$ (N 48.13 ± 6.14 ml/kg/min, M 47.47 ± 6.46 ml/kg/min), which is considered as the gold standard for assessing endurance fitness. This parameter was also plotted in the Bland-Altman diagram, visually confirming the agreement between methods N and M at all stress levels. A statistically significant difference at a exercise intensity of $2W/kg$ was found in parameters $\dot{V}E_{2W/kg}$ (N 53.04 ± 8.42 L/min, M 58.38 ± 11.76 L/min), DF (N 23.4 ± 5.4 breaths/min, M 28.6 ± 4.3 breaths/min), and $\dot{V}O_2$ (N 2.38 ± 0.64 L, M 2.08 ± 0.51 L). A statistically significant difference in the initial phase of exercise (after 3 minutes of $1W/kg$ intensity) was found in parameters $\dot{V}O_2_{1W/kg}$ (N 19.17 ± 1.20 ml/kg/min, M 18.55 ± 1.22 ml/kg/min), $\dot{V}CO_2_{1W/kg}$ (N 1.30 L/min, M 1.18 L/min), $RER_{1W/kg}$ (N 0.94 ± 0.07 , M 0.89 ± 0.05), DF (N 19.2 ± 4.4 breaths/min, M 22.7 ± 4.3 breaths/min), and $\dot{V}O_2_{1W/kg}$ (N 1.86 ± 0.66 L, M 1.54 ± 0.31 L). Differences in parameters TF and rate of perceived exertion were not statistically significant at any exercise intensity level. Based on statistical analysis and clinical evaluation of average differences and despite existing statistically significant differences in measured parameters, the facial mask can still be used as an alternative to a mouthpiece during both maximal and submaximal stress tests. However, when selecting a mask or mouthpiece, potential influences on measured parameters should be considered, especially when comparing tests measured with different collection devices.

Keywords Cardiopulmonary exercise testing, fitness, endurance, oxygen consumption, bicycle spiroergometry,

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením MUDr. Michala Procházky, uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce, MUDr. Michalu Procházkovi, za trpělivost a ochotu, kterou měl v průběhu vzniku této diplomové práce a za odborné vedení výzkumné části práce. Dále děkuji celé své rodině, která mi vždy poskytuje velkou podporu, která mi umožňuje dosáhnout v životě nejrůznějších cílů včetně dokončení této práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ	11
1.1 VYTRVALOSTNÍ ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ.....	13
1.1.1 Indikace zátěžového testování	16
1.1.2 Kontraindikace zátěžového testování	17
1.2 LABORATORNÍ ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ.....	19
1.2.1 Bicyklová spiroergometrie.....	20
1.2.2 Protokoly zátěžových testů	22
1.2.3 Hodnocení tělesné zdatnosti	24
1.3 TERÉNNÍ ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ.....	25
1.4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ZÁTĚŽOVÉHO TESTOVÁNÍ	30
1.4.1 Příjem kyslíku (VO ₂), maximální příjem kyslíku (VO ₂ max)	30
1.4.2 Výdej oxidu uhličitého (VCO ₂).....	39
1.4.3 Respirační výměnný poměr (ang. Respiratory Exchange Ratio, RER)	40
1.4.4 Vitální kapacita (VC).....	41
1.4.5 Minutová plicní ventilace (VE)	41
1.4.6 Dechový objem (DO), dechová frekvence (DF) a mrtvý dechový prostor	42
1.4.7 Ventilační prahy.....	44
1.4.8 Srdeční frekvence (SF, HR).....	46
1.4.9 Výkon	48
2 CÍL, VÝZKUMNÁ OTÁZKA A HYPOTÉZY	49
2.1 CÍL PRÁCE	49
2.2 VÝZKUMNÁ OTÁZKA	49
2.3 HYPOTÉZY.....	49
3 METODY MĚŘENÍ	51
3.1 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÉHO SOUBORU	51
3.2 METODIKA MĚŘENÍ	51
3.3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	54
4 VÝSLEDKY	55
4.1 H1	55
4.2 H2	59
4.3 H3	62
5 DISKUZE	64
ZÁVĚR	73
REFERENČNÍ SEZNAM	75
SEZNAM OBRÁZKŮ	80
SEZNAM TABULEK	81
SEZNAM PŘÍLOH	82
PŘÍLOHY	83

SEZNAM ZKRATEK

Borg Borgova škála zátěže

CI interval spolehlivosti

CO₂ oxid uhličitý

DF dechová frekvence

DO dechový objem

CHOPN chronická obstrukční plicní nemoc

kg kilogram

l litr

M maska

MBP Mezinárodní biologický program

min minuta

ml mililitr

N náustek

O₂ kyslík

RER respirační výměnný poměr

RPE

SD směrodatná odchylka

SF srdeční frekvence

SLE symptomaticky limitovaná zátěž

TF tepová frekvence

VCO₂

VE ventilace

VO₂

VT1 první ventilační práh

VT2 druhý ventilační práh

ÚVOD

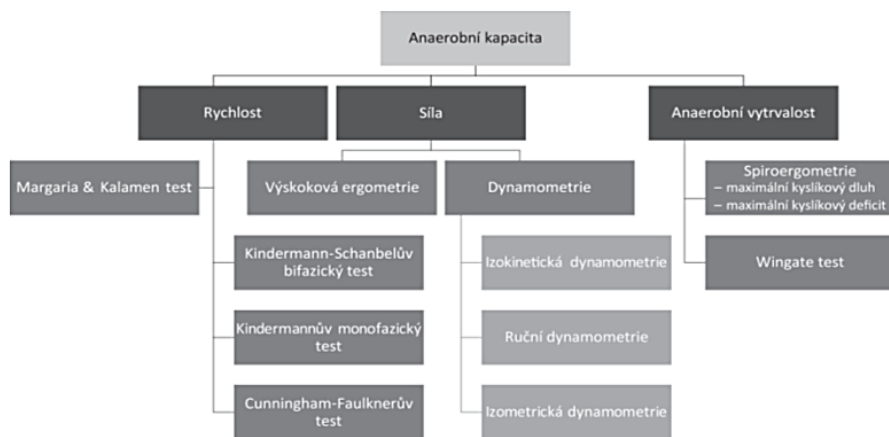
Metabolická odpověď na zátěž vytrvalostního charakteru je běžně hodnocena v laboratoři či ordinaci tělovýchovného lékaře pomocí nepřímé kalorimetrie. Přesné měření inspiračního a expiračního průtoku vzduchu a vydechovaných plynů je během zátěž nezbytné a vyžaduje takové sběrné zařízení, které odděluje inspirační a expirační průtok vzduchu bez toho, aby omezovalo spontánní mechaniku dýchání a nedocházelo k úniku inspiračních ani expiračních plynů. Sběrné zařízení by mělo být pohodlné a odpovídající individuální anatomii obličeje a zdravotnímu stavu vyšetřovaného. Použití náustku s nosní sponou bylo považováno za zlatý standard v nepřímé kalorimetrii. Kvůli jeho "šnorchlové povaze" a obturaci nosního dýchání může náustek způsobovat podráždění v krku, potíže s polykáním a může vést k diskomfortu během zátěžového testu (Bell et al., 2012). Zároveň není výjimkou, že nosní spona během zátěžového testu sklouzne nebo, že dojde k okluzi vzorkovací hadičky slinami, což vede k znehodnocení výsledků testu.

Masky pro sběr plynu jsou nyní běžně používány jako alternativa k tradičnímu náustku a nosní sponě během zátěžového testování. Obličejová maska Hans Rudolph 7450 byla navržena tak, aby neomezovala dýchání nosem a ústy a má potenciál být pohodlnější náhradou náustku bez omezení schopnosti získat hodnotu maximálního příjmu kyslíku (Bell et al., 2012). Masky však přinášejí potenciální problémy související s únikem plynů a přidaným mrtvým prostorem (99-143 ml), které by mohly omezit přesnost měřených parametrů. Předchozí práce zkoumaly rozdíly v klíčových metabolických a ventilačních parametrech mezi náustkem a obličejovou maskou (Bell et al., 2012; Brooks, Dawess, 2012; Wagner, Clark, 2015; Freemas et al., 2020). Výsledky včetně použitých metodiky jednotlivých prací jsou však nekonzistentní, a proto se tato diplomová práce v následujícím textu zabývá nejdříve teoretickými východisky zátěžového testování včetně měřených parametrů a cílem praktické části je porovnat metody měření kardio-respiračních parametrů při 2 maximálních zátěžových testech na bicyklovém ergometru s obličejovou maskou a náustkem s nosní sponou.

1 ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ

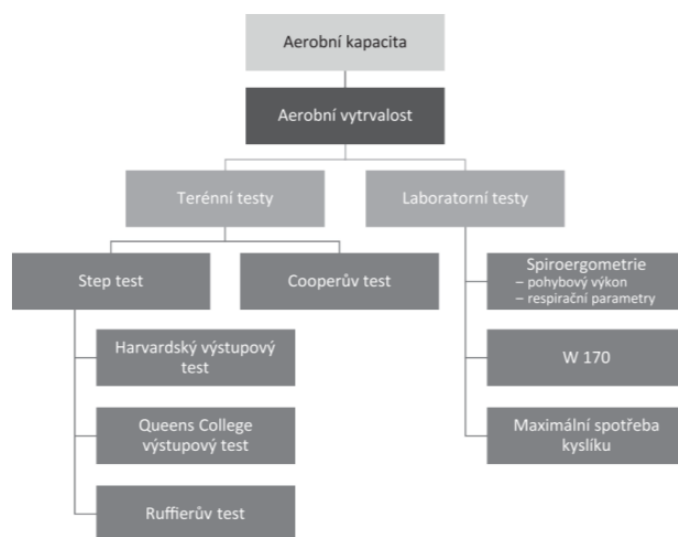
Tělesná zdatnost je stav nebo schopnost jedince efektivně vykonávat fyzickou aktivitu, reagovat na vnější prostředí, adaptovat se na stresové situace a rychle se zotavit po náročných aktivitách. Může být definována jako kombinace různých fyzických a mentálních atributů, které jsou nezbytné pro provádění různorodých fyzických aktivit, které přispívají k celkovému fyzickému a psychickému zdraví. V současném pojetí lze tělesnou zdatnost rozdělit na dvě základní podkategorie, kterými jsou zdravotně a výkonově orientovaná zdatnost. Zdravotně orientovaná zdatnost ovlivňuje zdravotní stav a podílí se také na prevenci mnoha onemocnění. Hlavními komponentami zdravotní tělesné zdatnosti jsou kardiopulmonální vytrvalost, svalová síla a vytrvalost, flexibilita a tělesné složení. Výkonově orientovaná zdatnost se podílí na pohybovém výkonu v konkrétní sportovní specializaci a zahrnuje komponenty jako je reakční čas, síla, rychlost, rovnováha nebo koordinace. Celková tělesná zdatnost je tak důležitá pro funkční schopnost vykonávat každodenní pohybovou aktivitu (aktivity denního života) i specificky zaměřené pohybové cvičení (cílené sportovní aktivity)(Struhár et al., 2019).

K posouzení tělesné zdatnosti se využívají různé typy zátěžových testů, které se zaměřují na jednotlivé komponenty tělesné zdatnosti. Obecně lze zátěžové testování rozdělit na testy zaměřené na silové (anaerobní kapacita organismu), silově-vytrvalostní, vytrvalostní schopnosti (aerobní kapacita organismu) a další specifické testy zaměřující se na specifickou reakci těla (polohové, chladové, hypoxického zatížení, aj.). Silové a rychlostní schopnosti souvisí s anaerobním metabolismem, který získává energii pro svalovou práci převážně neoxidativním způsobem z chemických zdrojů adenosintrifosfátu (ATP), kreatinfosfátu (CP) a anaerobní glykolýzou za produkce laktátu, což jsou zdroje, které pokrývají krátkodobější intenzivní pohybové aktivity větší silou nebo s vyšší rychlostí pohybu. Možnosti testování anaerobní kapacity spolu s některými testy jsou schematicky znázorněny na obrázku č. 1. Kromě uvedených testů existuje nejen ve sportovním odvětví velké množství specifických testů, které se využívají v různých disciplínách(Struhár et al., 2019)



Obrázek 1 Možnosti testování anaerobní kapacity (Struhár et al., 2019, s. 15)

Vytrvalostní schopnosti souvisí a aerobním metabolismem, který získává energii pro svalovou práci oxidací energetických zdrojů z glukózy a lipidů (oxidativní fosorylace) a laktátu, což jsou zdroje, které pokrývají dlouhodobější vytrvalostní pohybové výkony prováděné s menší silou nebo menší rychlostí pohybu. Aerobní schopnost je zároveň nezbytná pro obnovení anaerobní schopnosti při vyčerpání zdrojů. Možnosti testování aerobní kapacity, tedy vytrvalostní tělesné zdatnosti, zahrnují různé typy terénních a laboratorních testů, které jsou znázorněny na obrázku č. 2. a podrobněji popsány v následujícím textu.



Obrázek 2 Možnosti testování aerobní kapacity (Struhár et al., 2019)

Laboratorní a terénní testy se liší v míře reliability měřených hodnot a specificity pohybové aktivity. Laboratorní testy jsou poměrně reliabilní, ale mohou mít nižší specificitu vzhledem k reálné zátěžové intenzitě a situaci, zatímco terénní testy mohou poskytnout vyšší míru specificity vzhledem k testované pohybové aktivitě, ale na úkor reliability měřených parametrů (Máček, Radvanský, 2011). Hodnoty naměřených parametrů během zátěžových testů jsou následně porovnávány s normami pro danou populaci, které v Česku vycházejí z Mezinárodního biologického programu (MBP) koordinovaného prof. Seligerem z období po roce 1966. Tento program shromáždil rozsáhlá data o zdravotním a funkčním stavu a tělesné zdatnosti populace a přesto, že se vedou diskuze o jejich aktuálnosti jsou jako normy používány na mnoha pracovištích dodnes (Heller, 2019, s. 18-23).

Vyšetření zdatnosti formou zátěžových testů u zdravých, méně zdatných, dětí, chronických pacientů nebo seniorů lze indikovat ze tří hledisek. Hledisko funkčně-metabolické, kdy pacient prochází intenzitou zátěže od lehké až po maximální a postupně se v různém poměru mění procentuální zastoupení hrazení energie anaerobního a aerobního metabolismu. Respirační výměnný poměr dosahuje hodnot 1,1-1,25 (1,06 u méně zdatných). Hledisko symptomatické, kdy je zdatnost na rozdíl od zdravých limitovaná symptomaticky, tedy patologickými příznaky (bolest pohybového aparátu, ischemie pracujícího svalu, dušností kardiálního či plicního původu či následkem metabolického či endokrinního systému) často spojenými s negativní emocí, což nazýváme symptomaticky limitovaná zátěž (SLE), ke které může dojít při jakékoli intenzitě zátěže. Hledisko volní, které je ovlivněné zkušeností, vztahem k intenzivní zátěži či psychickým laděním. Vyšetření lze doporučit ve všech níže uvedených indikacích. V případě neschopnosti podání maximálního výkonu z jakéhokoli důvodu lze využít i testy submaximální, jako je test W130/W150/W170 (Máček, Radvanský, 2011, s. 63-64).

1.1 Vytrvalostní zátěžové testování

Vytrvalostní zátěžové vyšetření, někdy též v literatuře označované jako spiroergometrie, se provádí na některém z obvyklých zdrojů zátěže (stacionární kolo, běžecký pás, veslařský trenažér, aj.) spolu s analýzou vydechovaných plynů v klidu, během jednotlivých stupňů zátěže a během zotavovací fáze. V anglické literatuře se

pro toto vyšetření používá zkratka CPX nebo CPET (*cardiopulmonary exercise testing*).

Cílem zátěžového vytrvalostního vyšetření je objektivní hodnocení úrovně tělesné vytrvalostní zdatnosti a výkonnosti na základě posouzení kapacity transportního systému pro kyslík a oxid uhličitý a stanovení jeho hlavních limitujících faktorů (Várnay et al., 2020). Během testu lze stanovit ventilační prahy, resp. stanovit limity tepové frekvence pro zvolenou intenzitu během pohybové aktivity. Při vyšetření využíváme dnes již širokou škálu ergometrů i analyzátorů vydechovaných plynů. Nejčastějšími zátěžovými zdroji v zátěžových laboratořích jsou bicyklové ergometry nebo běžecké pásy (angl. *treadmill*). Výhodou bicyklového ergometru je možnost přesného nastavení mechanické zátěže vyjádřené ve wattech na kilogram hmotnosti (W/kg). Nastavená zátěž klade odpor pracujícím svalům a poskytuje tak testované osobě možnost provádět měřitelný výkon pro určitý časový úsek. V případě běžeckého pásu se zátěž nevyjadřuje ve wattech, ale je dána rychlostí běhu (km/h) a sklonem pásu (%) (Struhár et al., 2019; Várnay et al., 2020). Během testu prochází organismus jednotlivými fázemi zátěže od iniciální, přes submaximální až po maximální zátěž.

Iniciální fáze zátěže

Iniciální fáze zátěže představuje přechod mezi klidovým a rovnovážným stavem a zahrnuje několik aspektů, kterými tělo prochází v reakci na nový zátěžový podnět. Tato fáze představuje změnu kinetiky spotřeby kyslíku a je klíčová pro přípravu těla na následné zvyšování intenzity zátěže. Vzestup spotřeby VO₂ při zátěži střední intenzity je v první kardiodynamické fázi exponenciální a dosažení rovnovážného stavu u mladého člověka trvá asi 2-3 minuty. Délka této fáze je závislá na trénovanosti jedince na daný typ aktivity, věku a aktuálním zdravotním stavu. Tento vzestup je výsledkem vyššího přítoku krve do plic díky venózní pumpě a současnému růstu srdečního výdeje (Máček, Radvanský, 2011). Vzhledem k době dosažení rovnovážného stavu se tato doba předpokládá i při délce jednotlivých stupňů zátěže v rámci zátěžového protokolu.

Submaximální fáze zátěže

Zátěž submaximální intenzity je charakteristická tím, že je nižší než maximální úroveň zátěže, kterou jedinec dokáže vydržet. To znamená, že při submaximální zátěži nepracujete na úplném limitu svých fyzických schopností. Submaximální zátěž obvykle odpovídá 60-85% maximálního výkonu jedince, ačkoliv toto číslo se může lišit v závislosti na fyzické kondici a trénovanosti jedince. Srdce a krevní oběh reagují zvýšenou tepovou frekvencí a krevním tlakem, ale nedosahují svých maximálních hodnot. Tělo při submaximální zátěži primárně využívá aerobní metabolismus, což znamená, že pro výrobu energie je potřeba kyslík. Únava se sice objeví, ale není tak intenzivní nebo rychlá, jako při maximální zátěži. Submaximální zátěž trvá podstatně déle než cvičení maximální intenzity, protože únava přichází pomaleji. Cvičení při submaximální intenzitě je často používáno v tréninkových programech pro zlepšení kardiovaskulární kondice a celkové zdatnosti. Submaximální testy mohou být použity pro odhad maximálního výkonu a celkové fyzické kondice bez nutnosti dosažení maximálního výkonu, což je bezpečnější pro nemocné či velmi málo zdatné osoby.

Zátěž maximální intenzity

Zátěží maximální intenzity se při stanovování tělesné zdatnosti myslí zátěž dynamická. Maximální fyzický výkon zátěže pak může být vztažen k různým sportovním disciplínám vytrvalostního charakteru. Určujícími a/nebo omezujícími faktory mohou být například dokonalá svalová koordinace, schopnost rychlé svalové kontrakce či schopnost podání maximálního výkonu díky využití všech metabolických složek. Rozhodujícím ukazatelem zátěže zde není maximální výkon (W), ale biologický ukazatel maximální vydané energie vyjádřený právě spotřebou kyslíku za minutu, tedy VO_{2max} (ml/min-/kg). Nejpresnější stanovení maximální zátěže je tak stále záležitostí laboratorního měření. Mimo to však existuje řada predikčních rovnic, či terénního testování s využitím zdokonalujících sporttesterů (Antunes-Correa, 2018; Sovová, 2020). Výsledky přinášejí, kromě cenných informací pro vytrvalostní sporty, také mnoho cenných poznatků o stavu dýchacího a oběhového systému, které se využívají k diagnostice a prognóza řadě klinických oborů (Máček, Radvanský, 2011).

1.1.1 Indikace zátěžového testování

Zátěžové testování má mnoho klinických indikací z různých medicínských oborů. U dospělé populace se jedná o důležitý nástroj pro diagnostiku a stratifikaci rizika kardiovaskulárních a respiračních onemocnění, předepisování intenzity pohybové aktivity, hodnocení účinků různých terapeutických zásahů (farmakologických a chirurgických) a posouzení prognózy různých interních onemocnění (Dores et al., 2024). Indikace zátěžového testování u dětí se pak od dospělých liší zejména rozdílnou četností jednotlivých příčin. Za hlavní indikace zátěžového vyšetření se považuje:

- Navození anamnesticky udávaného problému v zátěži
- Vyloučení kardiální příčiny (sub)kolapsu či nevolnosti při pohybové aktivitě
- Hodnocení hemodynamických reziduí po operaci vrozené srdeční vadě
- Vyhodnocení závažnosti arytmií či vzestupu tepu při poruchách srdečního rytmu
- Vyloučení snížené koronární rezervy
- Zjištění základní úrovně zdatnosti a stanovení maximální nerizikové intenzity pohybové aktivity
- Stanovení dynamiky krevního tlaku v dynamické (statické) zátěži
- Vyhodnocení potřeby či efektu farmakoterapie kardiovaskulárních onemocnění
- Diferenciální diagnostika dušnosti v zátěži
- Vyšetření plicních funkcí před/při/po zátěži
- Vyšetření zdatnosti s ohledem na chronické onemocnění
- Vyhodnocení efektu léčby (specifického tréninku) na zlepšení zdatnosti
- Sledování progresu onemocnění
- Stanovení úspěšnosti rehabilitačního programu či změny životního stylu

U dospělé populace se setkáváme s preventivně kardiologickými indikacemi v případě souběhu dvou a více rizikových faktorů v anamnéze spolu se zájmem o intenzivní trénink spojený se zvýšeným rizikem (vysokohorské výpravy, hloubkové potápění, dálkové vytrvalostní závody, aj.). Za rizikové pacienty indikované k zátěžovému vyšetření se považují například osoby s již diagnostikovanými kardiovaskulárními (např. ICHS, AP, chlopňové i kongenitální vady, kardiomyopatie či neurocirkulační astenie) a respiračními onemocněními (nevysvětlitelná dušnost, CHOPN, intersticiální plicní nemoc, cystická fibróza, předoperační či předrehabilitační vyšetření a další) (Máček, Radvanský, 2011, s. 64-65)

1.1.2 Kontraindikace zátěžového testování

U některých pacientů s určitými diagnózami může být zátěžový test spojen s riziky, která převyšují jeho přínosy. V takových případech je zásadní zvážit, zda jsou potenciální výhody testu vyšší než možná rizika pro daného pacienta. Před samotným zátěžovým testem je nezbytné provést důkladné vyšetření pacienta, aby se identifikovaly možné kontraindikace, ať už relativní nebo absolutní, a zhodnotilo se, zda je test opravdu nutný. Kvalitní vyšetření, včetně pečlivě získané anamnézy, tak přispívá k vyšší bezpečnosti zátěžového testování. Pacienti s absolutními kontraindikacemi by neměli podstupovat zátěžový test, dokud nejsou jejich zdravotní problémy stabilizovány. U pacientů s relativními kontraindikacemi může být test proveden, pokud převažují jeho výhody nad potenciálními riziky. V některých situacích, jako je období krátce po akutním infarktu myokardu, po revaskularizačních zákrocích, implantaci bypassu, nebo když je potřeba hodnotit účinnost farmakoterapie, mohou být kontraindikace překonány za účelem posouzení potřeby či efektu farmakoterapie. Je také důležité si uvědomit, že určité stavy mohou ovlivnit výsledky testu, jako je přítomnost blokády levého Tawarova raménka nebo léčba digoxinem, což může snížit diagnostickou hodnotu EKG. V takových případech může zátěžový test stále poskytnout spolehlivé hodnocení fyzické kondice, zvláště pokud je kombinován s analýzou dechových plynů nebo echokardiografií (Thompson et al., 2013).

Absolutní kontraindikace dle Várnaye (2020):

- akutní zánětlivá onemocnění
- akutní infarkt myokardu
- nestabilní angina pectoris
- symptomatické závažné arytmie
- globální respirační insuficience
- hemodynamicky významná srdeční vady
- disekce aorty
- maligní hypertenze
- akutní srdeční selhání, respirační selhání
- akutní plicní embolie, cévní mozková příhoda
- aktivní onemocnění jater, ledvin, endokrinní onemocnění, významná anemie
- těžké neurologické a ortopedické onemocnění
- plicní hypertenze II. Stupně

Relativní kontraindikace (dle tíže onemocnění):

- arytmie (méně až středně významné)
- srdeční a cévní aneurysma
- hypertrofická obstrukční kardiomyopatie
- hypertenze (TK systolický nad 200 mm Hg či diastolický nad 115 mm Hg v klidu)
- metabolické poruchy (dekompenzované)
- ortopedické či neurologické limitace
- psychiatrické poruchy
- nespolupráce pacienta.

1.2 Laboratorní zátěžové testování

Laboratorní testování přináší mnoho výhod pro čistě praktické i vědecké účely. Podmínky v laboratoři by mělo být možné nastavit tak, aby vyhovovaly požadavkům vyšetření i vyšetřovanému jedinci. V případě zátěžového testu by laboratoř měla mít dostatečnou cirkulaci vzduchu s teplotou vzduchu mezi 18-22 °C s vlhkostí do 60 %. Vybavení laboratoře by mělo být zdravotně nezávadné, funkční a pravidelně kalibrované. V blízkosti laboratoře by měly být dostupné základní léky, defibrilátor, kyslíková maska, lehátko a odborný dohled (Placheta, 1999; Várnay et al., 2020).

Metabolická odezva na zátěž je běžně hodnocena v laboratoři tělovýchovného lékařství pomocí nepřímé kalorimetrie. Přesné měření nádechového a výdechového průtoku vzduchu a vydechovaných plynů je během cvičení zásadní. I proto je k měření vyžadováno takové sběrné zařízení, které odděluje nádechový a výdechový průtok vzduchu tak, aby výrazně neomezovalo spontánní mechaniku dýchání, nedocházelo k úniku při výměně plynů a bylo pokud možno pohodlné pro vyšetřovaného.

Použití dvoucestného ventilu Hans-Rudolph s náustkem a nosní spony bylo považováno za zlatý standard v nepřímé kalorimetrii. Avšak kvůli jeho "šnorchlovému charakteru" a nemožnosti dýchání nosem může náustek způsobovat podráždění v krku, potíže s polykáním a může vést k celkovému nepohodlí vyšetřovaného. Vzhledem k variabilnímu tvaru obličeje a nosu není neobvyklé, aby se nosní spona během zátěžového testování uvolnila a znehodnotila tak sběr vydechovaných plynů (Freemas et al., 2020). Obličejové masky na sběr vydechovaných plynů se nyní běžně používají jako alternativa k tradičnímu náustku a nosní sponě během protokolů zátěžového testování. Moderní masky (např. značka Hans-Rudolph) jsou navrženy tak, aby při dýchání nebránily nosu a ústům a nabízí tak potenciál být pohodlnější náhradou za náustek bez omezení schopnosti získat maximální příjem kyslíku (Bell et al., 2012). Přes všechny své výhody i maska představuje potenciální problémy související s únikem plynů v místě přechodu masky a obličeje a přidaným mrtvým prostorem. Tyto faktory jsou nejčastěji diskutovány vzhledem k přesnosti hodnocení metabolických a ventilačních parametrů (Freemas et al., 2020).

1.2.1 Bicyklová spiroergometrie

Bicyklová spiroergometrie je pravděpodobně nejčastější forma zátěžového testování odehrávajících se v laboratorních podmínkách. Poskytuje velké množství informací o různých fyziologických a patologických reakcích na zátěž nejen kardiorespiračního systému, ale i informace o metabolických funkcích organismu. Vyšetření umožňuje objektivně posoudit úroveň vytrvalostní zdatnosti, výkonnosti i pracovní schopnosti. V rámci bicyklové spiroergometrie se kombinuje klasická bicyklová ergometrie s analýzou vydechovaných plynů. K získání informací o reakci kardiovaskulárního systému na zátěž se k již zmíněným využívá současné snímání EKG a měření krevního tlaku. Tato kombinace pak zajišťuje velké množství cenných informací o stavu a reakcích organismu na stupňovanou zátěž. Běžné ergometry pracují obvykle s odporem 6-999 watů a otáčkami 30-130/min. Mají nastavitelná říditka, sedlo, pedály s popruhy pro upevnění chodidel a počítač s optimálním zátěžovým softwarem. Řada spiroergometrických jednotek obsahuje moduly na vyšetření různých parametrů kardio-respiračního systému. Plynové a objemové analyzátory musí být pravidelně kalibrovány dle doporučení výrobce, standardně na začátku dne před provedením prvního testu. Kalibrace je pak také vhodná po výrazné změně teploty místnosti, či výměně jakékoli součástky přístroje. Moderní přístroje mají integrovaná čidla na měření teploty, barometrického tlaku a relativní vlhkosti. Trvale pak musí být nastavena přesná nadmořská výška. Součástí každé kalibrace je objemová kalibrace, při které se testuje přesnost měření ventilovaného objemu a kalibrace plynová, při které testujeme přesnost měření čidla pro O₂ a CO₂ vzhledem ke známé koncentraci v kalibrační směsi. Moderní analyzátory pracují s hodnocením „dech od dechu“, z technického a biologického hlediska se jeví jako optimální průměrování měřených hodnot 10-15 sekundových intervalů (Várnay et al., 2020, s. 27).

Základními kardiovaskulárními parametry jsou srdeční frekvence, krevní tlak či EKG křivka. Základními respiračně ventilačními parametry jsou dechová frekvence, dechový objem, minutová ventilace, příjem kyslíku, výdech oxidu uhličitého a respirační výměnný poměr. Software přístroje dále může dopočítat tepový kyslík, metabolický ekvivalent, případně další parametry. Dnešní analyzátory provádějí měření respiračních plynů dech po dechu. Tyto data však vykazují velkou

variabilitu a ospravedlňují používání průměrování dat v 15-30sekundových intervalech, které představují dobrou rovnováhu mezi variabilitou a přesností dat. Dle indikace a cíle testu se vyšetřující zaměřuje na hodnoty submaximální či maximální (Dores et al., 2024). Nedůležitějším a nejvíce známým parametrem zátěžového vyšetření je již zmiňovaná maximální spotřeba kyslíku, který představuje kapacitu transportního systému. Pro určení zda se skutečně jedná o VO₂max a ne pouze o VO₂peak je nutné sledovat i ostatní parametry, kterým se podrobně zabývá kapitola 1.4.1. Během spiroergometrických testů lze stanovit i ventilační prahy, tedy určit limity srdeční frekvence pro vhodné zvolení intenzity během pohybové aktivity (Bernaciková, 2017).

Při stanovení zátěžového protokolu je nezbytné předem naplánovat intenzitu zatížení a délku jednotlivých stupňů individuálně dle stanoveného cíle vyšetření.

Zátěžové protokoly musí být vybrány s ohledem na individualitu vyšetřované osoby, indikaci a cíl vyšetření. Podle způsobu aplikace zátěže lze protokoly rozdělit na konstantní a progresivní (inkrementální). Progresivní protokoly pak mohou být intermitentní či kontinuální. Kontinuální protokoly mohou být aplikovány pomocí rampy, stupňů nebo jejich kombinací. Testy s rampovým vzestupem intenzity mají výhodu postupného zvyšování rychlosti nebo odporu lineárním způsobem bez skoků mezi etapami, což umožňuje lepší individualizaci protokolu. S touto metodologií je možné dosáhnout lineárního nárůstu VO₂, což zlepšuje přesnost určení VO₂max a (sub)maximálních parametrů, konkrétně ventilačních prahů (VT), což zvyšuje reprodukovatelnost testu. Konstantní zátěžové protokoly lze použít ve specifických situacích, například pro diagnostiku zátěží indukovaného bronchospasmu, hodnocení příspěvku karotických tělísek při cvičení vyvolané hyperpnoe, posouzení laktátového prahu (konstantní práce nízké intenzity trvající 10 minut) a určení VO₂max s vyloučením vzestupu intenzity zátěže do maxima (Dores et al., 2024). Z pohledu intenzity zátěže lze protokoly rozdělit na testy submaximální a maximální intenzity. Testy submaximální se využívají s výhodou tam, Jednotlivé typy protokolů jsou znázorněny na obrázku č. 3 a podrobněji popsány v následujícím textu.

1.2.2 Protokoly zátěžových testů

Jednostupňový test

Jednostupňový test je zátěžový test, u kterého se volí nízká či submaximální intenzita. Intenzita se pohybuje mezi 0,25W/kg u netrénovaných a 2 W/kg u trénovaných jedinců. Délka testu může být různá, průměrná délka testu se pohybuje mezi 4-6 minutami, čím delší však test bude, tím dostáváme přesnější informace o vytrvalostní schopnosti testovaného.

Test/index W170 (W130, W150)

Index W170 je běžným testem, který bývá součástí zátěžového EKG testu. Tak jako při jednostupňovém testu, není nutné dosáhnout maximální intenzity do vyčerpání. Cílem testu je nepřímé posouzení aerobní zdatnosti pomocí hodnocení míry adaptace kardiovaskulárního systému na vytrvalostní zatížení. Vychází se z předpokladu, že jedinec s lepší kardiovaskulární zdatností má při submaximálním výkonu nižší srdeční frekvenci. Za submaximální srdeční frekvenci se považuje taková frekvence, která se blíží buď 70 % predikované srdeční rezervy, nebo 85 % predikované maximální srdeční frekvence. U většiny dětí a dospělých je to právě 170 tepů za minutu, tedy index W170. U starších osob to pak může být 150 či 130 tepů a minutu (Struhár et al., 2018). Test je založen na řízené stupňované zátěži a monitoruje se srdeční frekvence ve vztahu k aktuálnímu výkonu. Ze zjištěného vztahu se určuje výkon při 170 tepech a následně se přepočítá na 1 kg hmotnosti (W170/kg). Hodnocení vychází ze srovnání s příslušnou tabulkou referenčních hodnot populace dle věku a pohlaví. Vyhodnocení se udává slovně, či % referenční hodnoty (Struhár et al., 2018).

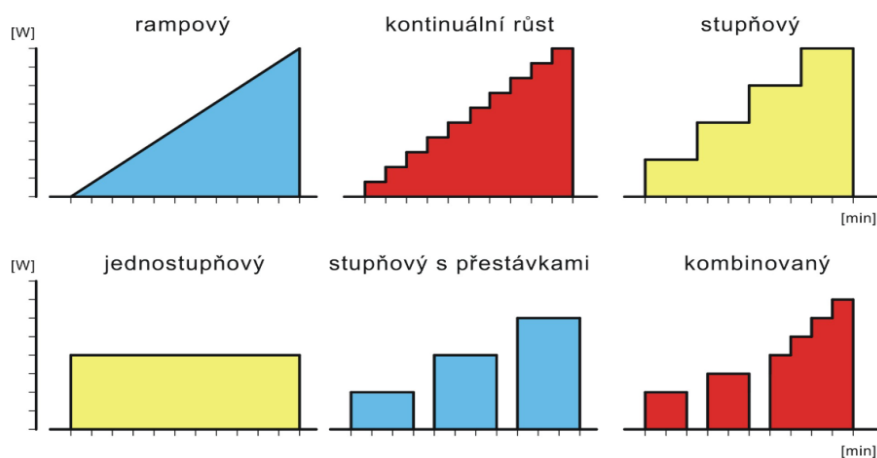
Stupňovaný test

Při testování do maxima lze zvolit stupňovaný vzestup intenzity zátěže, kde je intenzita zátěže zvyšována ve stupních udávaných ve wattech na kilogram hmotnosti (W/kg). Postup vyšetření není přesně daný, a zvyšování intenzity zátěže je tak závislé na zkušenostech a citu vyšetřujícího. Intenzita zátěže by měla být zvyšována dle

schopností a parametrů testovaného jedince. Obvykle se intenzita zátěže zvyšuje úměrně k hmotnosti jedince po 0,5-1 W/kg. První úroveň zátěže by se tak měla pohybovat kolem 25 % odhadované maximální zátěže. Cílem stupňů zátěže v submaximu je dosažení rovnovážného stavu, proto délka trvání každého stupně je zpravidla 2-3 minuty. Ideální délka testu se pohybuje kolem 9-12 minut. U delších testů může docházet k demotivaci či diskomfortu vyšetřovaného, u kratších testů naopak nemusí poskytnout dostatek informací.

Test s kontinuálním zvyšováním zátěže

Dalším typem protokolů je rampový protokol, během kterého roste intenzita zátěže kontinuálně až do maxima a její zvyšování se udává ve wattech za sekundu (W/s). Test začíná pomalým rozehráním bez zátěže nebo s velmi lehkou intenzitou zátěže, která poté kontinuálně roste. Přírůstky intenzity zátěže by měly být určeny individuálně s ohledem na výkonnost a parametry testovaného. Strmost křivky intenzity zátěže by měla být taková, aby vyšetřovaný jedinec dosáhl maxima do dalších 2-8minut (Máček, Radvanský, 2011, s. 66). V případě delšího testování by mohlo dojít k únavě a zkreslení výsledku. Tento test je vhodný pro určení VO₂peak/max. Na rozdíl od stupňovaného testu, zde nedochází k rovnovážnému stavu. Při kontinuálním měření dostáváme dokonalý přehled rostoucích hodnot a můžeme sledovat reakce organismu v každém okamžiku zátěže. Intenzita začíná na nule a roste až nad 4 W/kg. Délka testu se pohybuje okolo 10 minut.



Obrázek 3 Protokoly zátěžového testování

Kombinovaný test

V praxi se lze setkat s testy, které kombinují výše uvedené typy protokolů. Zpravidla se začíná několika stupni zátěže po 2-3 minutách, po kterých následuje rampový vzestup do maxima. Stejně jako u samotného rampového vzestupu, bychom měli dodržovat strmost vzestupu kolem 0,5 W/kg/min. Důležité je také dodržet délku zátěžového testu, který by neměl přesáhnout 14 minut, ideální délka testu se udává do 12 minut, z důvodu nástupu únavy před dosažením maximálního metabolického vytížení (Várnay et al., 2020). Tato problematika je podrobněji probrána v následujícím textu práce.

1.2.3 Hodnocení tělesné zdatnosti

Celkovou tělesnou zdatnost lze hodnotit na základě výsledků submaximálních a maximálních laboratorních zátěžových testů. V případě submaximálních testů lze zdatnost predikovat skrze odezvu srdeční frekvence při standardizované lehké až střední intenzitě zátěže. Pro testovaného s normální odpovědí sinoatriálního uzlu na zátěž platí, že čím nižší vzestup tepové frekvence na jednotkovou zátěž, tím je testovaný vytrvalostně zdatnější. V případě testů s maximální intenzitou jsou srovnány dosažené hodnoty parametru VO_{2max} s populační normou, které vycházejí z norem stanovených v MBP a jsou stále považovány za reprezentativní (Máček, Radvanský, 2011). Za maximální test je považováno dosažení intenzity zátěže odpovídající $RER \geq 1,10$. V případě zátěže limitované symptomy či nedostatkem motivace hodnotíme hodnotu jako VO_{2SL}/VO_{2peak} . Zdatnost testovaného však vždy posuzujeme v kontextu s jeho onemocněními, aktuálním stavem a aktuální pohybovou anamnézou. Hodnocení zátěžového EKG se využívá jak k preventivnímu screeningu náhlé smrti ve sportu, či ke sledování u vybraných srdečních poruch, jejichž nález v klidu je indikací k zátěžovému vyšetření. Krevní tlak je měřen na pravé paži v zátěži, či do 5 tepů po zastavení. Nejjednodušší hodnocení krevního tlaku je sledování navýšení krevního tlaku v dynamické zátěži oproti klidu, rovnice pro výpočet adekvátní odpovědi je: $TKs\ hraniční = TKs\ klidový + (zátěž\ ve\ watech/kg \times 30)$. Indikací k ukončení testu je $TK > 240$ mm Hg. Stanovení ventilační prahu je závislé na dynamice parametrů výměny respiračních plynů, SF v průběhu zátěže s rampovým vzestupem intenzity. Obvykle se VT stanovuje z grafu, kde je v čase zobrazena

minutová ventilace, příjem kyslíku, výdej oxidu uhličitého a respirační výměnný poměr. Odhad subjektivně vnímané intenzity zátěže dle Borga z tabulky, která obsahuje 15 číselně a slovně vyjádřených stupňů do 6 do 20. Tabulka Borgovy škály je zanesena v příloze č. 2.

1.3 Terénní zátěžové testování

V případě terénního testování je daleko složitější standardizovat podmínky, což do jisté míry ztěžuje schopnost opakování testu za stejných podmínek a jejich případné porovnání. Problémem pak může být i měření některých funkčních parametrů, které se při zátěži sledují. Naopak velkou výhodou terénního testování je možnost zaměření se na specificitu daného sportovce a jeho měření ve sportu identickém, či velmi blízkém jeho běžnému zatížení. S vývojem technologií se dá předpokládat přesun testování do terénních podmínek k zajištění přesnější specifikaci zátěže. V terénních podmínkách lze zatím věrohodně měřit hlavně variabilitu tepové frekvence, pomocí hrudního pásu a saturaci O₂ s využitím bezdrátového přístroje či hodinek. Existuje mnoho protokolů, které se dají pro terénní testování využít. V následujícím textu budou blíže popsány ty, které jsou v praxi lehce využitelné.

Cooperův test

Cooperův test vytrvalostního běhu, zavedený Dr. Kennethem Cooperem v roce 1968, je široce uznávaný a používaný pro hodnocení kondice, původně to byl test koncipovaný pro vojáky americké armády. Tento test zahrnuje určení VO₂max osoby na základě jejího výkonu během určitého času, což je podrobně vysvětleno v tabulce č.1 Test se provádí na atletické dráze nebo běžeckém páse, kde lze snadno měřit uběhnutou vzdálenost a čas. Účastník má k dispozici 12 minut, aby uběhl co nejvíce, přičemž může kombinovat běh a chůzi, pokud potřebuje. Po skončení tohoto úseku následuje ještě asi 5 minut uvolňující chůze. Cooperův test je ideální pro ty, kteří mají určité běžecké zkušenosti a jsou schopni si nastavit správné tempo pro dosažení nejlepšího výkonu. Pro účastníky s různou úrovní kondice lze použít upravené varianty tohoto testu. Hlavním cílem testu je určení aerobní vzdálenosti (Heller, 2019) K provedení testu je potřeba mít: běžecký ovál/běžecký pás, stopky, kužely pro označení trasy, záznamový arch.

Testovaná osoba musí být: seznámena s principem testu, důkladně rozcvičená, anamnesticky zkontrolovaná a mít ozkoušené tempo.

Průběh testu: Umístíme značky v určených intervalech okolo trati, s cílem usnadnění měření dokončené vzdálenosti. Testovaný běží po dobu 12 minut a průběžně se zaznamenává celková dosažená vzdálenost. Chůze je v průběhu testu je povolena. Během testu dotyčného dostatečně motivujeme tak, aby dosáhl co nejlepšího výsledku.

Hodnocení testu: Test je hodnocen dle dosažené vzdálenosti v metrech, které se dosadí do tabulky. Na základě uběhnutých metrů se hodnotí úroveň výkonnosti vzhledem k populaci.

Prediktivní rovnice pro výpočet VO₂max: (Cooper, 1968)

$$\text{VO}_2\text{max (ml/min/kg)} = (22.351 \times \text{vzdálenost v kilometrech}) - 11.288$$

Věk		Velmi dobré	Dobré	Průměrné	Špatné	Velmi špatné
13-14	M	2700+ m	2400-2700 m	2200-2399 m	2100-2199 m	2100- m
	Ž	2000+ m	1900-2000 m	1600-1899 m	1500-1599 m	1500- m
15-16	M	2800+ m	2500-2800 m	2300-2499 m	2200-2299 m	2200- m
	Ž	2100+ m	2000-2100 m	1700-1999 m	1600-1699 m	1600- m
17-19	M	3000+ m	2700-3000 m	2500-2699 m	2300-2499 m	2300- m
	Ž	2300+ m	2100-2300 m	1800-2099 m	1700-1799 m	1700- m
20-29	M	2800+ m	2400-2800 m	2200-2399 m	1600-2199 m	1600- m
	Ž	2700+ m	2200-2700 m	1800-2199 m	1500-1799 m	1500- m
30-39	M	2700+ m	2300-2700 m	1900-2299 m	1500-1899 m	1500- m
	Ž	2500+ m	2000-2500 m	1700-1999 m	1400-1699 m	1400- m
40-49	M	2500+ m	2100-2500 m	1700-2099 m	1400-1699 m	1400- m
	Ž	2300+ m	1900-2300 m	1500-1899 m	1200-1499 m	1200- m
50+	M	2400+ m	2000-2400 m	1600-1999 m	1300-1599 m	1300- m
	Ž	2200+ m	1700-2200 m	1400-1699 m	1100-1399 m	1100- m

Tabulka 1 Hodnocení aerobní zdatnosti dle Cooperova testu (Cooper, 1968)

Průvodní studie od Coopera z roku 1968 prezentovala 90% míru korelace mezi hodnotou VO₂max zjištěnou zátěžovým testem a hodnotou vycházející z uvedené rovnice. Této původní studie se zúčastnilo 115 příslušníků amerických vzdušných sil Vieira 2023. Novější studie jsou dnes však k této shodě kritické a udávají výrazné podhodnocení výsledků vypočtených z rovnice, zvláště proto, že rovnice nepočítá s hmotností, ale pouze s uběhnutou vzdáleností (VIEIRA, 2024). Naopak studie zabývající se porovnáním Cooperových a laboratorních testů ve schopnosti předpovídat výkon v půlmaratonu u 23 běžců. V Cooperově testu se měřila vzdálenost, vnímaná námaha a maximální srdeční frekvence, zatímco laboratorní testy hodnotily maximální aerobní výkon a další kardiorespirační a metabolické proměnné. Výsledky ukázaly silné korelace mezi oběma typy testů a finálním časem v půlmaratonu, přičemž Cooperův test měl lepší prediktivní schopnosti. Výsledky však jsou dle autorů aplikovány pouze na rekreační skupinu mužských běžců (Alvero-Cruz et al., 2019).

Andersenův test

Andersenův test je jednoduchý běžecký test navržený k hodnocení aerobní zdatnosti. Cílem testu je uběhnout maximální vzdálenost takovým způsobem, že testovaný jedinec 15 sekund běží a 15 sekund odpočívá po dobu 10 minut. Cíl testu je zhodnocení aerobní kapacity jedince.

K provedení testu je potřeba mít: stopky, měřicí pásmo, píšťalku, kužely.

Testovaná osoba musí být: seznámena s principem testu, důkladně rozcvičená, anamnesticky zkontrolovaná a mít ozkoušené tempo.

Průběh testu: Vyznačíme 2 rovnoběžné čáry ve vzdálenosti 20 m a zvýrazníme kužely. Testovaný jedinec na povel vyběhne od první čáry směrem ke druhé a tento proces opakuje po dobu 15 sekund a 15 sekund přestávky, pauzy jsou oznámeny hvizdem. Takto testovaný absolvuje 20 intervalů o celkové době 10 min. Pokaždé když se testovaný otáčí v cílové linii, musí se za čarou dotknout prsty čáry.

Prediktivní rovnice pro výpočet VO₂max:

$$\text{VO}_2\text{max}(\text{ml/kg/min}) = 18.38 + [0.03301 \times \text{uběhnutá vzdálenost (m)}] - [5.92 \times \text{pohlaví (muži = 0, ženy = 1)}]$$

Beep test

Autorem protokolu je Luc Léger. Tento test je velmi podobný předchozímu testu. Jedná se o terénní test obecné zdatnosti, který spočívá v běhu na 20 m úsek. Z výsledku tohoto testu lze určit aerobní zdatnosti testovaného jedince. Tento typ testu je poměrně často používán sportovními organizacemi, školami, bezpečnostními složkami a dalšími institucemi k testování všeobecné fyzické zdatnosti.

K provedení testu je potřeba mít: stopky, kužely, zvuková stopa s nahraným rytmem běhu, záznamový arch, rovnou neklouzavou plochu

Testovaná osoba musí být: seznámena s principem testu, důkladně rozcvičená, anamnesticky zkontrolovaná, před testem 48 h fyzicky v klidu

Průběh testu: Test je prováděn na rovném neklouzavém povrch. Vyznačíme na ploše 2 rovnoběžné čáry ve vzdálenosti 20 m a zvýrazníme kužely. Testovaný jedinec se po odstartování testu musí v určeném časovém intervalu vymezeném zvukovým tónem dotknout nohou druhé čáry. Rychlost běhu začíná v úvodu na 8 km/h a každou minutu se zvyšuje. Testovaná osoba se pokouší udržet zrychlující se tempo co nejdéle tak, aby vždy před zazněním signálu provedl dotyk se vzdálenější čarou, kde tolerance jsou 1-2 metry. Pokud daný interval nedodrží, test skončí.

Hodnocení testu: Testující zapisuje počet uběhnutých úseků mezi čarami. Výslednou vzdálenost zanesse do tabulky (tabulka č.2) a vyhodnotí.

Prediktivní rovnice pro výpočet VO₂max (ml/min/kg):

$$\text{VO}_2\text{max} = 31.025 + (3.238 \times \text{dosažená rychlost}) - (3.248 \times \text{věk}) + (0.1536 \times \text{věk} \times \text{dosažená rychlost})$$

Stupeň	Počet kol	Rychlost (km/h)	Čas kola (s)	Čas úrovně (s)	Celkový čas (min:s)	Vzdálenost úrovně (m)	Celková vzdálenost (m)
1	7	8,0	9,00	63.0	1:03:00	140	140
2	8	9,0	8,00	64.0	2:07	160	300
3	8	9,5	7,58	60.6	3:08	160	460
4	9	10,0	7,20	64.8	4:12	180	640
5	9	10,5	6,86	61.7	5:14	180	820
6	10	11,0	6,55	65.5	6:20	200	1020
7	10	11,5	6,26	62.6	7:22	200	1220
8	11	12,0	6,00	66.0	8:28	220	1440
9	11	12,5	5,76	63.4	9:32	220	1660
10	11	13,0	5,54	60.9	10:32	220	1880
11	12	13,5	5,33	64.0	11:36	240	2120
12	12	14,0	5,14	61.7	12:38	240	2360
13	13	14,5	4,97	64.6	13:43	260	2620
14	13	15,0	4,80	62.4	14:45	260	2880
15	13	15,5	4,65	60.4	15:46	260	3140
16	14	16,0	4,50	63.0	16:49	280	3420
17	14	16,5	4,36	61.1	17:50	280	3700
18	15	17,0	4,24	63.5	18:53	300	4000
19	15	17,5	4,11	61.7	19:55	300	4300
20	16	18,0	4,00	64.0	20:59	320	4620
21	16	18,5	3,89	62.3	22:01	320	4940

Tabulka 2 Hodnocení úrovní v Beep testu (Léger et al., 1988)

Step-testy

Step-testy jsou oblíbenou praktickou metodou pro hodnocení fyzické zdatnosti, zejména pak kardiovaskulární zdatnosti. Metoda je snadná a nevyžaduje drahé vybavení, zároveň ji lze upravit různými úrovním kondice. Testy spočívají v neustálém rytmickém vykonávání určitého cvičení (vystupování na step či jinou vyvýšenou platformu), což vede k vyššímu metabolickým nárokům a zvýšení minutového srdečního výdeje. Během těchto cvičení se zvyšuje tepová frekvence a systolický objem srdce. Princip těchto testů je založen na předpokladu, že existuje vztah mezi fyzickou kondicí a rychlostí, s jakou se srdeční frekvence po zátěži vrátí na klidovou hodnotu před zátěží (Struhár et al., 2019) Mezi nejznámější testy patří Harvard step-test, Queen's College step-test, YMCA step test a další. Jednotlivé testy se liší v délce trvání, frekvenci stoupání či výšce stepu.

1.4 Základní parametry zátěžového testování

K posouzení okamžité reakce organismu na zvyšující se zátěž se standardně při vytrvalostním zátěžovém vyšetření hodnotí ventilačně-respirační parametry, kardiovaskulární parametry, křivka elektrokardiografu, tedy EKG, parametry výkonnosti a subjektivní hodnocení zátěže. Většina těchto parametrů se důkladněji hodnotí v několika fázích: v klidu, na úrovni ventilačních prahů (podrobněji níže), v subjektivním maximu u zdravého/v symptomy limitovaném maximu (SLM) u nemocného a v ve fázi zotavení (Várnay et al., 2020). V následujícím textu budou popsány nejdůležitější a v rámci zátěžového vyšetření také nejvíce diskutované parametry. Popsány budou jejich základní definice, metody měření a hodnocení jednotlivých parametrů.

1.4.1 Příjem kyslíku (VO_2), maximální příjem kyslíku (VO_{2max})

Příjem (spotřeba) kyslíku vyjadřuje množství kyslíku přijatého organismem za určitý čas, nejčastěji pak uváděno v l/min či přepočtené na kilogram hmotnosti v ml/kg/min. Přestože v literatuře se pojmy příjem a spotřeba kyslíku často zaměňují, dle Plachety (1999) je nutné pojmy příjem a spotřeba rozlišovat tak, že příjem kyslíku (VO_2) označuje hodnoty měřené u úst vyšetřovaného, zatímco spotřeba kyslíku (QO) označuje děj na úrovni tkání. Spotřeba kyslíku je závislá na srdečním výdeji (tj. tepový objem x srdeční frekvence) a na arteriovenózním rozdílu kyslíku. Fyziologický limit maximálního arteriovenózního rozdílu kyslíku je 15-17 ml na 100 ml krve.

Klidové hodnoty příjmu kyslíku se pohybují okolo 3,5 ml/min/kg (Fletcher et al., 2013, s. 876). Pro zjednodušení se v praxi využívá pro klidovou hodnotu 3,5 ml/min/kg metabolický ekvivalent (1 MET). Ke stanovení hodnoty se využívá rozdíl procentuálního zastoupení kyslíku v atmosféře a vydechovaného vzduchu. Maximální spotřeba kyslíku vyjadřuje maximální schopnost aerobně produkovat makroergní fosfáty, je to komplexní ukazatel výkonnosti transportního systému pro dýchací plyny od intracelulárního transportu až po zevní prostředí (Máček, Radvanský, 2011). Vilikus et al. (Vilikus et al., 2004) dokonce považuje VO_{2max} za nejcennější ukazatel kardiorespirační zdatnosti ve vztahu k získávání energie pro pracující svaly v maximální zátěži. Bernaciková et al. (2017) ho uvádí jako nejlepší ukazatel kapacity

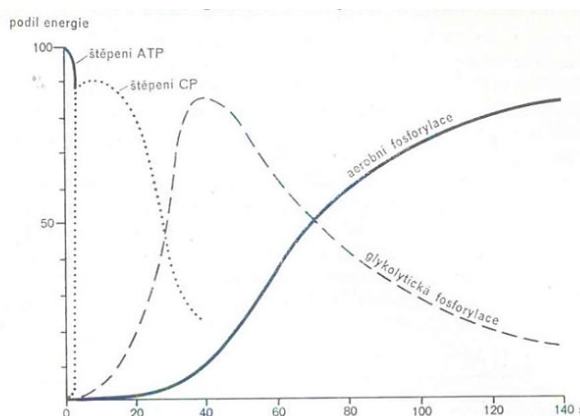
transportního systému pro kyslík. Máček s Radvanským (2011) považují VO_{2max} za biologický ukazatel maximální vydané energie rozhodující o aerobní zdatnosti. Zároveň zdůrazňují, že stanovení takto pojaté maximální zátěže je laboratorní záležitost, která zkoumá transportní kapacitu organismu. Hodnota VO_{2max} by se měla vždy uvádět spolu s respiračním výměnným poměrem, jako ukazatel maximální intenzity zátěže. Vysoká hodnota VO_{2max} tak přináší užitek převážně ve vytrvalostních aktivitách, méně pak v aktivitách krátkodobých/silových či aktivitách vyžadujících přesnou techniku.

Pro stanovení VO_{2max} je nutné dosažení tzv. plató (z ang *plateau*) VO_2 , tedy stav již dále nestoupajícího VO_2 při pokračujícím vzestupu intenzity zátěže. V případě absence plató, lze hodnoty VO_{2peak} považovat za VO_{2max} v situaci, kdy je dosaženo dostatečného metabolického vyčerpání. Míru metabolického vyčerpání odráží hodnota respiračního výměnného poměru (RER), kdy za vypovídající považujeme $RER > 1,15$ u zdravých a $RER > 1,10$ u méně zdatných či pacientů s kardio-respiračním onemocněním (Várnay et al., 2020, s. 60). Pokud není dosaženo intenzity maximální zátěže nejedná se o testování do *Vita maxima*, ale intenzitu submaximální a dosažené hodnoty označujeme indexem „*peak*“, v případě limitace intenzity z důvodu nastupujících symptomů chronického onemocnění (kardiovaskulárního, respiračního, pohybového systému či jiného systému) jedná se o symptomy limitované maximum (SLM). Příjem kyslíku lze měřit v jakékoli fázi zátěže, pokud se nejedná o zátěž maximální označuje se jako submaximální. Submaximální příjem kyslíku je pak jakákoli hodnota mezi klidem a maximumem a je nejčastěji uváděn jako procento VO_{2max} .

Krytí energetických potřeb pro svalovou práci a kinetika VO_2

Na začátku zátěže (tedy i spiroergometrického vyšetření) je energie potřebná pro prvních 20-30 s svalové práce hrazena anaerobně ATP-CrP systémem a postupně se rozbíhající anaerobní glykolýzou, která dosahuje svého vrcholu kolem 45 s a následně zase klesá. Zároveň, ale pomaleji, se rozbíhá aerobní hrazení energie, které se mezi 60. a 70. sekundou podílí na hrazení energie asi z 50 %. Od této doby začíná postupně převažovat aerobní úhrada energie, která asi od 120. sekundy již zcela převládá. Nad úrovní prvního ventilačního prahu je společně s aerobní fosforylací opět aktivována i anaerobní glykolýza, která se pak od druhého ventilačního prahu stane

pro úhradu energie dominantní. V důsledku anaerobního hrazení energie na začátku zátěže vzniká kyslíkový deficit (někdy též nazýván jako pozátěžový kyslík), který se postupně uhradí až v zotavovací fázi aerobním metabolismem. Kyslík v zotavovací fázi je potřebný k obnově zásob adenosintrifosfátů (ATP) a kreatinfosfátu (CrP), resaturaci myoglobinu a později také ke zpracování laktátu, tedy jeho konverzi na glykogen (Várnay et al., 2020, s. 55-56) Grafické znázornění energetického krytí a tabulka podílu aerobního a anaerobního metabolismu je na obrázku č. 4.



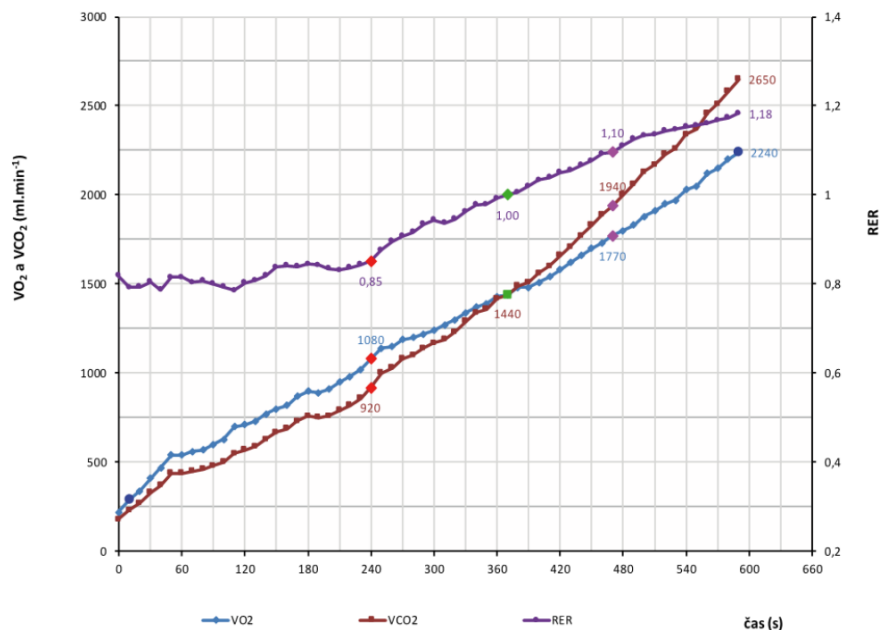
čas	10s	30s	60s	2m	4m	10m	30m	60m	120m
ANA %	90	80	70	50	35	15	5	2	1
AE %	10	20	30	50	65	85	95	98	99

Obrázek 4 Podíl energetického krytí v závislosti na trvání zátěže (%) (Placheta, 2001)

Průběh křivky VO₂ v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření

Při použití kontinuálního rampového protokolu při spiroergometrii je vhodné zvolit strmost vzestupu zátěže tak, aby bylo maximálního zatížení dosaženo během 8-12 minut. V takovém případě je dosaženo lineárního nárustu VO₂. V případě zátěže trvající déle než 14 minut může únava nastat dříve, než je dosaženo dostatečného metabolického vytížení. Naopak nepřiměřeně prudká strmost vzestupu zátěže vede k neúměrné hyperventilaci v iniciální fázi zátěže, a to zejména ve chvíli nedostatečně ustálených parametrů kardiovaskulárního a respiračního systému v klidové fázi (Kroidl et al., 2014). Podobný efekt bude mít i příliš vysoká intenzita počáteční zátěže, potom i iniciální strmost vzestupu VO₂, výdeje oxidu uhličitého a minutové ventilace bude výraznější, po zhruba 50-60 s začne docházet k jejich ustálení na

úroveň odpovídající strmosti rampové zátěže (Várnay et al., 2020, s. 55) . Normální hodnota vzestupu VO₂ na bicyklovém ergometru je 10,3±1,0 ml/min/W.



Obrázek 5 Křivka VO₂, VCO₂ a RER v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření (Várnay et al., 2020, s. 108)

Faktory ovlivňující příjem kyslíku v klidu a v maximální zátěži

Cesta O₂ ze vzduchu do mitochondrií představuje řadu kroků, z nichž každý může představovat potenciální překážku. Dle Basseta a Howleyho (2000) lze limitující faktory rozdělit na centrální a periferní. Centrálními faktory jsou: difuzní kapacita plic, maximální srdeční výdej a schopnost krve přenášet kyslík. Za periferní faktor považuje charakteristiku kosterních svalů. Podrobněji jsou jednotlivé faktory rozebrány v následujícím textu.

Difuzní kapacita pulmonálního systému: U průměrného jedince cvičícího v nízké nadmořské výšce plíce efektivně nasycují arteriální krev kyslíkem s udržovanou saturací nad 95 %. Přestože nebyl pozorovaný významný pokles saturace ani při maximální zátěži, je zde riziko nerovnováhy alveolo-arteriální difference z důvodu rychlého průchodu erytrocytů při vysoké zátěži. Plicní systém tak může limitovat maximální příjem kyslíku za určitých okolností, zejména u elitních sportovců, kteří mají vyšší maximální srdeční výdej a kratší dobu pro nasycení krve kyslíkem. Tento limit může být překonán dýcháním kyslíkem obohaceného vzduchu.

Toho se využívá převážně o osob sportujících ve vyšších nadmořských výškách nebo osob s chronickými respiračními onemocněními, kde může přidaný kyslík zvýšit schopnost vykonávat zátěž (BASSETT, 2000).

Maximální srdeční výdej: Hill et al. (1923) již v ve 20. letech 20. století tvrdil, že maximální srdeční výdej je hlavní důvod vysvětlující individuální rozdíly ve VO_{2max} . Dnes se pracuje teorií, že rozdíly mezi netrénovaným a trénovaným jedincem jsou způsobeny především rozdílem v maximálním tepovém objemu. Během cvičení je v závislosti na intenzitě zátěže z krve procházející pracujícími svaly extrahován dostupný kyslík. Proto hlavním mechanismem pro zvýšení VO_{2max} je zvýšení průtoku krve bohaté na kyslík. Odhaduje se, že maximální srdeční výdej se podílí na hodnotě VO_{2max} ze 70-85 %. Ze studií pak vychází, že tréninkem indukovaný nárůst ve VO_{2max} vzniká především zvýšením maximálního srdečního výdeje, nikoli zvýšením arteriovenózním rozdílem 2_2 . Beta-blokátory vedou k poklesu VO_{2max} o 5-15 %, což potvrzuje, že pokles VO_{2max} při použití kardio-selektivních beta-blokátorů je způsoben sníženým průtokem krve a dodáním kyslíku (BASSETT, 2000, s. 73-74).

Transportní kapacita krve: Schopnost krve přenášet kyslík je závislá na množství hemoglobinu v krvi. Změna jeho obsahu, je tak dalším způsobem, jak ovlivnit transport kyslíku do pracujících svalů. „Blood doping“, což je praxe umělého zvyšování množství hemoglobinu v krvi, byla zkoumaná v několika studiích. Reinfuze 900-1350 ml krve zvyšuje transportní kapacitu krve pro kyslík, což v kontrolovaných studiích vedlo ke 4-9 % zvýšení VO_{2max} oproti osobám, kterým byl aplikován malý objem fyziologického roztoku (BASSETT, 2000).

Histologické složení kosterních svalů: Limitací složení kosterní svaloviny u psů se ve své práci věnoval Honig et al. Za problematické místo pro difúzi O_2 považovali prostor mezi povrchem erytrocytu a sarkolemou. Pro udržení difuzního gradientu a vodivosti je nutná nízká koncentrace kyslíku v buňkách ve srovnání s krví. VO_{2max} je ovlivněna interakcí mezi transportem kyslíku a jeho využitím v mitochondriích. Zvýšení aktivity mitochondriálních enzymů zlepšuje výdrž, ale nemusí nutně zvyšovat VO_{2max} . Andersen a Henriksson se zabývali kapilární hustotou. Kapilární hustota se s tréninkem zvyšuje, což zlepšuje dodávku kyslíku ve

svalových vlákních a zvyšuje výdrž, ale má menší vliv na zvýšení VO_{2max} . Schopnost adaptace kosterní svaloviny na trénink je daleko větší než je tomu u plic (BASSETT, 2000).

Dalšími faktory, které nelze zcela ovlivnit jsou: věk, pohlaví, dědičnost, pohybové návyky a klinický stav kardiorespiračního či kardiovaskulárního systému

Genetické faktory: maximální hodnoty, kterých je jedinec schopen dosáhnout jsou z velké části ovlivněny genetickými předpoklady. Pomocí specifického tréninku se zlepšení pohybuje v rozmezí 5-30 % výchozích hodnot v závislosti na trénovanosti jedince. U profesionálních sportovců se zlepšení pohybuje v rozmezí 5-10 %, u netrénovaných pak lze dosáhnout zlepšení až o 30 % (Noakes, 2000) (Fletcher et al., 2001).

Věk: maximální hodnoty VO_{2max} jsou dosaženy ve věkovém rozmezí 15-30 let a s přibývajícím věkem postupně klesají. V 60 letech dosahuje hodnota VO_{2max} asi dvě třetiny toho, co ve 20 letech (Fletcher et al., 2013a, s. 876). Pokles VO_{2max} dosahuje průměrně 5ml za každé desetiletí u populace, která neprovádí pravidelné vytrvalostní cvičení. Hodnota VO_{2max} souvisí se ztrátou soběstačnosti ve stáří a ukazuje se, že hranice pro udržení soběstačnosti je 18 ml/kg/min u mužů a 15 ml/kg/min u žen. Takových hodnot průměrně dosahují neaktivní osoby ve věku 80-85 let. Pokles aerobní zdatnosti je však možné zvrátit pomocí progresivního vytrvalostního tréninku, který má potenciál oddálit ztrátu soběstačnosti až o 10-12 let (Shephard, 2009).

Pohlaví: muži vykazují hodnoty VO_{2max} vyšší o 20 % oproti ženám (Millet, Bentley, 2004). Nižší hodnoty u žen jsou připisovány nižším procentuálním zastoupením svalové hmoty oproti tukové hmotě a nižší koncentraci hemoglobinu i objemu krve v krevním řečišti. Matins et al. (2023) se pak ve své studii zaměřili na hodnocení aerobní kapacity pomocí VO_{2max} a upravenou tukuprostou svalovou hmotu dolních končetin u 57 amatérských triatlonistů a triatlonistek. I v této studii měli muži výrazně vyšší VO_{2max} , a to jak absolutní, tak i relativní k tělesné hmotnosti. Ovšem při vztahování VO_{2max} k tukuprosté svalové hmotě rozdíl mezi pohlavími nebyl signifikantní. Tytéž výsledky byly pozorovány jak pro maximální hodnoty, tak pro submaximální. Tato studie tak potvrzuje tvrzení předchozích autorů, zároveň však

doplňuje informace o totožné aerobní kapacitě svalové hmoty u mužů i žen. Míra poklesu za každé desetiletí je dle Fletchera (2013) naopak větší u mužů, a to od čtvrtého desetiletí.

Cvičební návyky: Pravidelná fyzická aktivita má významný vliv na hodnoty VO_{2max} . U mírně aktivních mladých mužů je VO_{2max} přibližně 12 METs (42 ml/kg/min), zatímco u mladých mužů provádějících vytrvalostní trénink (běh na dlouhé vzdálenosti) může VO_{2max} dosahovat hodnot 18-24 METs (60-84 ml/kg/min). U žen se ukazuje vztah podobný (Fletcher et al., 2013).

Klinický stav kardiovaskulárního systému: hodnota VO_{2max} je ovlivněna stupněm poškození organismu způsobeným přidruženými onemocněními. Obecně je velmi těžké predikovat odpovídající hodnoty bez provedení zátěžového testu. Predikcí hodnot se zabývají predikční rovnice (viz níže), které jsou vzhledem k variabilitě pohybových návyků a ostatním faktorům vždy pouze orientační. VO_{2max} se rovná součinu maximálního minutového srdečního výdeje a maximálního arteriovenózního rozdílu kyslíku. Minutový srdeční výdej se rovná součinu tepového objemu a srdeční frekvence. Maximální arteriovenózní rozdíl, který se zvyšuje při cvičení, má fyziologický limit v rozmezí 15-17 % objemu. Pokud je tedy dosaženo maximálního úsilí, tak lze VO_{2max} použít k odhadu maximálního minutového srdečního výdeje (Fletcher et al., 2013).

Inaktivita: fyzická aktivita jedince má stěžejní vliv na hodnoty VO_{2max} . Dle Fletchera (2001) dochází po 3 týdnech na lůžku k poklesu hodnot o 25 % u zdravých mužů.

Intraindividuální variabilita

Intraindividuální variabilita, tedy variabilita příjmu kyslíku jednoho organismu, je závislá na několika faktorech. Tato variabilita se může projevit ve změnách VO_2 během různých druhů nebo úrovní fyzické aktivity. Intraindividuální variabilita se obvykle pohybuje v jednotkách procent VO_{2peak}/VO_{2max} , mezi 2-5,2 % (Chrzanowski-Smith et al., 2020), Za hlavní faktory lze považovat následující:

Tréninkový stav: Pravidelný trénink může zvýšit VO_{2max} a zlepšit celkovou efektivitu využívání kyslíku, a to o 10-20 %. Naopak, delší období nečinnosti nebo sníženého tréninku může vést k poklesu (Fletcher et al., 2013; Noakes, 2000).

Únava a regenerace: Stav únavy nebo nedostatečné regenerace může dočasně snížit výkonnost a efektivitu využívání kyslíku o 5-10 %. Zdravotní stav: Krátkodobé zdravotní problémy, jako jsou nemoci nebo zranění, mohou ovlivnit schopnost těla využívat kyslík (Fletcher et al., 2001).

Výživa a hydratace: Strava a hydratace mají vliv na energetickou účinnost a tím i na VO_{2max} . Například dehydratace nebo nedostatek klíčových živin může snížit výkonnost.

Psychologické faktory: Stres, motivace a psychický stav mohou ovlivnit fyzickou výkonnost a tím i využití kyslíku.

Environmentální faktory: Podmínky prostředí, jako jsou teplota, vlhkost a nadmořská výška, mohou ovlivnit VO_{2max} o 1-2 %. Vlivem nadmořské výšky se zabývala již studie z roku 1990 (Di Prampero, Ferretti, 1990).

Denní variace: Tělesná výkonnost a fyziologické reakce mohou kolísat v průběhu dne v závislosti na různých faktorech, včetně cirkadiánních rytmů, a to o 2-4 %.

Predikční rovnice spotřeby kyslíku

Přestože přímé hodnocení pomocí zátěžového testování je stále považováno za zlatý standard, v klinické praxi se běžně setkáváme s tlakem na snižování finanční nákladnosti a či nedostatku vybavení a kvalifikovaného personálu. I proto je kladen důraz na zdokonalování nepřímých metod měření kardiorespirační zdatnosti. Predikční regresivní rovnice aplikované v submaximální a maximální zátěži tak mohou poskytnout adekvátní odhad VO_{2max} i kardiorespirační zdatnost z hlediska vybavení, náročnosti i nákladů. Jedny z posledních rovnic demonstrovali autoři Kokkinos et al. (2017), ta vznikla na podkladě dat z databáze FRIEND (z ang. *Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database*), která zahrnuje data na základě různého věku, pohlaví, etnika, rasy zdravotního stavu a různých regionů

Spojených států amerických a Evropy. Zatímco původně používaná rovnice ACSM (z ang. *American College of Sports Medicine*) měla výsledky $VO_{2\max}$ na bicyklovém ergometru nadhodnocovat v průměru o 15 % (22,77 % u mužů a 11,23 % u žen), nová rovnice FRIEND nadhodnocuje průměrně 0,5 % (u mužů 0,26 %, u žen 1,37 %). U běhátka pak původní rovnice ACSM nadhodnocuje průměrně o $21,4 \pm 24,9$ %, FRIEND o $5,1 \pm 18,3$ %. Z výsledků vychází vyšší přesnost rovnic pro bicyklovou ergometrii. V diskuzi autoři zároveň komentují i limitace studie (Kokkinos et al., 2017) (Sovová, 2020). Následující rovnice vycházejí z práce: Nové vzorce pro výpočet maximální spotřeby kyslíku při zátěžových testech podle registru FRIEND (Sovová, 2020).

Rovnice pro stanované $VO_{2\max}$ (ml/min/kg) byly stanoveny pro:

bicyklovou ergometri:

$$\text{Muži} = 1,76 \times (\text{watt} \times 6,12 / \text{hmotnost (kg)}) + 3,5$$

$$\text{Ženy} = 1,65 \times (\text{watt} \times 6,12 / \text{hmotnost (kg)}) + 3,5$$

$$\text{Bez zohlednění pohlaví} = 1,74 \times (\text{watt} \times 6,12 / \text{hmotnost (kg)}) + 3,5$$

Vylučovací kritéria jsou:

- a) anamnéza nádorového onemocnění,
- b) ischemická choroba srdeční (ICHS),
- c) CHOPN,
- d) chronické onemocnění ledvin,
- e) ischemická choroba periferních tepen,
- f) dále osoby, které test ukončily pro abnormální nález nebo před dosažením maximálního výkonu

běžecský pás:

$$\text{rychlost (m/min)} \times (0,17 + \text{procenta sklonu} \times 0,79) + 3,5$$

Vstupními kritérii jsou:

- a) věk nad 20 let,

b) nepřítomnost KV onemocnění (ICHS, ischemická choroba periferních tepen, srdeční selhání),

c) nepřítomnost CHOPN,

d) dále osoby, které test ukončily pro abnormální nález nebo před dosažením maximálního výkonu

1.4.2 Výdej oxidu uhličitého (VCO₂)

Výdej oxidu uhličitého (VCO₂) vyjadřuje množství vydechnutého oxidu uhličitého za určitý čas, nejčastěji uváděno v l/min či přepočtem na kg hmotnosti v ml/min/kg (Struhár et al., 2018). Je ukazatelem tvorby CO₂, který metabolicky vzniká v tkáních při fyzické zátěži. Množství produkovaného CO₂ je závislé na množství a druhu (pomalých/rychlých) zapojených svalových vláken, na míře zapojení aerobního a anaerobního hrazení energie a na použitých zdrojích energie. Ve tkáních je respirační kvocient při spalování čistě tuku 0,7 a při spalování sacharidů pak 1,0. Při spiroergometrickém vyšetření nad úroveň prvního respiračního prahu přidává k metabolicky vzniklému CO₂ i CO₂ vznikající nárazníkovou reakcí. Nad VT₂ roste výdej CO₂ v důsledku kompenzace metabolické acidózy. Zároveň je výdej ovlivněn celkovou regulací dýchání daný citlivostí receptorů či dalšími odlišnostmi jedince. Várnay et al. (2020) ve své publikaci k tomu uvádí, že vyšší hodnota VCO₂ v klidové i iniciální fázi spiroergometrického vyšetření může být ovlivněna hyperventilací. Důvodem hyperventilace může být zatím nedosažený ustálený stav oběhových a respiračních parametrů. Další příčinou může být převažování anaerobního hrazení energie již v klidu, a to z důvodu nadměrného příjmu sacharidů těstě před spiroergometrickým vyšetřením nebo onemocněním respiračního systému (Várnay et al., 2020).

Průběh křivky VCO₂ v zátěžové fázi rampového spiroergometrického vyšetření

Při použití rampového protokolu spiroergometrického vyšetření jsou hodnoty VCO₂ na začátku zátěže nižší než u VO₂, ale VCO₂ stoupá strměji. První zlomový nárůst vzestupu VCO₂ se objevuje v oblasti prvního ventilačního prahu (VT₁), vizuálně je však lépe viditelný až u druhého ventilačního prahu (VT₂). Problematika

ventilačních prahů se podrobněji zabývá kapitola 1.44 níže. V úseku mezi VT1 a VT2 dochází ke křížení VO₂ a VCO₂. V případě dosažení plató pro VO₂, může naznačeno také plató VCO₂. Samotný průběh VCO₂ však může být ovlivněn řadou okolností, proto je stejně jako VO₂ variabilní (Várnay et al., 2020, s. 64) Normální průběh křivky je zobrazen na obrázku č.5 výše. Vyšší hodnoty VCO₂ v klidové a iniciální fázi zátěže může být způsobena, podobně jako u VO₂, klidovou hyperventilací, která je způsobena zatím neustálenými parametry kardiiovaskulárního a respiračního systému(Kroidl et al., 2014). Další příčinou může být převažování anaerobního metabolismu již v klidu z důvodu nadměrného příjmu sacharidů těsně před zátěží, nebo onemocněním respiračního systému(Várnay et al., 2020, s. 67).

1.4.3 Respirační výměnný poměr (ang. Respiratory Exchange Ratio, RER)

Poměr respirační výměny někdy též respirační kvocient udává poměr mezi vydýchaným CO₂ a přijatým O₂. K výpočtu se používá poměr objemu plynů, nebo poměru procentuální změny koncentrace plynů oproti atmosféře.

$$\text{RER} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

V klidu závisí RER na složení stravy, převážně na trojpoměru (sacharidy : tuky : bílkoviny). Pokud by strava obsahovala pouze sacharidy, RER by se blížil 1,00. Pokud by strava obsahovala pouze bílkoviny, RER by se pohyboval kolem 0,80. V případě tukové stravy by se RER pohyboval kolem 0,70. Při běžně smíšené stravě pak bývá RER v rozmezí 0,80-0,85.

Při submaximální zátěži, vlivem stoupající spotřeby kyslíku pracujícími svaly a opožděné reakce ventilace, RER nejdříve poklesne. Se zvyšující se zátěží RER postupně stoupá a uplatňuje se anaerobní uvolňování energie. Čím je intenzita zátěže vyšší, tím méně je hodnota RER závislá na složení trojpoměru živin a RER se tak mění vzhledem ke vzrůstající acidóze. Vzniká nestálá kyselina uhličitá, která se rozkládá na oxid uhličitý a vodu. Oxid uhličitý je pak vydechován ve vyšší koncentraci a roste tak RER.

Respirační výměnný poměr poskytuje informace o typu metabolizovaného energetického substrátu. Jeho hodnota na konci zátěžového testu nabízí objektivní

pohled na intenzitu zátěže. Přesto že se jednotliví autoři zcela neshodnou, za mezní hodnotu dosažení maximální intenzity zátěže lze považovat hodnoty $\geq 1,10$. V případě hodnoty $\leq 1,10$ uvažujeme o submaximální intenzitě zátěže (Dores et al., 2024, s. 7). Hodnota RER 1,00 přibližně odpovídá anaerobnímu prahu (Struhár et al., 2019).

1.4.4 Vitální kapacita (VC)

Vitální kapacita plic udává objem maximálně vydechnutého vzduchu, kterému předchází maximální nádech. Jedná se o statický parametr, který je závislý na obecné biomechanice hrudníku, pohlaví, věku, povrchu těla, trénovanosti a věku. Ženy mají průměrně okolo 3-4 l, muži pak okolo 4-5,5 l. Jako statický parametr se test vitální kapacity při zátěži neprovádí, lze ho však změřit před a po zátěži, kdy se hodnoty mohou i výrazně lišit v závislosti na rozdýchání a ovlivnění biomechaniky hrudníku. V rámci adaptace může vlivem vytrvalostního tréninku docházet i ke zvýšení hodnot (Bernaciková, 2017).

1.4.5 Minutová plicní ventilace (VE)

Minutová ventilace (VE) je udává objemu vzduchu, který je vdechnut za jednu minutu. Nejčastěji je udávána v l/min. Závisí na dechové frekvenci (DF) a dechovém objemu (DO), kdy jejich hodnotu udává součin těchto parametrů, tedy $VE = DF \times VT$. Během zátěže se VE zpočátku zvyšuje kvůli nárůstu DO, který se může zvýšit tři až pětkrát a dosáhnout přibližně 60 % vitální kapacity plic. V pozdějších fázích cvičení se frekvence dýchání alespoň zdvojnásobí, zatímco DO zůstává relativně nezměněn.

Klidové hodnoty VE dospělého jedince se pohybují kolem 7-10 litrů/minutu. V reakci na zátěž se hodnoty mohou pohybovat kolem 100-120 l/min. U některých trénovaných vrcholových sportovců pak hodnoty ventilace mohou dosahovat až 1,5násobek, a to 150-180 l/min (Vilikus et al., 2004; Bernaciková, 2017).

Tak jako ostatní parametry má i minutová ventilace svá specifika při spiroergometrickém vyšetření s rampovým protokolem. Svalová práce vyžaduje vyšší příjem O_2 při vyšší produkci CO_2 . Zajištění dostatečné výměny je realizováno současným zvýšením plicní ventilace a průtoku krve v plicním oběhu a pracujících

svalech. K vzestupu plicní ventilace dochází bezprostředně po zahájení svalové činnosti. Klíčovou roli v řízení ventilace má centrální nervová soustava (CNS), kde se kombinuje vliv motorické kůry, respiračního centra, extereceptorů ve svalech a chemických podnětů, které společně regulují dýchání. Při zátěžovém testu rampovým protokolem je až do VT2 minutová ventilace regulována parciálním tlakem CO₂ v krvi, nad VT2 již řízení ventilace přebírá hodnota pH (tedy množství H⁺ iontů v krvi). Zlomový nárůst VE nad VT2 je odrazem kompenzace metabolické acidózy, hyperventilace. Adekvátní ventilací rozumíme stav, kdy objem vzduchu, který vstoupí do plicních alveolů a podílí se na výměně vzduchu, je adekvátní metabolickým potřebám organismu. Při svalové práci je velikost VE řízena potřebou odstranění CO₂ na buněčné úrovni, pokud není přítomná hypoxemie je vliv O₂ na velikost VE až na druhém místě (Várnay et al., 2020, s. 77).

1.4.6 Dechový objem (DO), dechová frekvence (DF) a mrtvý dechový prostor

Dechový objem (DO) udává objem vzduchu vydechnutého po klidovém nádechu. Dechový objem lze spočítat vydělením minutové ventilace dechovou frekvencí. Klidové hodnoty průměrné populace se pohybují kolem 0,5 litru. V reakci na zátěž dechový objem roste k hodnotám až kolem 2,5 litru. U vytrvalostně trénovaných dochází k adaptaci a hodnoty klidového objemu dosahují až 1 litru. (Bernaciková, 2017) V zátěži se hodnoty pohybují i přes 4 litry, tedy okolo 60 % vitální kapacity. Zatímco v klidu se využívá pouze asi 15 % vitální kapacity (Máček, Radvanský, 2011, s. 12). Při nižší intenzitě zátěže se dechový objem zvyšuje zejména inspiračním rezervním objemem, při vyšší intenzitě naopak expiračním rezervním objemem. Aby dýchání bylo v zátěži efektivní, musí docházet ke kompromisu mezi růstem dechového objemu a frekvence. Při nárůstu dechového objemu nad 60 % vitální kapacity dochází k přetěžování dýchacích svalů. To je způsobeno velkou změnou nitrohruďního tlaku. Při velmi vysoké dechové frekvenci, zpravidla nad 50 dechů/minutu, dochází ke zvýšení ventilace mrtvého prostoru, a tím efektivita rovněž klesá.

Pokud se během zátěžového testu DO adekvátně nezvýší, naznačuje to přítomnost plicního onemocnění (Dores et al., 2024, s. 8).

Dechová frekvence (DF) udává počet dechů za minutu, u běžné populace se klidové hodnoty pohybují okolo 16 dechů/minutu. V reakci na zátěž se dechová frekvence zvyšuje a v závislosti na intenzitě zátěže dosahuje hodnot kolem 40 dechů/minutu. U trénujících jedinců dochází k adaptaci, při které díky zvýšenému dechovému objemu klesá klidová dechová frekvence i pod 10 dechů/minutu. Maximální hodnoty se naopak mohou vyšplhat až na 60 dechů/minutu (Máček, Radvanský, 2011)(Bernaciková, 2017).

Mrtvý dechový prostor se skládá z těch částí dýchacího systému, které se přímo nepodílejí na výměně kyslíku a oxidu uhličitého. Jedná se důležitou část dýchacího systému, která hraje roli v adekvátní fyziologické výměně dýchacích plynů v plicích. Mrtvý prostor zahrnuje nosní/ústní dutinu, hrtan a bronchy až po terminální bronchioly. Jeho objem se udává cca 0,15 litru (Mourek, 2012).

Mrtvý dechový prostor představuje část dýchacích cest, ve kterých nedochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého na alveolární membráně. Tento prostor lze rozdělit na dvě části, kterými jsou anatomický a alveolární fyziologický mrtvý prostor. Anatomický mrtvý prostor se konkrétně vztahuje k objemu vzduchu v segmentech dýchacích cest, které jsou zodpovědné za vedení vzduchu do alveolů a respiračních bronchiolů, ale neúčastní se samotného procesu výměny plynů. Tyto segmenty dýchacích cest zahrnují horní dýchací cesty, tracheu, bronchy a terminální bronchioly. Alveolární mrtvý prostor se vztahuje k objemu vzduchu v alveolech, které jsou ventilovány, ale nejsou perfundovány, a k výměně plynů tedy také nedochází. Fyziologický mrtvý prostor je pak součtem anatomického a alveolárního mrtvého prostoru. U zdravého jedince se jedná jen o objem anatomického mrtvého prostoru (Mora Carpio AL et al., 2023).

V konceptu ventilace (V) a perfuze (Q) v plicích je mrtvý prostor reprezentovaný poměrem V/Q . V alveolech bez perfuze je V/Q nekonečno ($Q=0$), zatímco alveoly bez ventilace mají V/Q 0 ($V=0$). Proto v situaci, kdy jsou alveoly ventilovány, ale neperfundovány, nemůže docházet k výměně plynů, jako například při plicní embolii, která zvyšuje alveolární mrtvý prostor (Mora Carpio AL et al., 2023).

Anatomický mrtvý prostor, plní několik funkcí důležitých pro normální respirační funkci. Oxid uhličitý je zadržován, což vede k tvorbě bikarbonátu v krvi a intersticiu. Vdechnutý vzduch je zahříván nebo ochlazován na tělesnou teplotu, čímž se zvyšuje afinita hemoglobinu pro kyslík. Částice jsou zachyceny v hlenu dýchacích cest, a tím plní funkci první obranné linie proti patogenům. Nakonec je vdechnutý vzduch v horních cestách zvlhčován, což je důležité pro jeho výměnnou funkci (Mora Carpio AL et al., 2023).

Alveolární mrtvý objem je obvykle zanedbatelný u zdravého dospělého. Anatomický a tedy fyziologický mrtvý prostor je normálně odhadován na 2 ml/kg tělesné hmotnosti a tvoří 1/3 objemu nádechu u zdravého dospělého pacienta; u dětských pacientů je to ještě více. Efektivně 1/3 objemu nádechu je znovu vdechnuta kvůli mrtvému prostoru. Na konci výdechu je mrtvý prostor vyplněn objemem plynové směsi s vysokým obsahem CO₂ a nízkým obsahem O₂ ve srovnání s okolním vzduchem. Složení vzduchu v mrtvém prostoru na konci vydechnutí je 5 až 6 % oxidu uhličitého a 15 až 16 % kyslíku. Ve srovnání, okolní vzduch se skládá z 0,04 % oxidu uhličitého a 21 % kyslíku (Mora Carpio AL et al., 2023).

1.4.7 Ventilační prahy

Ventilační práhy, jsou důležitým konceptem ve fyziologii zátěže zejména při měření kardiorespirační zdatnosti a výkonu během vytrvalostních aktivit. Poskytují klíčová data o metabolické reakci na zátěž a jsou využitelná při předpisu intenzity zátěže. První ventilační práh (VT1) představuje přechod k smíšenému aerobnímu a anaerobnímu metabolismu, který je charakterizován zvýšením hladiny laktátu a snížením pH. Tato situace je doprovázena pufrováním laktátu, následným zvýšením VCO₂ a ventilace, aby se udržela acidobazická homeostáza. Druhý ventilační práh (VT2) představuje bod, kde dochází k rychlému a výraznému nárůstu laktátu (ve chvíli, kdy pufrování již nestačí), což vede k hyperventilaci. Ačkoli se někdy používají různé termíny, jako je anaerobní práh (pro VT1) a bod respirační kompenzace (pro VT2), v současné literatuře byl přijat termín „VT“. Tyto prahy metabolického přechodu mohou být určeny invazivně (analýzou z krve) nebo neinvazivně. VT1 je běžně určován metodou ventilačního ekvivalentu jako nejnižší bod před následným nárůstem křivky nebo metodou V-slope (zvýšením sklonu mezi

VCO₂ a VO₂, který dříve měl lineární vztah, což reprezentuje nárůst VCO₂ způsobený pufrováním laktátu). VT₂ lze hodnotit metodou ventilačního ekvivalentu jako nejnižší bod před kontinuálním nárůstem, výrazným nárůstem ventilace (ve vztahu k VCO₂) a tlakem parciálním tlakem oxidu uhličitého (pCO₂), kde dochází k výraznému nárůstu ventilace. Je důležité zvážit integrovaný přístup využívající různé metody (Dores et al., 2024).

Koncept anaerobního (aerobního) prahu, originálně navržen Wassermanem a McIlroyem (1964), pracuje s intenzitou zátěže, nad kterou dochází ke zvýšení příspěvku energie anaerobním metabolismem. Anaerobní hrazení energie je spojené s metabolickou acidózou a následnou respirační kompenzací. Cílem toho konceptu bylo stanovení bezpečné intenzity zátěže pro pacienty s kardiovaskulárním onemocněním. Metabolická acidóza byla v té době považována za potenciální riziko pro pacienty (Sales et al., 2019).

Za anaerobní práh lze při zjednodušení považovat takovou hraniční intenzitu (či krátkodobý časový úsek) během kontinuálně stupňované zátěže, jejichž překročení vede k ochranné fyziologické únavě během desítek sekund až několika minut. Tato únava souvisí právě s již zmíněnou metabolickou acidózou. Naopak při intenzitách zátěže pod anaerobním prahem únava nastává během několika desítek minut až hodin v závislosti na energetické dostupnosti zdrojů a motivaci jedince. K neinvazivnímu stanovení anaerobního prahu se nejčastěji využívá analýza kinetiky minutové ventilace, spotřeby kyslíku, výdeje oxidu uhličitého, změn respiračního výměnného poměru či změn tepové frekvence během kontinuálně zvyšovaného zátěžového protokolu. Dříve hrála ve vyšetřovacím i teoretickém vysvětlení primární úlohu hladina laktátu, odkud pochází známé pojmenování laktátový práh. Dnešní pojetí ukazuje komplexnější, a ne zcela jasnou jednoznačnost spojení únavy s hladinou laktátu v krvi (Sales et al., 2019; Poole et al., 2021). Při kontinuálně zvyšované zátěži do maxima se mezi intenzitou anaerobního prahu a maximální zátěží odehrávají tyto děje:

tepová frekvence a spotřeba kyslíku stoupají méně strmě než pod intenzitou anaerobního prahu,

minutová ventilace a výdej oxidu uhličitého stoupají strměji než pod intenzitou anaerobního prahu,

respirační kvocient se pohybuje v rozmezí 0,99-1,01

Při zátěžovém vyšetření se standardně stanovují dva ventilační prahy, první VT1 a druhý VT2. Jednotlivé ventilační prahy ve skutečnosti představují určitou metabolickou úroveň vyjádřenou spotřebou kyslíku. Při uvedení ventilačních prahů je zároveň nutné uvádět při jaké zátěži (W/kg) a srdeční frekvenci bylo daného prahu dosaženo. Dle Várnaye (2020, s. 193-200) je z metabolického hlediska VT1 vlastně aerobní práh, pod kterým je energie pro svalovou práci hrazena převážně aerobně. Mezi VT1 a VT2 se nachází úroveň tzv. kritického výkonu. Jedná se o výkon kolem 65 % W_{peak} udávaný ve wattech, který lze vykonávat při tréninku s konstantní zátěží 30 minut za rovnovážného stavu VO_2 , laktátu a srdeční frekvence. VT2 pak z metabolického hlediska představuje anaerobní práh, nad kterým je při dalším zvyšování zátěže limitována aerobní fosforylace. Pro hrazení energie je výrazně zapojena anaerobní glykolýza. Po překročení VT2 je možnost zvyšování zátěže výrazně limitována a lze očekávat ukončení spiroergometrického vyšetření v krátkém čase (Várnay et al., 2020, s. 194).

1.4.8 Srdeční frekvence (SF, HR)

Srdeční frekvence patří spolu s dynamikou krevního tlaku k hlavním kardiovaskulárním funkčním ukazatelům, které hodnotíme během zátěžového testování. Nejspolehlivěji lze srdeční frekvenci získat o pomoci sporttesteru s hrudním pásem či svodových elektrod EKG, které snímají srdeční činnost po celou dobu zátěže. Při použití sporttesteru ve formě hodinek bez hrudního pásu, může docházet k nepřesnostem v případě, že se periférii nepřenesou všechny tečky. Využití EKG se tak zdá být zatím nejpřesnější metodou. Avšak zdokonalování sporttesterů s hrudními pásy přináší výhody pro měření konkrétních aktivit v terénních podmínkách.

Reakce srdeční frekvence je okamžitá, na začátku zátěže závislá na poklesu tonu parasympatiku, později pak na zvýšení tonu sympatiku. S rostoucí poptávkou po kyslíku, především pro pracující svaly, dochází ke zvýšení dodávky okysličené krve pomocí zvýšení tepového objemu krve (Frank-Sterlingův mechanismus), vzrůstem

srdeční frekvence a zvýšením periferního arteriovenózního rozdílu kyslíku (Fletcher et al., 2013a). Tepový objem dosahuje svého maxima (u běžné populace) při 50-60 % VO_{2max} , proto při vyšších intenzitách zátěže je nárůst srdečního objemu závislý na růstu převážně srdeční frekvence. Fyziologický limit maximálního atriovenózního rozdílu kyslíku je 15-17 ml na 100 ml krve. Za předpokladu dosažení maximální intenzity zátěže tak lze odhadnout maximální srdeční výdej (Fletcher et al., 2013a, s. 874). Klidová srdeční frekvence se měří ráno před nebo ihned po probuzení a její hodnoty u netréované populace jsou 60-75 tepů/minutu. U sportovců se hodnoty mohou blížit 35-45 tepům/minutu (Bernaciková, 2017). Vyšší či neobvyklé hodnoty SF mohou pak naopak ukazovat na přetrénování (Máček, Radvanský, 2011). Objevit se mohou také před výkonem, a to díky aktivaci sympatiku. Během zátěže SF stoupá lineárně až do submaximální intenzity. Poté stoupání zpomalovat do úrovně maximální SF, kde může stagnovat nebo stoupat jen velmi pomalu i v případě stále se zvyšující zátěže. Po skončení zátěže SF klesá dle typu předchozí zátěže (Bernaciková, 2017). Průměrný pokles je kolem 12 tepů/minutu. Takto však vypadá reakce pouze u jedinců, kteří nemají předepsané β -blokátory.

Stejně jako pro spotřebu kyslíku existuje predikční rovnice i pro maximální srdeční frekvenci. Asi nejznámější rovnicí je:

$$SF = 220 - \text{věk}$$

U této rovnice je však nutné počítat s velkou variabilitou jedinců stejného věku, 1 směrodatná odchylka je specifikována jako ± 15 tepů (Máček, Radvanský, 2011). Taková odchylka tedy naznačuje, že predikce maximální srdeční frekvence má své limity a neměla by se pro zátěžové testování používat izolovaně jako rozhodující kritérium. Za normální se považuje vzestup 10 tepů/min na jeden metabolický ekvivalent (MET), tedy na spotřebu kyslíku 3,5 ml/min/kg. Neadekvátní růst srdeční frekvence může upozornit na anémii, metabolické poruchy variabilní vaskulární objem, periferní odpor nebo ventrikulární dysfunkce (Fletcher et al., 2013a, s. 874-876).

1.4.9 Výkon

Další důležitý ukazatel zátěže je výkon, který je klíčovým faktorem při hodnocení tělesné výkonnosti na základě schopnosti opakovaně dosahovat určitého výkonu. Fyzikálně je výkon definován jako práce vykonaná v určitém časovém intervalu. V ergometrii se často používá přepočet na tělesnou hmotnost pacienta (W/kg) a v anglicky psaných textech se lze setkat s jednotkou $\text{kpm}\cdot\text{s}^{-1}$, což odpovídá 9,81 W. Pracovní výkon (PO) zahrnuje nejen provedenou práci, ale i energii spotřebovanou během této činnosti. V závislosti na intenzitě a délce zátěže rozlišujeme anaerobní výkon (při vysoké intenzitě a krátké doby do 5-10 sekund s maximálním úsilím) a aerobní výkon (dlouhodobější zátěž vyšší intenzity trvající déle než 2 minuty). Energetický výdej během zátěže lze charakterizovat i jednotkami MET (klidový metabolický obrat), kde 1 MET, definovaný jako energetický výdej sedícího člověka v klidu, odpovídá spotřebě 3,5 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Intenzita tělesné práce se dále rozděluje na lehkou (méně než 3 MET), střední (3-4,5 MET), těžkou (4,6-7 MET) a velmi těžkou práci (7-10 MET) (Máček, Radvanský, 2011, s. 2).

V rámci zátěžového testování se pracuje s konceptem kritického výkonu (CP), což je maximální výkon, který lze udržet jen po krátkou dobu. Pod úrovní CP je organismus schopen vyrovnávat se s metabolickými požadavky zátěže a udržet spotřebu kyslíku a hodnoty ATP ve svalech stabilní. Překročení této hranice vede k rychlým změnám v těchto hodnotách, což vyvolává vyčerpání a intoleranci další zátěže. Množství práce, které lze vykonat nad úrovní CP (označeno jako W'), je konstantní, ale rychlost vyčerpání této kapacity závisí na blízkosti k intenzitě CP. Koncept kritického výkonu je klíčový pro plánování intervalového tréninku, protože celkový výkon závisí na délce a intenzitě fází práce na úrovni CP a na délce a intenzitě odpočinkových fází, kdy se kapacita W' obnovuje. Tato obnova není lineární a její rychlost klesá ke konci intervalového tréninku. Koncept CP je důležitý také pro sportovce, zejména pro predikci definitivního vyčerpání, což vedlo k zavedení pojmu W' . Je důležité brát v úvahu, že hodnota CP se liší u kontinuální zátěže a u intervalové zátěže, což může ovlivnit plánování tréninku, protože hodnoty naměřené při kontinuální zátěži mohou být nižší, což by mohlo vést k podcenění tréninkového potenciálu (Jones, Vanhatalo, 2017).

2 CÍL, VÝZKUMNÁ OTÁZKA A HYPOTÉZY

2.1 Cíl práce

Cílem této práce je porovnání výsledků analýzy vydechovaných plynů pomocí náustku a obličejové masky při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru. Hodnocenými parametry budou: příjem kyslíku - VO_2 , výdej oxidu uhličitého - VCO_2 , ventilace - VE , dechová frekvence - DF , dechový objem - DO , respirační kvocient - RER a tepová frekvence - TF spolu s Borgovou škálou subjektivního vnímání zátěže.

2.2 Výzkumná otázka

Jaký je rozdíl v měřených ventilačních a kardiovaskulárních parametrech při spiroergometrickém vyšetření získaných sběrem dat náustkem s nosním klipem (metoda N) a obličejovou maskou (metoda M)?

2.3 Hypotézy

Tato práce se zabývá porovnáním všech výše zmíněných ventilačních a kardiovaskulárních spiroergometrických parametrů. V praxi se však stále považuje za hlavní parametr, někdy je také nazýván zlatým standardem, spotřeba kyslíku VO_2 v ml/kg/min, proto se mu i v rámci interpretace bude následující text věnovat nejvíce. Na základě výsledků studií (Freemas et al., 2020); (SAEY et al., 2006), které se zabývaly podobným tématem, předpokládáme, že měřené parametry pomocí metody N i M jsou shodné, a tedy v praxi zaměnitelné.

Hypotéza 1:

Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách VO_2 , VCO_2 a RER při jednotlivých stupních zátěžového testu.

Hypotéza 2:

Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách VE , DF a DO při jednotlivých stupních zátěžového testu.

Hypotéza 3:

Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách TF a Borgově škále zátěže při jednotlivých stupních zátěžového testu.

3 METODY MĚŘENÍ

3.1 Charakteristika měřeného souboru

Měření se zúčastnilo celkem 26 probandů z řad rekreačních sportovců. Vstupními kritérii byl věk 18-30 let a nepřítomnost onemocnění, které by mohlo ovlivnit výsledky zátěžového testu. Výstupními kritérii byla změna zdravotního stavu mezi první a druhým testováním, která by mohla ovlivnit výsledky, a rozdíl ve VO₂max mezi oběma testy vyšší než 10%.

Před začátkem testování byli probandi seznámeni s průběhem testování a podepsali informovaný souhlas viz příloha č.1.

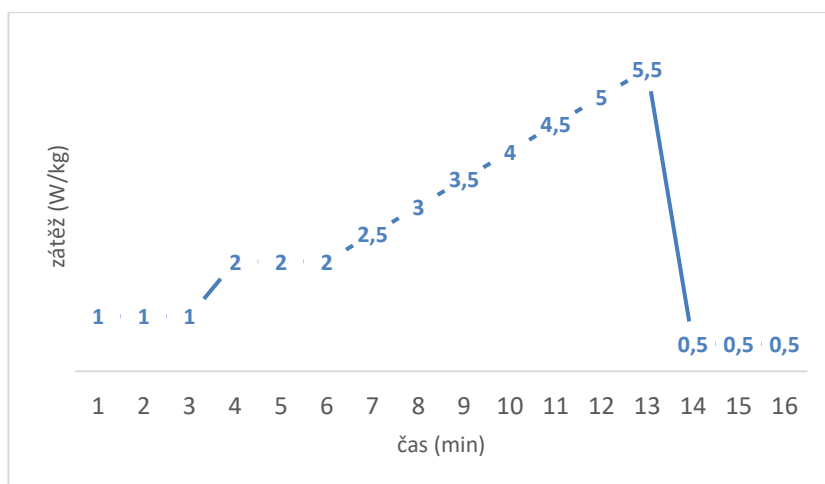
Podrobná vstupní charakteristika souboru je uvedena v tabulce č. 3

	počet	věk	hmotnost (kg)	výška (cm)
ženy	8	24±2,1	60,8±7,7	167,0±6,6
muži	15	26±2,7	77,4±9,9	181,0±6,0
celkem	23	25,3±2,7	71,6±12,1	176,0±8,9

Tabulka 3 - charakteristika probandů, průměrné hodnoty ± 1 SD

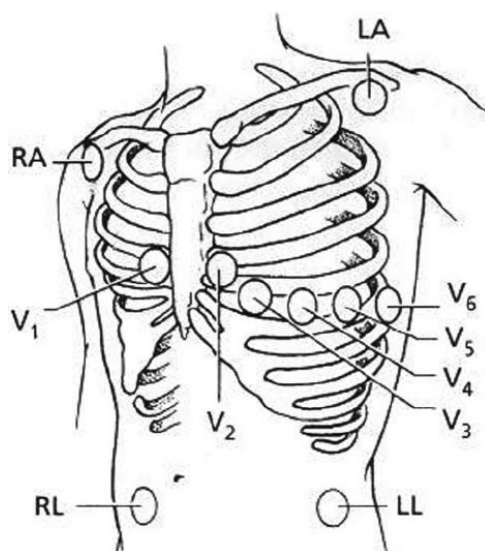
3.2 Metodika měření

Testování proběhlo vždy ve stejné zátěžové laboratoři tělovýchovného lékařství FN Motol. Probandi podstoupili 2 zátěžové testy na bicyklovém ergometru dle kombinovaného protokolu (dva konstantní stupně následované kontinuálním vzestupem intenzity zátěže) 3 minuty při intenzitě 1W/kg, 3 minuty při intenzitě 2W/kg a následně rampový vzestup intenzity zátěže (0,5 W/kg/min) do subjektivního maxima. Celková délka testu se pohybovala mezi 10 a 13 minutami. Po dosažení maxima následovala zotavovací fáze, která trvala 3 minuty. Grafické znázornění protokolu je na obrázku č.6



Obrázek 6 protokol zátěžového testu

Analýza vydechaných plynů probíhala při měření s maskou po celou dobu testu. V případě náustku probíhalo měření vždy posledních 90 s jednotlivého stupně, a to z důvodu zabránění znečištění analyzátoru plynů slinami a snahy o omezení dyskomfortu probanda. V průběhu testu bylo monitorováno 12 svodové EKG v modifikaci Mason – Likar znázorněno na obrázku č.7.



Obrázek 7 U místění elektrod EKG, (Drew et al., 2004)

Jednotlivé stupně zátěže probandi subjektivně hodnotili pomocí Borgovy škály - viz přílohu č. 2.

Z důvodu minimalizace rizika okluze vzorkovací hadičky slinami a subjektivního dyskomfortu při dlouhé periodě analýzy vydechovaných plynů náustkem bylo pořadí testů definováno. Probandi nejprve absolvovali test s obličejovou maskou a následný test s náustkem. Druhý test byl proveden do shodné intenzity zátěže podle prvního, a tudíž trval stejnou dobu a byl proveden v rozmezí 3-21 dnů. Oba testy byly provedeny vždy ve stejnou denní dobu. Probandi byli poučeni ohledně dodržení stejných stravovacích, spánkových i tréninkových návyků vždy alespoň 36 hodin před daným testem. Mezi jednotlivými testy byly poučeni tak, aby výrazně neměnili své pohybové aktivity, které by mohly ovlivnit měření. Před samotným testem byli probandi zváženi a změřeni. Tyto míry byly odebrány ve sportovních šortkách a bez sportovní obuvi.

Specifikace přístrojové techniky

Srdeční akce byla snímána pomocí 12 svodového EKG BTL a zpracováno softwarem CardioPoint.

Spiroergometrické vyšetření bylo provedeno na bicyklovém ergometru Ergoline Ergoselect 150.

Ke sběru výdechových plynů a analýze byla použita obličejová maska značky Hans Rudolph 7450 V2 ve velikosti S a M a standardní černý náustek.

Přidaný objem mrtvého prostoru obličejové masky oproti náustku se lišil dle velikosti, velikost S 99 ml, M 125 ml. Absolutní objem mrtvého prostoru (tedy masky a fyziologický mrtvý prostor probanda) závisí na tvaru obličeje a antropometrii daného probanda. Velikost masky (S nebo M) byla zvolena dle tvaru obličeje tak, aby plně respektovala anatomii obličeje a nedocházelo k úniku dýchacích plynů v okolí masky, to vše bylo testováno před samotným testem.

Výdechové plyny byly analyzovány systémem Cortex Metalyzer 3B a vyhodnocovány v softwaru MetaSoft Studio. Přístroj byl kalibrován před každým měřením dle doporučení výrobce.

3.3 Statistické zpracování výsledků

Podmínky pro zařazení do statistického zpracování (absolvování a dokončení obou testů) splnilo 23 probandů, 8 žen a 15 mužů. Jeden proband podstoupil pouze zátěžový test s obličejovou maskou, při druhém testu netoleroval náustek. U dvou probandů se VO_{2max} při testech lišila o více než 10 %, proto byli z analýzy vyřazeni.

Na základě metod používaných ve studiích (Freemas et al., 2020; Wagner, Clark, 2015; Brooks, Dawess, 2012, Bell et al. 2012), které se zabývaly podobným tématem, jsme pro statistické zpracování zvolili párové t-testy. Hodnoty zanesené v souhrnné tabulce (příloha č.5) jsou průměrem posledních 30 sekund jednotlivých fází zátěže (1 W/kg, 2 W/ kg, maximum). Rozložení dat bylo testováno pomocí Shapiro-Wilkova testu. Pro statistické testování parametrů s normálním rozložením hodnot, tedy u výsledků Shapiro-Wilkova testu $W > 0,92$ a $p > 0,05$ bylo použito Studentova párového t-testu. U parametrů s nerovnoměrně rozloženými hodnotami, tedy u výsledků Shapiro-Wilkova testu $W < 0,92$ a $p < 0,05$ byl použit Wilcoxonův párový test (Wilcoxon-Signed Rank Test). Výsledky Shapiro-Wilkova testu znázorňuje tabulka v příloze č. 4. Pro statistické zpracování byl použit program Jamovi 2.3.28. a tabulky Microsoft Excel 365. Pro posouzení shody dvou měřících metod pro parametr VO_2 a VE byly dále použity Bland-Altmanovy grafy, které se používají k porovnání dvou kvantitativních měření a posouzení jejich shody pro klinické nebo vědecké účely. Všechna data jsou prezentovaná jako průměrné hodnoty ± 1 SD, hladina významnosti pro testování hypotéz byla stanovená na $p < 0,05$.

4 VÝSLEDKY

Výsledné průměrné hodnoty, včetně směrodatných odchylek (z ang. *standard deviation, SD*), výběrové chyby (z ang. *sampling error, SE*) a hodnoty statistické významnosti *p* spolu s průměrným rozdílem, jsou uvedeny v tabulkách č. 4,6,8. Podrobná tabulka statistického zpracování je v příloze č. 3. Každá tabulka náleží příslušným parametrům ve všech třech stupních zátěže, tedy 1W/kg, 2W/kg a maximální zátěž. 23 probandů dokončilo oba testy dle stejného protokolu do maxima. 3 probandi, kteří řádně nedokončili obě měření, z nichž 1 proband nebyl schopen absolvování zátěžového testu s náustkem a u 2 došlo pravděpodobně ke znehodnocení výsledků z důvodu zanesení analyzátoru výdechových plynů slinami, byli ze statistické analýzy vyřazeni. Dosažení maxima při ukončení testu bylo, kromě subjektivního hodnocení Borgovy škály, ověřeno dosažením stejné intenzity zátěže (W), podobné tepové frekvence a respiračního výměnného poměru nad 1,10 u všech 23 probandů. Relevantnost získaných hodnot posuzoval zkušený tělovýchovný lékař, vedoucí této práce MUDr. Michal Procházka.

4.1 H1

„Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách VO₂, VCO₂ a RER při jednotlivých stupních zátěžového testu.“

Z tabulky průměrných výsledných hodnot měřených v jednotlivých stupních zátěžového testu a statistické analýzy vyplývá, že statisticky významného rozdílu, tedy hodnoty $p < 0,05$, bylo dosaženo u parametrů, VCO₂ 1W/kg, RER 1W/kg a RER max. Hraniční signifikance ($p = 0,05$) bylo dosaženo u VO₂ 1 W/kg.

	N	průměr	medián	SD	st. chyba	p	prům. rozdíl
VO ₂ 1W/kg N (ml/min/kg)	23	19,17	19,60	1,20	0,25	0,05	0,61
VO ₂ 1W/kg M (ml/min/kg)	23	18,55	18,70	1,22	0,25		
VO ₂ 2W/kg N (ml/min/kg)	23	29,93	30,00	1,53	0,32	0,889	0,04
VO ₂ 2W/kg M (ml/min/kg)	23	29,89	30,10	1,23	0,26		

	N	průměr	medián	SD	st. chyba	p	prům. rozdíl
VO2 max N (ml/min/kg)	23	48,13	48,20	6,14	1,28	0,141	0,66
VO2 max M (ml/min/kg)	23	47,47	47,50	6,46	1,35		
VCO2 1W/kg N (l/min)	23	1,30	1,30	0,27	0,06	< ,001	0,11
VCO2 1W/kg M (l/min)	23	1,18	1,20	0,22	0,05		
VCO2 2W/kg N (l/min)	23	2,10	2,20	0,43	0,09	0,188	-0,06
VCO2 2W/kg M (l/min)	23	2,16	2,10	0,42	0,09		
VCO2 max N (l/min)	23	3,95	3,90	0,82	0,17	0,35	-0,06
VCO2 max M (l/min)	23	4,00	3,90	0,91	0,19		
RER 1W/kg N	23	0,94	0,93	0,07	0,01	0,005	0,05
RER 1W/kg M	23	0,89	0,90	0,05	0,01		
RER 2W/kg N	23	0,99	0,98	0,06	0,01	0,573	-0,01
RER 2W/kg M	23	0,99	0,99	0,05	0,01		
RER max N	23	1,15	1,15	0,05	0,01	0,014	-0,02
RER max M	23	1,17	1,16	0,04	0,01		

Tabulka 4 Průměrné hodnoty parametrů VO2, VCO2 a RER při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu

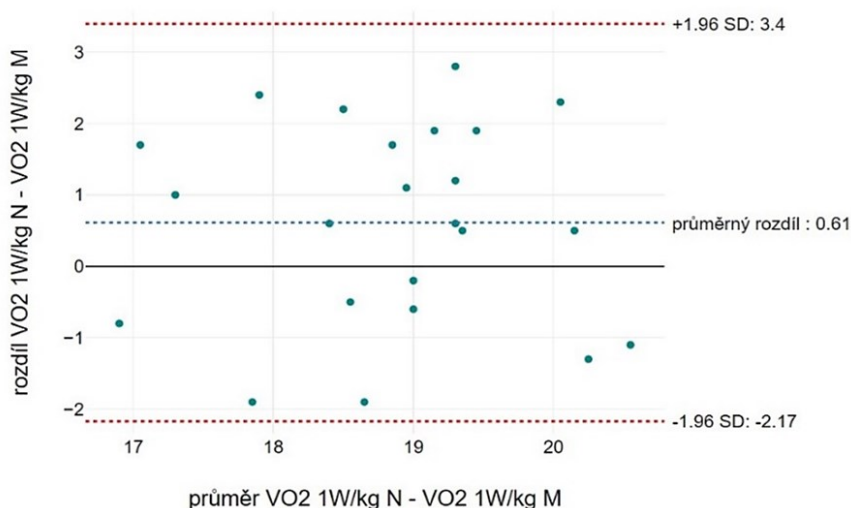
Průměrné hodnoty včetně směrodatné odchylky parametru VO2 rozdělené dle pohlaví probandů se nacházejí v tabulce č.5. Z průměrných hodnot lze usuzovat, že se vzrůstající zátěží roste nejen rozdíl, ale i variabilita parametru VO2 mezi muži a ženami.

		VO2 1W/kg N (ml/min/kg)	VO2 1W/kg M (ml/min/kg)	VO2 2W/kg N (ml/min/kg)	VO2 2W/kg M (ml/min/kg)	VO2 max N (ml/min/kg)	VO2 max M (ml/min/kg)
N	Ž	8	8	8	8	8	8
	M	15	15	15	15	15	15
průměr ± SD	Ž	19,1±0,9	18,2±1,2	29,5±1,2	29,5±1,1	45,2±8,0	44,5±7,5
	M	19,2±1,4	18,8±1,2	30,2±1,7	30,1±1,3	49,7±4,4	49,1±5,4

Tabulka 5 Průměrné hodnoty VO2 u mužů a žen

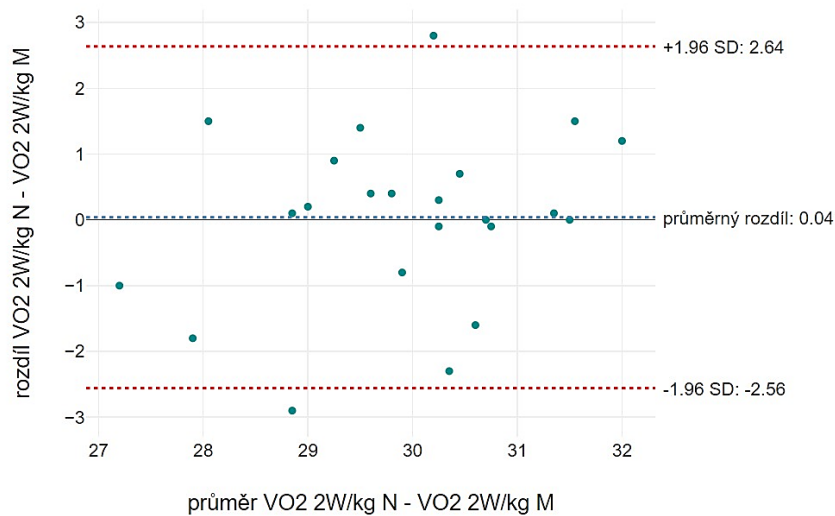
Průměrné hodnoty parametru VO₂ byly zároveň porovnán pomocí Bland-Altmanova diagramu, a to na všech stupních zátěže. Grafy vizuálně znázorňují rozptyl jednotlivých rozdílů hodnot a průměrný rozdíl hodnot mezi metodou N a M. Hranice shody metod odpovídá 95% intervalu spolehlivosti (Confidence interval, CI), to odpovídá vyjádření: interval spolehlivosti = průměr ± 1,96 SD. Z grafického znázornění Bland-Altmanových diagramů lze předpokládat, že v případě parametru VO₂ dosahují metody dostatečně shody, aby mohly být považované za shodné. Na základě výsledků tak hypotézu lze potvrdit.

Diagram (obrázek č. 8) pro rozdíly hodnot VO₂ N-M v zátěži 1W/kg ukazuje, že všechny rozdíly hodnot se nacházejí v 95% intervalu spolehlivosti (CI=0,61±2,79 ml/min/kg), rozdíly hodnot lze považovat za konzistentní a naznačují dobrou shodu.



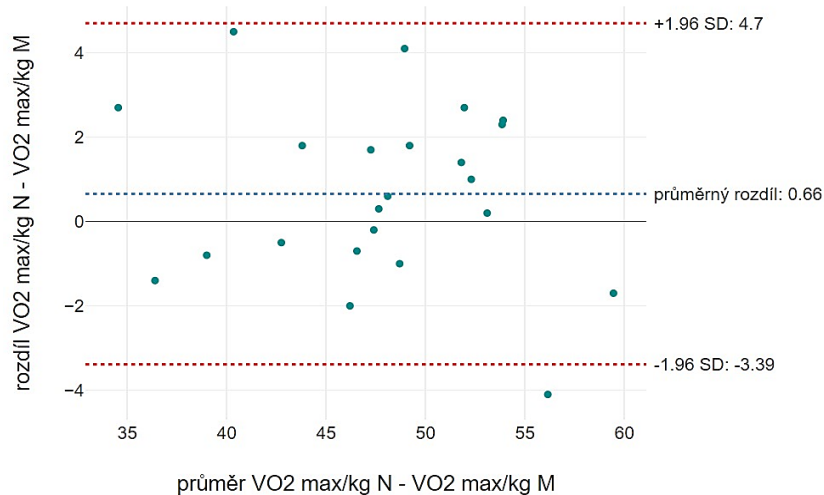
Obrázek 8 Bland-Altmanův diagram pro VO₂ 1W/kg N-M

Diagram (obrázek č. 9) pro rozdíly hodnot VO₂ N-M v zátěži 2 W/kg ukazuje, že 21 z 23 rozdílů hodnot se nachází v 95% intervalu spolehlivosti (CI=0,04±2,60 ml/min/kg), i přesto lze rozdíly hodnot považovat za konzistentní a naznačují dobrou shodu.



Obrázek 9 Bland-Altmanův diagram pro VO2 2W/kg N-M

Diagram (obrázek č. 10) pro rozdíly hodnot VO2 N-M v maximální zátěži ukazuje, že 22 z 23 rozdílů hodnot se nachází v 95% intervalu spolehlivosti (CI=0,66±4,04 ml/min/kg), i v tomto případě lze rozdíly hodnot považovat za konzistentní naznačující dobrou shodu metod.



Obrázek 10 Bland-Altmanův diagram pro VO2max N-M

4.2 H2

„ Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách VE, DF a DO při jednotlivých stupních zátěžového testu.“

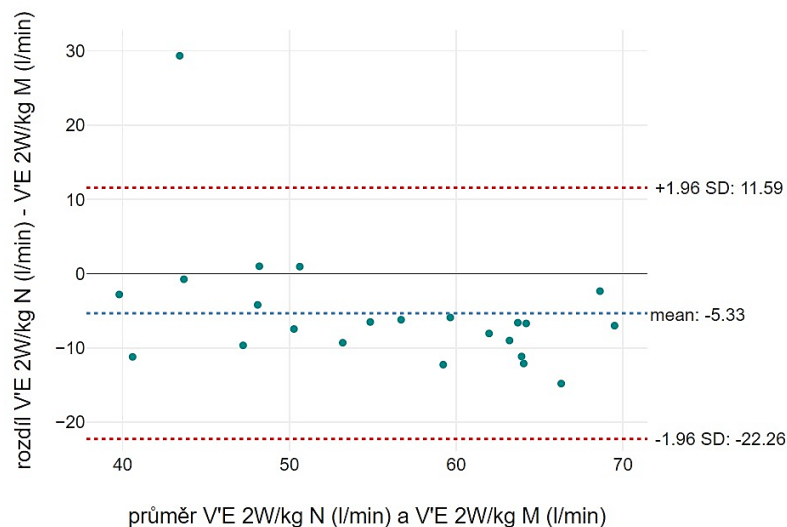
Z tabulky průměrných výsledných hodnot měřených v jednotlivých stupních zátěžového testu a statistické analýzy vyplývá, že statisticky významného rozdílu, tedy hodnoty $p < 0,05$, bylo dosaženo u parametrů V'E 2W/kg, V'E max, DF 1W/kg, DF 2W/kg, DF max, DO 1W/kg, DO 2W/kg, DO max.

	N	průměr	medián	SD	st. chyba	p	prům. rozdíl
V'E 1W/kg (l/min) N	23	33,42	32,90	5,89	1,23	0,404	-0,76
V'E 1W/kg (l/min) M	23	34,20	33,70	5,31	1,11		
V'E 2W/kg N (l/min)	23	53,04	53,60	8,42	1,76	0,007	-5,33
V'E 2W/kg M (l/min)	23	58,38	59,80	11,76	2,45		
V'E max N (l/min)	23	112,62	114,70	23,35	4,87	< ,001	-14,92
V'E max M (l/min)	23	127,55	130,40	29,42	6,13		
DF 1W/kg N	23	19,2	20,0	4,4	0,9	< ,001	-3,46
DF 1W/kg M	23	22,7	21,5	4,0	0,8		
DF 2W/kg N	23	23,4	23,0	5,4	1,1	< ,001	-5,2
DF 2W/kg M	23	28,6	27,5	4,3	0,9		
DF max N	23	39,6	39,5	6,6	1,4	< ,001	-7,3
DF max M	23	46,9	47,0	9,0	1,9		
DO 1W/kg N (l)	23	1,86	1,73	0,66	0,14	< ,001	0,23
DO 1W/kg M (l)	23	1,54	1,55	0,31	0,07		
DO 2W/kg N (l)	23	2,38	2,25	0,64	0,13	< ,001	0,3
DO 2W/kg M (l)	23	2,08	2,07	0,51	0,11		
DO max N (l)	23	2,89	2,85	0,63	0,13	0,015	0,14
DO max M (l)	23	2,75	2,75	0,56	0,12		

Tabulka 6 Průměrné hodnoty parametrů VE, DF a DO při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu

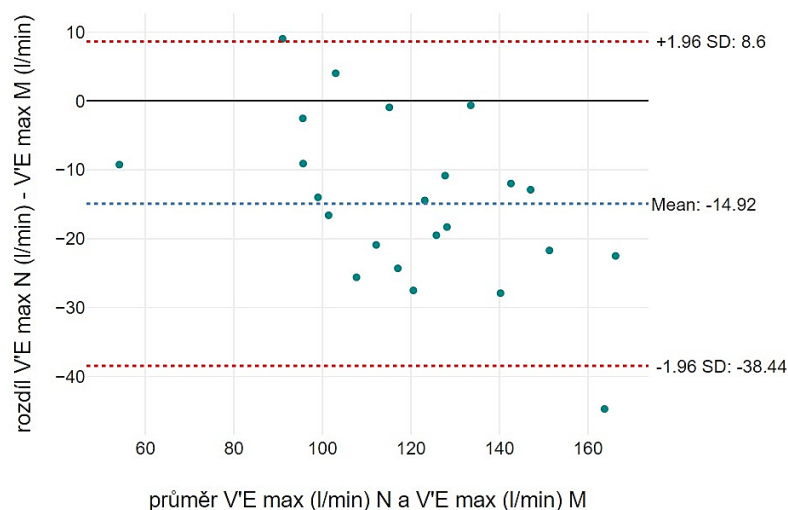
Průměrné hodnoty parametru VE 2W/kg a v maximu byly zároveň porovnány pomocí Bland-Altmanova diagramu. Grafy vizuálně znázorňují rozptyl jednotlivých rozdílů hodnot a průměrný rozdíl hodnot mezi metodou N a M. Hranice shody metod odpovídá 95% intervalu spolehlivosti. Z grafického znázornění Bland-Altmanových diagramů lze předpokládat, že i přes statisticky významný rozdíl při intenzitě zátěže 2W/kg ($p=0,007$) a v maximu ($p<0,001$) dosahují metody dostatečně shody, aby mohly být považované za rovnocenné. Na základě našich výsledků tak hypotézu nelze potvrdit.

Diagram (obrázek č. 11) pro rozdíly hodnot VE N-M v zátěži 2W/kg ukazuje, že 22 z 23 hodnot se nacházejí v 95% intervalu spolehlivosti ($CI=-5,33\pm 16,93$ l/min), rozdíly hodnot tak lze považovat za konzistentní a naznačují shodu. Z grafu je zároveň patrné, že většina hodnot se nachází v záporné části grafu, což potvrzuje statisticky významný rozdíl ve prospěch vyšší ventilace při použití obličejové masky.



Obrázek 11 Bland-Altmanův diagram pro VE 2W/kg N-M

Diagram (obrázek č. 12) pro rozdíly hodnot VE N-M v maximální zátěži ukazuje, že 21 z 23 hodnot se nacházejí v 95% intervalu spolehlivosti ($CI=-14,92\pm 23,52$ l/min), rozdíly hodnot lze považovat za konzistentní a naznačují shodu. Z grafu je zároveň patrné, že většina hodnot se nachází v záporné části grafu, což potvrzuje statisticky významný rozdíl ve prospěch vyšší ventilace při použití obličejové masky.



Obrázek 12 Bland-Altmanův diagram pro VEmax N-M

Vzhledem ke smíšenému souboru probandů, který by dle studie Freemase et al.(2020) mohl mít vliv na posouzení hodnot, znázorňuje tabulka č 7 porovnání průměrných hodnot VE zvlášť u mužů a žen. Z výsledků vyplývá, že i po rozdělení průměrných hodnot dle pohlaví se tendence k vyšší ventilaci při použití masky ve vyšší zátěži nezměnila. Průměrný rozdíl (N-M) u žen je na 1W/kg $-0,49 \pm 2,76$ l/min, u mužů $-0,94 \pm 4,96$ l/min, na 2W/kg u žen $-4,53 \pm 3,33$ l/min, u mužů $-5,76 \pm 10,14$ a v maximu u žen $-5,47 \pm 9,13$ l/min a u mužů $-19,96 \pm 9,68$ l/min. Z hodnot je patrné, že se vzrůstající zátěží mají muži s maskou tendenci k násobně větší ventilaci než ženy. Je však nutné zohlednit, že naší studie se zúčastnilo o 7 mužů více než žen, a proto i průměrné hodnoty mohou být ovlivněné velikostí zkoumaného souboru.

		V'E 1W/kg N (l/min)	V'E 1W/kg M (l/min)	V'E 2W/kg N (l/min)	V'E 2W/kg M (l/min)	V'E max N (l/min)	V'E max M (l/min)
N	ženy	8	8	8	8	8	8
	muži	15	15	15	15	15	15
Průměr ± SD	ženy	29,8 ± 4,4	30,3 ± 4,6	46,7 ± 5,7	51,2 ± 7,1	93,0 ± 19,2	98,4 ± 19,5
	muži	35,3 ± 5,8	36,3 ± 4,5	56,4 ± 7,7	62,2 ± 12,2	123,0 ± 18,3	143 ± 20,7

Tabulka 7 Průměrné hodnoty VE ± SD u mužů a žen

4.3 H3

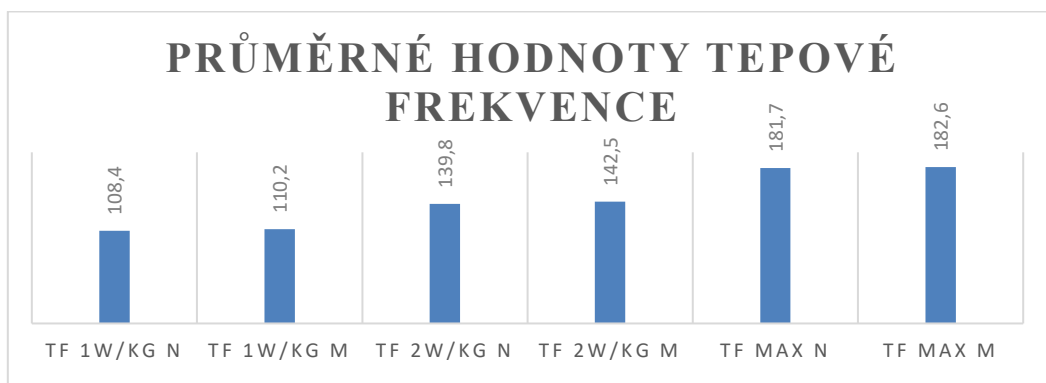
„ Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách TF a Borgově škále zátěže při jednotlivých stupních zátěžového testu.“

Z tabulky průměrných výsledných hodnot měřených v jednotlivých stupních zátěžového testu a statistického zpracování vyplývá, že statisticky významného rozdílu, tedy hodnoty $p < 0,05$, nebylo dosaženo u žádné hodnoty parametru TF ani Borgovy škály, hypotézu lze tedy potvrdit. Na základě získaných dat lze tedy usuzovat, že jednotlivé zátěžové testy zkoumaného souboru jsou z pohledu objektivně (TF) i subjektivně (Borg) vnímané zátěže organismu stejné.

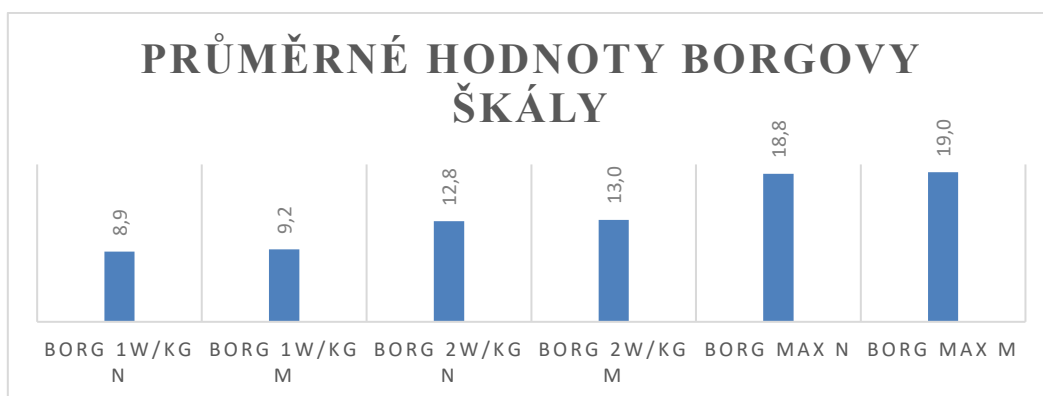
	N	průměr	medián	SD	st. Chyba	p	prům. rozdíl
TF 1W/kg N	23	108,4	106,0	9,7	2,0	0,184	-2
TF 1W/kg M	23	110,2	115,0	11,4	2,4		
TF 2W/kg N	23	139,8	140,0	14,2	3,0	0,061	-2,7
TF 2W/kg M	23	142,5	141,0	14,8	3,1		
TF max N	23	181,7	181,0	7,3	1,5	0,28	-0,8
TF max M	23	182,6	184,0	7,2	1,5		
Borg 1W/kg N	23	8,9	9,0	1,4	0,3	0,289	-0,5
Borg 1W/kg M	23	9,2	10,0	1,6	0,3		
Borg 2W/kg N	23	12,8	13,0	1,3	0,3	0,385	-0,5
Borg 2W/kg M	23	13,0	13,0	1,2	0,3		
Borg max N	23	18,8	19,0	0,7	0,1	0,308	0
Borg max M	23	19,0	19,0	0,9	0,2		

Tabulka 8 Průměrné hodnoty TF a Borgovy škály zátěže při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu

Grafické znázornění průměrných hodnot tepové frekvence a Borgovy škály zátěže je na obrázku č. 13 a 14.



Obrázek 13 Průměrné hodnoty tepové frekvence



Obrázek 14 Průměrné hodnoty Borgovy škály

5 DISKUZE

Metabolická odezva na cvičení je běžně hodnocena v laboratoři tělovýchovného lékařství pomocí nepřímé kalorimetrie. Přesné měření inspiračního a expiračního průtoku vzduchu a expiračních plynů je během cvičení zásadní, a proto je vyžadováno takové sběrné zařízení, které odděluje inspirační a expirační průtok vzduchu bez toho, aby omezovalo spontánní mechaniku dýchání a nedocházelo k úniku inspiračních ani expiračních plynů. Zařízení by mělo být zároveň, pokud možno pohodlné a odpovídající individuální anatomii obličeje a zdravotního stavu vyšetřovaného.

Použití dvoucestného ventilu Hans-Rudolph s náustkem a nosní sponou bylo považováno za zlatý standard v nepřímé kalorimetrii. Avšak kvůli jeho "šnorchlovému charakteru" a zamezení dýchání nosem může náustek způsobovat podráždění v krku, potíže s polykáním a nadměrné tvorbě slin, a tak může vést k celkovému nepohodlí vyšetřovaného.

Masky na sběr plynu se nyní běžně používají jako alternativa k tradičnímu náustku a nosní sponě během protokolů zátěžového testování. Moderní obličejové masky jsou navrženy tak, aby při dýchání nebránily nosu a ústům a poskytovaly tak pohodlnější alternativu k náustku. I přes zdokonalování tvaru a materiálu představují masky potenciální problémy související s únikem plynu a přidaným mrtvým prostorem, které mohou mít vliv na přesnost hodnocení metabolických a ventilačních parametrů. Předchozí studie zkoumaly rozdíly v klíčových metabolických a ventilačních parametrech mezi náustkem a maskou u zdravé i nemocné populace.

Cílem této diplomové práce bylo porovnat výsledky měření ventilačních a kardiovaskulárních parametrů při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru při měření pomocí náustku s nosní sponou a obličejové masky.

V diskuzi budou výsledky práce porovnány s výsledky studií, které se zabývaly podobným tématem. V následujícím textu budou chronologicky shrnuty metodiky a výsledky prací z důvodu lepší orientace v následující diskuzi.

(Farley et al., 1998) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VE, RER a TF při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou umožňující/neumožňující dýchání nosem u 20 trénovaných probandů (12 mužů a 8 žen) od lehké až po maximální zátěž na běžeckém páse. Signifikantní rozdíly: VO₂max: M (56,2±11 ml/min/kg), N (53,7±12 ml/min/kg), VE_{max}: M (115,0±29 l/min), N (108±28 l/min), shodné výsledky pro RER a TF ve všech stupních zátěže testů.

(SAEY et al., 2006) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VCO₂, VE, DO, Borg a TF při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou u 10 netrénovaných mužů s CHOPN na bicyklovém ergometru od lehké zátěže, po 80% maximální zátěži. Výsledkem byly shodné výsledky všech parametrů.

(Brooks, Dawess, 2012) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VE, RER a TF při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou u 32 rekreačních sportovců (mužů i a žen) na běžeckém páse od lehké po maximální zátěž. Délka testu byla 8-10 minut. Signifikantní rozdíl byl u VO₂max: M (52,4 ml/min/kg) a N (61 ml/min/kg). Shodné výsledky pro VE, RER i TF.

(Bell et al., 2012) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VE, DO, DF, RER a TF při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou u 28 zdravých probandů (15 mužů a 13 žen) na bicyklovém ergometru v lehké, submaximální a maximální zátěži. Délka testu byla 8-12 minut. Signifikantní rozdíl: VE_{max}: M: (88,1±24,7 l/min), N: (79,4±19,9 l/min).

(Wagner, Clark, 2015) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VE, DO, DF, RER a TF při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou u 14 rekreačních sportovců (7 mužů a 7 žen) na běžeckém páse od lehké do maximální zátěže. Délka testu byla 8-10 minut. Shodné výsledky u všech parametrů v jednotlivých stupních zátěže.

(Freemas et al., 2020) Studie se zabývala porovnáním parametrů VO₂, VE, DO, DF, RER, TF a Borg při měření pomocí náustku s nosní sponou a maskou u 14 mužů na bicyklovém ergometru od submaximální zátěže po maximální zátěž. Délka testu byla 6 minut. Shodné výsledky u všech parametrů v jednotlivých stupních zátěže.

Již ze stručného popisu studií vyplývá, že jednotliví autoři využívali odlišný design studií včetně různých protokolů zátěžových testů. Přestože si uvědomujeme, že již samotný design studie, volba přístroje (bicyklový ergometr nebo běžecký pás) a délka zátěžového testu může ovlivnit inter i intraindividuální variabilitu výsledků jednotlivých parametrů (Chrzanowski-Smith et al., 2020), budou v následujícím textu výsledky studií porovnány s výsledky této diplomové práce. Cílem porovnáním výsledků jednotlivých studií je získání detailnějšího pohledu na hodnocení obou metod a analýza vnějších i vnitřních faktorů, které by mohly výsledky studie ovlivnit.

Diskuze k H1:

„Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách **VO₂**, **VCO₂** a **RER** při jednotlivých stupních zátěžového testu“

Spotřeba kyslíku (VO₂) a výdej oxidu uhličitého (VCO₂) při různých stupních zátěže poskytuje klíčové informace o aktuálním aerobním výkonu a fyziologických reakcích těla na cvičení. Maximální spotřeba kyslíku (VO₂max) je považována za nejcennější ukazatel, někdy také zlatý standard, kardiorespirační zdatnosti ve vztahu k získávání energie pro pracující svaly v maximální zátěži. Jeho vysoká výpovědní hodnota je uznávána širokým spektrem odborníků z řad lékařů napříč odbornostmi. Hodnoty spotřeby kyslíku jsou ovlivněny mnoha vnitřními i vnějšími faktory, kterými se podrobně zabývala kapitola č. 1.4.1. výše. V rámci této práce bylo srovnání těchto parametrů v jednotlivých stupních zátěžového testu klíčové, právě pro jeho vysokou výpovědní hodnotu při testování vytrvalostní aerobní zdatnosti jedince.

Z výsledků a analýzy dat vychází hraničně významný rozdíl ve VO₂ (p=0,05) a statisticky významný rozdíl ve VCO₂ (p<0,001) a RER (p=0,005) při intenzitě zátěže 1W/kg. Tyto výsledky se neshodují s výsledky žádné z uvedených studií, zabývající se podobným tématem. Tyto výsledky si vysvětlujeme skutečností, že signifikantního rozdílu bylo dosaženo při nízké intenzitě zátěže 1W/kg, který odpovídal průměrnému subjektivnímu hodnocení Borg 8,9 u náustku a 9,2 u masky v čase testu 3 minuty od začátku testu. Dle tabulky procentuálního podílu aerobního a anaerobního metabolismu od Plachety (2001) znázorněné na obrázku č.4, odpovídá čas zátěže na konci 3 minuty podílu metabolismu přibližně 40 % anaerobního a 60 % aerobního metabolismu. Přestože po 3. minutě již předpokládáme ustálení

jednotlivých parametrů v rovnovážném stavu, musíme brát v úvahu, že testovaní probandi nejsou profesionální sportovci, ale rekreační sportovci. V takovém případě je nutné uvažovat nad delší dobou potřebnou pro dosažení rovnovážného stavu, kdy mohou být hodnoty proměnlivé. Zároveň žádná z uvedených prací neměřila parametry dle stejného protokolu, jakého bylo použito v této práci. Na základě odborné literatury, která se zabývá analýzou sběru výdechových plynů je nutné zde uvést, že výsledný průměrný rozdíl u VO₂ (0,61 ml/min/kg), VCO₂ (0,11 l/min) a RER (0,05) je při intraindividuální variabilitě hodnot při takto nízké zátěži zanedbatelné a v klinické praxi by takové rozdíly v hodnotách pravděpodobně nehrály důležitou roli.

Práce však neprokázala signifikantní rozdíl v submaximální (2W/kg) ani maximální VO₂ mezi maskou a náustkem, přestože byl prokázán signifikantní rozdíl ve VE, a to při stejné intenzitě zátěže 2W/kg a v maximu. To může být připsáno skutečnosti, že ačkoliv jsou hodnoty VE a VO₂ úzce provázány při nízké až střední intenzitě cvičení, při maximálním výkonu je potřeba vyššího nárustu VE, aby došlo ke stimulaci současného zvýšení VO₂ (Bell et al., 2012). Je však možné, že u subjektů, kteří jsou schopni dosáhnout vyšší VE při maximálním výkonu, než jaké bylo pozorováno v rámci této práce, by mohly být rozdíly ve VE i VO₂ výraznější.

Diskuze k H2:

„Nexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách **VE, DF a DO** při jednotlivých stupních zátěžového testu.“

Z výsledků a analýzy průměrných hodnot vychází, že u parametrů VE 2W/kg, VE max, DF 1W/kg, DF 2W/kg, DF max, DO 1W/kg, DO 2W/kg a DO max byl prokázán statisticky významný rozdíl. Tyto výsledky se shodují s výsledky dvou studií (Bell et al., 2012), (Farley et al., 1998).

Farley et al. (1998), prokázali signifikantní rozdíl ve vyšší VEmax při použití masky, ale neprokázali rozdíl ve VE při lehké ani střední zátěži. Výsledky svého měření si autoři vysvětlují tak, že míra VE v zátěži je ovlivněná komfortem při vyšetření. Dle autorů může náustek limitovat VE, sevřením úst případně může znehodnotit měření při ztrátě nosního klipu při vyšších stupních zátěže. Masky oproti

náustku má dle nich naopak nevýhodu v případě vousů u mužů, které mohou ovlivnit těsnění obličejové masky. Tento problém pak naopak odpadá při použití náustku. Autoři se dále zmiňují o teorii předchozích studií, které se věnovali rozdílu objemu mrtvého prostoru mezi náustkem a maskou. Ve své studii však vliv hyperventilace u masky popírají, vzhledem k faktu, že objem mrtvého prostoru byl v jejich případě velmi podobný u masky i náustku. Zároveň uvádějí, že přidání ventilace mrtvého prostoru nad 100 ml, dle literatury může ovlivnit VE i VO₂, a to hlavně při vyšším stupni zátěže (Farley et al., 1998).

Bell et al., (2012) kteří prokázali signifikantní nárůst VEmax o 10 % při použití masky, ale neprokázali rozdíl ve VE při lehké ani střední zátěži. Zdůvodnění autorů bylo, že nemožnost dýchat nosem nebo dýchat skrze stlačené rty během testu s náustkem mohla přispět ke snížení VE při (sub)maximální zátěži. Dále uvádějí, že díky lepší ventilaci byl u probandů potenciál k dosažení vyššího výkonu, což může mít vliv i na dosažení vyššího VO₂max. Tyto výhody spatřují u testování jak zdravých, tak i nemocných pacientů např. s CHOPN. V konečném hodnocení docházejí k závěru, že použití obličejové masky při zátěžovém testování je i přesto vhodnou alternativou při zátěžovém testování.

Výsledky práce se naopak neshodují s výsledky autorů, kteří ve svých studiích signifikantní rozdíl neprokázali u žádného z ventilačních parametrů (Freemas et al., 2020), (Wagner, Clark, 2015; Brooks, Dawess, 2012).

Freemas et al. (2020) ve své práci však zmiňují, že na rozdíl od studií, Farleyho et al. (1998) a Bella et al. (2012), kteří zahrnovali ženy v rozsahu 40 % a 46 %, jejich studie zkoumala výhradně muže. V diskuzi tak uváděli, že ženy, vzhledem k obecně menším objemům plic a průřezu dýchacích cest ve vztahu k velikosti těla oproti mužům, mohou mít v zátěži odlišnou ventilační odpověď v důsledku okluze nosu a/nebo rozdílů ventilovaného mrtvého prostoru. Z výsledků této práce vyplývá, že i po rozdělení průměrných hodnot dle pohlaví se tendence k vyšší ventilaci při použití masky ve vyšší zátěži nezměnila. Průměrný rozdíl (N-M) u žen je na 1W/kg -0,49±2,76 l/min, u mužů -0,94±4,96 l/min, na 2W/kg u žen -4,53±3,33 l/min, u mužů -5,76±10,14 a v maximu u žen -5,47±9,13 l/min a u mužů -19,96±9,68 l/min. Získané hodnoty tak ukazují, že se vzrůstající zátěži mají muži s maskou tendenci k násobně

větší ventilaci, než ženy. Je však na místě zdůraznit, že této studii se zúčastnilo o 7 mužů více než žen, a proto i průměrné hodnoty mohou být ovlivněné velikostí vzorku.

Brooks a Dawess (2012) v diskuzi uvádějí, že rozdíly v měření mohly být způsobeny specifickým tvarem obličeje subjektů, což vyvolalo otázky o přesnosti měření maskou. Zároveň ale přiznávají, že dosavadní výzkum naznačuje, že maska může být vhodnou alternativou k náustku, zejména s ohledem na komfort a snadnější komunikaci během testu. V dalším výzkumu považují za důležité se zaměřit na rozmanitější populaci a zkoumat, jak různé tvary obličeje mohou ovlivnit výsledky měření s maskou. Vzhledem k poměrně velkému rozdílu v objemu mrtvého prostoru mezi maskou velikosti S (99 ml), M (125 ml) a L (143 ml) považujeme za vhodné porovnat vliv na DF, DO a VE i při použití různých velikostí masky oproti náustku.

Wagner a Clark (2015) považují za důležité poznamenat, že všechny předchozí studie používaly starší modely mask. Bell et al (2012) používal model masky HR 7400, zatímco oni použili novější sérii 7450, která byla použita i v případě této práce. Podle výrobce je cílem každé nové série vytvořit lepší přilnavost a utěsnění, aby se minimalizoval únik pomocí změn v geometrii masky, tloušťce silikonové stěny, designu a upevňujících popruhů na hlavu. V závěrečném hodnocení uvádějí, že u probandů nepřevažovala žádná preference ve výběru metody. Za výhody pro použití náustku považují: menší omezení ve výhledu a jednodušší dýchání. Naopak u masky zdůrazňují menší suchost sliznic, možnost dýchat nosem a vyšší komfort.

Při měření s náustkem je dýchání nosem znemožněno nosní sponou, dosažení vyšší ventilace pouze ústy může být obtížnější, a to nejen kvůli zúženému průřezu oproti ústům, ale i kvůli suchosti dýchacích cest způsobených náustkem. Popruhy upevňující masku na obličej mohou způsobovat nepohodlí či pocit nedostatku vzduchu. Následkem vzniklého nepohodlí může docházet k pocitu nedostatku vzduchu, a tedy ke zvýšení dechové frekvence a objemu.

Odlišná velikost mrtvého prostoru, který je u masky 99ml (vel S) a 125ml (vel M), oproti náustku (do 20 ml), může ovlivnit VE při maximální zátěži, kdy průměrné hodnoty DF dosahují 39,6 dech/min u náustku a 46,9 dech/min u masky a DO 2,89 l/min u náustku a 2,75 l/min u masky. Průměrná VE mrtvého prostoru u masky je vel S 4,6 l/min, vel M 5,9 l/min, (vel L 6,7 l/min) pokud bereme v úvahu pouze objem

mrtvého prostoru masky, nikoliv absolutní mrtvý prostor, který je závislý na tvaru obličeje probanda. Oproti tomu průměrná VE mrtvého prostoru náustku je 0,8 l/min, v případě náustku bereme tento mrtvý prostor za absolutní. Rozdíl ve VE mezi maskou a náustkem by byl 3,8-5,1 (5,9) l/min dle velikosti masky S, M, (L).

V takovém případě by výsledky této práce potvrzovali tvrzení autorů studie Short-term modulation of the exercise ventilatory response in young men (Wood et al., 2008). Kde autoři uvádějí, že zvýšená ventilace, při použití obličejové masky na rozdíl od náustku, je důsledkem "krátkodobého modulačního efektu" vzniklého přidáním vnějšího mrtvého prostoru během cvičení, což plně odpovídá situaci přidání většího objemu mrtvého prostoru při použití masky oproti náustku.

Diskuze k hypotéze 3:

„ Neexistuje statisticky významný rozdíl v měřených hodnotách TF a Borgově škále zátěže při jednotlivých stupních zátěžového testu.“

Z výsledků a analýzy průměrných hodnot popisujících subjektivní a objektivní zátěž organismu, tedy TF a Borgovy škály zátěže, nevychází statisticky významný rozdíl, tedy hodnoty $p < 0,05$, u žádného z parametrů na všech stupních zátěže. Tyto výsledky se shodují s výsledky všech uvedených studií. Shodná TF naznačuje konzistenci fyzické kondice v případě dodržení doby a intenzity zátěže, samotná hodnota TF však nemusí znamenat stejnou námahu pro testovanou osobu, i proto se kromě TF během zátěžového testu hodnotí zátěž subjektivně pomocí Borgovy škály. TF frekvence v zátěži je rovněž ovlivněná efektivitou využívání kyslíku či aktuálním zdravotním stavem. Vzhledem k poměrně krátké době mezi jednotlivými testy ani jedno z uvedených nepředpokládáme. Dalším faktorem, který ovlivňuje hodnoty TF je i srdeční variabilita v rámci cirkadiálních rytmů, proto byl v rámci měření kladen důraz na dodržení stejné denní doby obou testů, zároveň byly probandi instruováni k dodržení stejných spánkových, pohybových i stravovacích návyků, alespoň 36 hodin před jednotlivými testy. Srdeční variabilita může být zároveň ovlivněna metabolickými ději, které se v průběhu zátěže dostávají po určité době do rovnováhy. Za fyziologické situace je rovnovážného stavu zpravidla dosaženo po 2-5 minutách v závislosti na reakci a adaptaci organismu na danou zátěž. Naše metodika obsahovala protokol, který předpokládal, že k ustálení v prvních dvou stupních zátěže dojde po 3

minutách, na konci 3 minuty se tak hodnoty berou jako ustálené a jsou mezi sebou porovnány ve výsledcích. Je důležité však zmínit, že probandi mohli k dosažení rovnovážného stavu potřebovat kratší či delší čas, vzhledem k faktu, že se nejednalo o profesionální sportovce a pro žádného z probanda nebyla cyklistika primárním sportem. Srdeční variabilita se tak může mírně lišit a TF se může pohybovat v rozmezí kolem 5 tepů. Variabilitou TF v zátěži pod a nad ventilačním prahem se zabývala studie Cottina et al. (2004) a z výsledků vycházela o 30% vyšší variabilita pod ventilačním prahem. Hodnoty variability TF byly pod ventilačním prahem 9 tepů, zatímco nad prahem pouze 6 tepů. Největší průměrný rozdíl v TF jsme zaznamenali při zátěži 2W/kg (pod ventilačním prahem) a to 2,7 tepu, což je hodnota, která spadá do fyziologické odchylky. Na základě výsledků těchto parametrů lze tedy usuzovat, že jednotlivé zátěžové testy jsou z pohledu objektivně (TF) i subjektivně (Borg) vnímané zátěže organismu stejné, jedná se tak o hlavní podmínku porovnatelnosti testů, která byla v této práci splněná.

Po skončení druhého měření měli probandi zhodnotit, která metoda jim vyhovovala více. 1 proband by upřednostnil náustek před maskou, a to z důvodu nepříjemného pocitu nedostatku vzduchu při měření pomocí masky. Zbylých 22 probandů by upřednostnilo masku. Jako hlavní důvod udávali možnost dýchat nosem, volnost úst a komfort, který zajišťovalo upevnění masky. Při použití náustku si všichni stěžovali na zvýšené slinění a suchost dýchacích cest. Vzhledem k nutnosti vyřazení 3 probandů, u kterých jejich vyřazení bylo způsobeno měřením s náustkem, považujeme metodu měření s maskou z hlediska úspěšnosti měření za méně rizikovou. Rizika znehodnocení výsledků měření plynou z:

možnosti sklouznutí nosního klipu při měření ve vyšší zátěži, kdy při zvyšující se námaze dochází k výraznější mimice obličeje a posunu nosního klipu

vlivem držení náustku mezi rty dochází s postupem času k vyššímu slinění, při kterém se zvýší pravděpodobnost znečištění analyzátoru vydechovaných plynů slinami.

Limity práce

Rozsahem měřených parametrů je tato práce originální, výše zmíněné studie se zabývali podobným tématem, avšak sledované parametry byly měřené často při odlišné zátěži a/nebo nebyly měřené hodnoty maximální. Tato situace tak přináší limitace při porovnávání výsledků s uvedenými studii. Zároveň je třeba zmínit, že velikost měřeného souboru (N=23 probandů) není dostatečně velká pro generalizaci dosažených výsledků. Naopak výsledky práce mohou být podnětem dalších prací, a to k rozšíření nejen měřeného souboru, ale i počtu provedených testů N a M u jednotlivých probandů. Vzhledem k fyziologické intraindividuální variabilitě u většiny parametrů by bylo vhodně měření každé metody opakovat alespoň dvakrát. Opakované měření by tak zabránilo zkreslení výsledků intraindividuální variability. Dalším limitem práce je výběr smíšeného souboru probandů, kdy vznikají menší či větší rozdíly mezi hodnotami jednotlivých parametrů u mužů a žen. V případě žen nebyla zohledněna fáze menstruačního cyklu při prvním ani druhém měření, což může být jedním z faktorů ovlivňujících rozdíly mezi měřeními. Vlivem menstruačního cyklu na jednotlivé parametry se zabývá již mnoho prací, z nichž nejčastěji diskutovaný je vliv hormonálního cyklu na metabolické děje, únavu a výkon organismu ženy v klidu i v zátěži. Dalším důležitým limitem je také úzké spektrum vybraných probandů, kdy náš soubor obsahoval jedince ve věku 18-30 let bez onemocnění kardiovaskulárního a respiračního systému. Výsledky této práce tak nelze generalizovat na široké věkové spektrum v populaci, ale udává jen jistý trend jednotlivých parametrů, který je nutné ověřit dalšími studii.

ZÁVĚR

V současnosti jsou obličejové masky (M) pro sběr plynů používané jako pohodlná alternativa k tradičnímu náustku (N) s nosní sponou v rámci vytrvalostního zátěžového testování v laboratořích tělovýchovných lékařů. Vlivem použité metody, M nebo N, na výsledné hodnoty měřených parametrů se dosud zabývalo jen několik studií, a to jak u zdravých, tak chronicky nemocných pacientů (kardio-respirační onemocnění). Signifikantní rozdíl byl dosud prokázán u parametru VO₂max (Farley et al., 1998) a VE (Farley et al., 1998; Bell et al., 2012) Ostatní studie (SAEY et al., 2006; Wagner, Clark, 2015; Freemas et al., 2020) neprokázaly signifikantní rozdíl v žádném měřeném parametru. Všichni autoři se však v závěru shodovali na rovnocennosti obou metod měření (náustek=maska) a doporučili masku jako alternativu k měření.

Cílem této diplomové práce bylo srovnání měřených kardio-respiračních parametrů a subjektivního hodnocení intenzity zátěže v rámci 2 maximálních zátěžových testů u 26 probandů (8 žen a 18 mužů, 25,3±2,7 let) z řad rekreačních sportovců.

Statisticky významný rozdíl při maximální intenzitě zátěže byl zjištěn u parametrů VEmax (N 112,62±23,35 l/min, M 127,55±29,42 l/min), DFmax (N 39,6±6,6 dechů/min, M 46,9±9,0 dechů/min), DOmax (N 2,89±0,63 l, M 2,75±0,56 l), RERmax (N 1,15±0,05, M 1,17±0,04). Statisticky významný rozdíl při maximální intenzitě zátěže nebyl zjištěn u parametru VO₂max (N 48,13±6,14 ml/kg/min), M 47,47±6,46 ml/kg/min), který je považován za zlatý standard pro hodnocení vytrvalostní zdatnosti. Hodnoty tohoto parametru byly zároveň zaneseny i do Bland-Altmanova diagramu, který vizuálně potvrzuje shodu mezi metodou N a M na všech stupních zátěže.

Statisticky významný rozdíl při intenzitě zátěže 2W/kg byl zjištěn u parametru VE 2W/kg (N 53,04±8,42 l/min, M 58,38±11,76 l/min), DF (N 23,4±5,4 dechů/min, M 28,6±4,3 dechů/min) a DO (N 2,38±0,64 l, M 2,08±0,51 l).

Statisticky významný rozdíl při iniciální fázi zátěže (po 3 min intenzity 1W/kg) byl zjištěn u parametrů VO_2 1W/kg (N $19,17 \pm 1,20$ ml/kg/min, M $18,55 \pm 1,22$ ml/kg/min), VCO_2 1W/kg (N 1,30 l/min, M 1,18 l/min), RER 1W/kg (N $0,94 \pm 0,07$, M $0,89 \pm 0,05$), DF (N $19,2 \pm 4,4$ dechů/min, M $22,7 \pm 4$ dechů/min) a DO 1W/kg (N $1,86 \pm 0,66$ l, M $1,54 \pm 0,31$ l).

Rozdíly parametrů TF a subjektivního vnímání intenzity zátěže dle Borga nebyly statisticky významné na žádném stupni zátěže.

Z výsledků práce lze předpokládat, že i přes existující statisticky významné rozdíly v některých měřených parametrech (VE, DF, DO), nebyl prokázán statisticky ani klinicky významný rozdíl v parametru VO_{2max} , který je při interpretaci vytrvalostního zátěžového testu dosud považován za stěžejní. V případě parametru VE jsme pozorovali vzrůstající rozdíly mezi N a M v závislosti na vzrůstající intenzitě zátěže.

Z výsledků práce lze usuzovat, že pro měření vytrvalostní zdatnosti je obličejová maska vhodnou (pohodlnější) alternativou náustku během maximálních i submaximálních zátěžových testů. V případě zátěžového testování za účelem hodnocení mechaniky dýchání (DF, DO, VE) je vhodné uvažovat nad ovlivněním hodnot výběrem sběrného zařízení. Při porovnávání testů měřených pomocí odlišného sběrného zařízení, by se také mělo počítat s možností odlišného výsledku z důvodu sběrného zařízení, a nikoliv pouze z důvodu poklesu/nárustu vytrvalostní zdatnosti.

Tato diplomová práce nabízí jedno z prvních porovnání mezi metodami měření laboratorního vytrvalostního zátěžového testování pomocí náustku a masky v české literatuře. Práce zároveň nabízí spoustu možností k rozvinutí tématu, ať už v rámci násobně většího souboru probandů různého věku, či výběrem jedinců s určitým typem chronického onemocnění, kde může zvolená metoda měření podstatně ovlivnit výsledky měření, a tak i jejich další léčbu.

REFERENČNÍ SEZNAM

ALVERO-CRUZ, José Ramón; CARNERO, Elvis A.; GIRÁLDEZ GARCÍA, Manuel Avelino; ALACID, Fernando; ROSEMANN, Thomas et al., 2019. Cooper Test Provides Better Half-Marathon Performance Prediction in Recreational Runners Than Laboratory Tests. Online. *Frontiers in Physiology*. 2019-11-5, roč. 10, č. vol 10, s. 1-9. ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01349>. [cit. 2024-03-23].

ANTUNES-CORREA, Lígia M, 2018. Maximal oxygen uptake: New and more accurate predictive equation. Online. *European Journal of Preventive Cardiology*. Roč. 25, č. 10, s. 1075-1076. ISSN 2047-4873. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/2047487318780442>. [cit. 2023-08-11].

BASSETT, DAVID R., 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Roč. 32, č. 1, s. 70-84. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>. [cit. 2023-07-26].

BELL, Kirsten; BEDBROOK, Megan; NGUYEN, Tri-Tue a MOURTZAKIS, Marina, 2012. The Facemask Produces Higher Peak Minute Ventilation and Respiratory Rate Measurements Compared to the Mouthpiece. Online. *Journal of Sports Science and Medicine*. Roč. 11, č. 3, s. 564-566. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3737927/>. [cit. 2024-03-13].

BERNACIKOVÁ, Martina, 2017. *Fyziologie*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5841-5.

BROOKS, Kelly Brooks a DAWESS, JJ, 2012. Measurement of Aerobic Capacity Using Mouthpiece vs. Mask for Data Collection. Online. *Journal of Novel Physiotherapies*. Roč. 2, č. 01, s. 1-2. ISSN 21657025. Dostupné z: <https://doi.org/10.4172/2165-7025.S2-002>. [cit. 2024-03-12].

COOPER, Kenneth H., 1968. A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake. Online. *JAMA*. 1968-01-15, roč. 203, č. 3, s. 201-204. ISSN 0098-7484. Dostupné z: <https://doi.org/10.1001/jama.1968.03140030033008>. [cit. 2024-03-24].

COTTIN, FRANCOIS; LEPRETRE, PIERRE-MARIE; LEPRETRE, YVES; KORALSZTEIN, JEAN-PIERRE a BILLAT, VÉRONIQUE, 2004. Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Roč. 36, č. 4, s. 594-600. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121982.14718.2A>. [cit. 2024-03-20].

DI PRAMPERO, Pietro Enrico a FERRETTI, Guido, 1990. Factors limiting maximal oxygen consumption in humans. Online. *Respiration Physiology*. Roč. 80, č. 2-3, s. 113-128. ISSN 00345687. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(90\)90075-A](https://doi.org/10.1016/0034-5687(90)90075-A). [cit. 2024-03-15].

DORES, Hélder; MENDES, Miguel; ABREU, Ana; DURAZZO, Anaí; RODRIGUES, Cidália et al., 2024. Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice: Principles, applications, and basic interpretation. Online. *Revista Portuguesa de Cardiologia*. Roč. 1, č. 5, s. 1-25. ISSN 08702551. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.repc.2024.01.005>. [cit. 2024-04-18].

DREW, Barbara J.; CALIFF, Robert M.; FUNK, Marjorie; KAUFMAN, Elizabeth S.; KRUCOFF, Mitchell W. et al., 2004. Practice Standards for Electrocardiographic Monitoring in Hospital Settings. Online. *Circulation*. 2004-10-26, roč. 110, č. 17, s. 2721-2746. ISSN 0009-7322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000145144.56673.59>. [cit. 2024-04-20].

FARLEY, Richard S; RAY, Paul S a MOYNIHAN, Gary P, 1998. Evaluation of three gas collection devices. Online. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Roč. 22, č. 6, s. 431-437. ISSN 01698141. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(97\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(97)00013-9). [cit. 2024-03-15].

FLETCHER, Gerald F.; ADES, Philip A.; KLIGFIELD, Paul; ARENA, Ross; BALADY, Gary J. et al., 2013. Exercise Standards for Testing and Training. Online. *Circulation*. 2013-08-20, roč. 128, č. 8, s. 873-934. ISSN 0009-7322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>. [cit. 2023-08-15].

FLETCHER, Gerald F.; BALADY, Gary J.; AMSTERDAM, Ezra A.; CHAITMAN, Bernard; ECKEL, Robert et al., 2001. Exercise Standards for Testing and Training. Online. *Circulation*. 2001-10-02, roč. 104, č. 14, s. 1694-1740. ISSN 0009-7322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1161/hc3901.095960>. [cit. 2023-07-26].

FREEMAS, Jessica A.; WILHITE, Daniel P.; GREENSHIELDS, Joel T.; ADAMIC, Emily M. a MICKLEBOROUGH, Timothy D., 2020. Comparison between a facemask and mouthpiece on breathing mechanics and gas exchange variables during high-intensity exercise. Online. *European Journal of Sport Science*. Roč. 20, č. 2, s. 211-218. ISSN 1746-1391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1628309>. [cit. 2024-03-13].

HELLER, Jan, 2019. *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-3391-6.

HILL, A. V. a LUPTON, H., 1923. Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. Online. *QJM: An International Journal of Medicine*. 1923-01-01, roč. 16, č. 62, s. 135-171. ISSN 1460-2725. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/qjmed/os-16.62.135>. [cit. 2024-03-10].

CHRZANOWSKI-SMITH, Oliver J.; PIATRIKOVA, Eva; BETTS, James A.; WILLIAMS, Sean a GONZALEZ, Javier T., 2020. Variability in exercise physiology: Can capturing intra-individual variation help better understand true inter-individual responses? Online. *European Journal of Sport Science*. Roč. 20, č. 4, s. 452-460. ISSN 1746-1391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1655100>. [cit. 2024-03-15].

JONES, Andrew M. a VANHATALO, Anni, 2017. The 'Critical Power' Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. Online. *Sports Medicine*. Roč. 47, č. S1, s. 65-78. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0688-0>. [cit. 2024-04-17].

KOKKINOS, Peter; KAMINSKY, Leonard A.; ARENA, Ross; ZHANG, Jiajia a MYERS, Jonathan, 2017. New Generalized Equation for Predicting Maximal Oxygen Uptake (from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database). Online. *The American Journal of Cardiology*. Roč. 120, č. 4, s. 688-692. ISSN 00029149. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2017.05.037>. [cit. 2023-08-11].

KROIDL, Rolf; SCHWARZ, Stefan; LEHNIGK, Burghart a FRITSCH, Jürgen, 2014. *Kursbuch Spiroergometrie*. Stuttgart: Thieme. ISBN 3131434430.
LÉGER, L. A.; MERCIER, D.; GADOURY, C. a LAMBERT, J., 1988. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. Online. *Journal of Sports Sciences*. Roč. 6, č. 2, s. 93-101. ISSN 0264-0414. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>. [cit. 2024-03-24].

MÁČEK, Miloš a RADVANSKÝ, Jiří, 2011. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén. ISBN 978-80-726-2695-3.
MARTINS, Higgor Amadeus; BARBOSA, José Geraldo; SEFFRIN, Aldo; VIVAN, Lavínia; SOUZA, Vinicius Ribeiro dos Anjos et al., 2023. Sex Differences in Maximal Oxygen Uptake Adjusted for Skeletal Muscle Mass in Amateur Endurance Athletes: A Cross Sectional Study. Online. *Healthcare*. Roč. 11, č. 10, s. 1-9. ISSN 2227-9032. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/healthcare11101502>. [cit. 2023-07-26].

MILLET, G P a BENTLEY, D J, 2004. The Physiological Responses to Running After Cycling in Elite Junior and Senior Triathletes. Online. *International Journal of Sports Medicine*. Roč. 25, č. 3, s. 191-197. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>. [cit. 2023-07-26].

MORA CARPIO AL, Mora JI.; DOORDUIN J, Nollet JL; INTAGLIATA S, Rizzo A; FERLUGA M, Lucangelo U a M., Zheng, 2023. *Anatomy, Anatomic Dead Space*. Online. NCBI Bookshelf. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442016/>. [cit. 2024-02-28].

MOUREK, Jindřich, 2012. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2., dopl. vyd. Sestra (Grada). Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3918-2.

NOAKES, T. D., 2000. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. Online. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. Roč. 10, č. 3, s. 123-145. ISSN 09057188. Dostupné z: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010003123.x>. [cit. 2023-06-08].

PLACHETA, Zdeněk, 1999. *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Vyd. 1. Praha: Grada. ISBN 80-7169-271-9.

PLACHETA, Zdeněk, 2001. *Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 8021026146.

POOLE, David C.; ROSSITER, Harry B.; BROOKS, George A. a GLADDEN, L. Bruce, 2021. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. Online. *The Journal of Physiology*. Roč. 599, č. 3, s. 737-767. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP279963>. [cit. 2024-03-10].

SAEY, DIDIER; PEPIN, VÉRONIQUE; BRODEUR, JULIE; LIZOTTE, JESSICA; GAGNON, PHILIPPE et al., 2006. Use of Facemask and Mouthpiece to Assess Constant-Workrate Exercise Capacity in COPD. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Roč. 38, č. 2, s. 223-230. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000185040.54761.08>. [cit. 2024-03-13].

SALES, Marcelo Magalhães; SOUSA, Caio Victor; DA SILVA AGUIAR, Samuel; KNECHTLE, Beat; NIKOLAIDIS, Pantelis Theodoros et al., 2019. An integrative perspective of the anaerobic threshold. Online. *Physiology & Behavior*. Č. 205, s. 29-32. ISSN 00319384. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.12.015>. [cit. 2024-02-14].

SHEPHARD, R J, 2009. Maximal oxygen intake and independence in old age. Online. *British Journal of Sports Medicine*. 2009-05-18, roč. 43, č. 5, s. 342-346. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.044800>. [cit. 2024-04-21].

SOVOVÁ, MUDr. Markéta, 2020. Nové vzorce pro výpočet maximální spotřeby kyslíku při zátěžových testech podle registru FRIEND. Online. *Kardiologické revue - interní medicína*. Roč. 22, č. 1, s. 24-25. Dostupné z: <https://www.kardiologickarevue.cz/en/journals/cardiology-review/2020-1-12/new-equation-for-the-prediction-of-maximum-oxygen-consumption-by-exercise-testing-friend-registry-121894/download?hl=cs>. [cit. 2024-05-07].

STRUHÁR, Ivan; NOVOTNÝ, Jan; BERNACIKOVÁ, Martina; KAPOUNKOVÁ, Kateřina a POSPÍCHAL, Vladimír, 2019. *Zátěžová diagnostika v tělovýchovné a sportovní praxi*. 2. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-9431-4.

THOMPSON, Paul D.; ARENA, Ross; RIEBE, Deborah a PESCATELLO, Linda S., 2013. ACSM's New Preparticipation Health Screening Recommendations from ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Ninth Edition. Online. *Current Sports Medicine Reports*. Roč. 12, č. 4, s. 215-217. ISSN 1537-890X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31829a68cf>. [cit. 2024-04-18].
VÁRNAY, František; HOMOLKA, Pavel; MÍFKOVÁ, Leona a DOBŠÁK, Petr, 2020. *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-2552-4.

VILIKUS, Zdeněk; BRANDEJSKÝ, Petr a NOVOTNÝ, Vladimír, 2004. *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0821-9.

WAGNER, Dale R. a CLARK, Nicolas W., 2015. Similar results for face mask versus mouthpiece during incremental exercise to exhaustion. Online. *Journal of Sports*

Sciences. 2015-07-20, roč. 34, č. 9, s. 852-855. ISSN 0264-0414. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1075058>. [cit. 2024-03-12].

WOOD, Helen E.; MITCHELL, Gordon S. a BABB, Tony G., 2008. Short-term modulation of the exercise ventilatory response in young men. Online. *Journal of Applied Physiology*. Roč. 104, č. 1, s. 244-252. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00820.2007>. [cit. 2024-03-13].

<https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-5/08.html> - vytrvalostní trénink

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Možnosti testování anaerobní kapacity (Struhár et al., 2019, s. 15)	12
Obrázek 2 Možnosti testování aerobní kapacity (Struhár et al., 2019).....	12
Obrázek 3 Protokoly zátěžového testování	23
Obrázek 4 Podíl energetického krytí v závislosti na trvání zátěže (%) (Placheta, 2001)	32
Obrázek 5 Křivka V_{O_2} , V_{CO_2} a RER v zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření (Várnay et al., 2020, s. 108).....	33
Obrázek 6 protokol zátěžového testu	52
Obrázek 7 U umístění elektrod EKG, (Drew et al., 2004).....	52
Obrázek 8 Bland-Altmanův diagram pro VO_2 1W/kg N-M	57
Obrázek 9 Bland-Altmanův diagram pro VO_2 2W/kg N-M	58
Obrázek 10 Bland-Altmanův diagram pro VO_{2max} N-M	58
Obrázek 11 Bland-Altmanův diagram pro VE 2W/kg N-M.....	60
Obrázek 12 Bland-Altmanův diagram pro VE_{max} N-M.....	61
Obrázek 13 Průměrné hodnoty tepové frekvence	63
Obrázek 14 Průměrné hodnoty Borgovy škály	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnocení aerobní zdatnosti dle Cooperova testu (Cooper, 1968).....	26
Tabulka 2 Hodnocení úrovní v Beep testu (Léger et al., 1988).....	29
Tabulka 3 - charakteristika probandů, průměrné hodnoty ± 1 SD.....	51
Tabulka 4 Průměrné hodnoty parametrů VO_2 , VCO_2 a RER při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu.....	56
Tabulka 5 Průměrné hodnoty VO_2 u mužů a žen.....	56
Tabulka 6 Průměrné hodnoty parametrů VE, DF a DO při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu	59
Tabulka 7 Průměrné hodnoty VE \pm SD u mužů a žen	61
Tabulka 8 Průměrné hodnoty TF a Borgovy škály zátěže při zátěži 1W/kg, 2W/kg a v maximu	62

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Vzor informovaného souhlasu s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů

Příloha č. 2: Tabulka Borgova škála zátěže

Příloha č. 3 Tabulka statistického zpracování

Příloha č.4 Tabulka statistického zpracování – Shapiro-Wilk, popisná statistika

Příloha č. 5 Tabulka průměrných hodnot - CD

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 – Vzor informovaného souhlasu s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů

Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů

Informace o výzkumu v rámci diplomové práce Srovnání analýzy vydechovaných plynů při zátěži s použitím náustku a obličejové masky

Řešitel práce: Bc. Klára Pekárková, Vedoucí práce: MUDr. Michal Procházka

Informace o výzkumu: Práce se zabývá srovnáním analýzy vydechovaných plynů pomocí náustku a obličejové masky při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru. Cílem práce je porovnání výsledků měření aerobní kapacity a výměny respiračních plynů při spiroergometrii. Hlavními měřenými parametry jsou: spotřeba kyslíku (VO_2), maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), minutová ventilace (VE), výdej oxidu uhličitého (VCO_2), respirační výměnný poměr, tepová frekvence (TF) a elektrická aktivita srdce (EKG) v zátěži. V průběhu měření bude zátěž subjektivně hodnocena účastníky výzkumu pomocí Borgovy škály. Měřenou skupinou bude 12-20 probandů (muži i ženy 20-30 let). Každý účastník absolvuje měření s náustkem a s obličejovou maskou.

Informace o účastníkovi výzkumu:

Jméno a příjmení:

Datum narození:

Prohlášení

Já níže podepsaný/-á potvrzuji, že

a) jsem se seznámil/-a s informacemi o cílech a průběhu výše popsaného výzkumu (dále též jen „výzkum“);

b) dobrovolně souhlasím s účastí své osoby v tomto výzkumu;

c) rozumím tomu, že se mohu kdykoli rozhodnout ve své účasti na výzkumu nepokračovat;

d) jsem srozuměn s tím, že jakékoliv užití a zveřejnění dat a výstupů vzešlých z výzkumu nezakládá můj nárok na jakoukoliv odměnu či náhradu, tzn. že veškerá oprávnění k užití a zveřejnění dat a výstupů vzešlých z výzkumu poskytnu bezúplatně.

Zároveň prohlašuji, že

a) souhlasím se zveřejněním anonymizovaných dat a výstupů vzešlých z výzkumu a s jejich dalším využitím;

b) souhlasím se zpracováním a uchováním osobních a citlivých údajů v rozsahu v tomto informovaném souhlasu uvedených ze strany Univerzity Karlovy, 2. lékařské fakulty, se sídlem: V Úvalu 84, Praha 5, 150 06, a to pro účely zpracování dat vzešlých z výzkumu, pro účely případného kontaktování z důvodu zpracování dat vzešlých z výzkumu či z důvodu nabídky účasti na obdobných akcích a pro účely evidence a archivace; a s tím, že tyto osobní údaje mohou být poskytnuty subjektům oprávněným k výkonu kontroly projektu, v jehož rámci výzkum realizován;

c) jsem seznámen/-a se svými právy týkajícími se přístupu k informacím a jejich ochraně podle § 12 a § 21 zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, tedy že mohu požádat Univerzitu Karlovu v Praze o informaci o zpracování mých osobních a citlivých údajů a jsem oprávněn/-a ji dostat a že mohu požádat Univerzitu Karlovu v Praze o opravu nepřesných osobních údajů, doplnění osobních údajů, jejich blokaci a likvidaci.

Výše uvedená svolení a souhlasy poskytnu dobrovolně na dobu neurčitou až do odvolání a zavazuji se je neodvolat bez závažného důvodu spočívajícího v podstatné změně okolností.

Vše výše uvedené se řídí zákony České republiky, s výjimkou tzv. kolizních norem, a bude v souladu s nimi vykládáno, přičemž případné spory budou řešeny příslušnými soudy v České republice.

Dne:

Podpis:

Příloha č. 2 – Borgova škála zátěže

Bodové hodnocení (RPE)	Subjektivní hodnocení
6	
7	velmi velmi lehké
8	
9	velmi lehké
10	
11	docela lehké
12	
13	poněkud těžší
14	
15	těžké
16	
17	velmi těžké
18	
19	velmi velmi těžké
20	

Příloha č. 3 – Tabulka statistického zpracování

Náustek	Maska	statistický test	statistika	df	p	velikost efektu	
VO2 1W/kg N (ml/min/kg)	VO2 1W/kg M (ml/min/kg)	Studentův t-test	2,070	22	0,05	Coh d	0,432
V'E 1W/kg N (l/min)	V'E 1W/kg (l/min) M	Studentův t-test	-0,853	22	0,403	Coh d	-0,178
VCO2 1W/kg N (l/min)	VCO2 1W/kg (l/min) M	Studentův t-test	4,162	22	< ,001	Coh d	0,868
DF 1W/kg N	DF 1W/kg M	Studentův t-test	-4,32	22	< ,001	Coh d	-0,901
DO 1W/kg N (l)	DO 1W/kg M (l)	Studentův t-test	3,32	22	0,003	Coh d	0,693
		Wilcoxonův párový test	255	22	< ,001		0,844
RER 1W/kg N	RER 1W/kg M	Studentův t-test	3,468	22	0,002	Coh d	0,723
		Wilcoxonův párový test	214,000	22	0,005		0,692
TF 1W/kg N	TF 1W/kg M	Studentův t-test	-1,349	22	0,191	Coh d	-0,281
		Wilcoxonův párový test	69,000	22	0,184		-0,343
Borg 1W/kg N	Borg 1W/kg M	Studentův t-test	-1,194	22	0,245	Coh d	-0,249
		Wilcoxonův párový test	41,500	22	0,289		-0,308
VO2 2W/kg N (ml/min/kg)	VO2 2W/kg M (ml/min/kg)	Studentův t-test	0,142	22	0,889	Coh d	0,030
V'E 2W/kg N (l/min)	V'E 2W/kg M (l/min)	Studentův t-test	-2,967	22	0,007	Coh d	-0,619
DF 2W/kg N	DF 2W/kg M	Student's t	-9,83	22	< ,001	Coh d	-2,050
DO 2W/kg N (l)	DO 2W/kg M (l)	Student's t	4,55	22	< ,001	Coh d	0,948
VCO2 2W/kg N (l/min)	VCO2 2W/kg M (l/min)	Studentův t-test	-1,571	22	0,13	Coh d	-0,328
RER 2W/kg N	RER 2W/kg M	Studentův t-test	-0,571	22	0,573	Coh d	-0,119
TF 2W/kg N	TF 2W/kg M	Studentův t-test	-1,971	22	0,061	Coh d	-0,411
Borg 2W/kg N	Borg 2W/kg M	Studentův t-test	-0,778	22	0,445	Coh d	-0,162
		Wilcoxonův párový test	23,000	22	0,385		-0,303
VO2 max/kg N (ml/min/kg)	VO2 max/kg M (ml/min/kg)	Studentův t-test	1,526	22	0,141	Coh d	0,318
V'E max N (l/min)	V'E max (l/min) M	Studentův t-test	-5,969	22	< ,001	Coh d	-1,245
DF max N	DF max M	Studentův t-test	-5,83	22	< ,001	Coh d	-1,216
DO max N (l)	DO max M (l)	Studentův t-test	2,64	22	0,015	Coh d	0,551
VCO2 max N (l/min)	VCO2 max (l/min) M	Studentův t-test	-0,861	22	0,398	Coh d	-0,180
RER max N W/kg	RER maxW/kg M	Studentův t-test	-2,677	22	0,014	Coh d	-0,558
TF max N	TF max M	Studentův t-test	-1,108	22	0,28	Coh d	-0,231
Borg max N	Borg max M	Studentův t-test	-1,073	22	0,295	Coh d	-0,224
		Wilcoxonův párový test	22,000	22	0,308		-0,333

Příloha č.4 Tabulka statistického zpracování – Shapiro-Wilk, popisná statistika

	TF 1W/kg N	TF 1W/kg M	Borg 1W/kg N	Borg 1W/kg M	VO2 2W/kg N (ml/min/kg)	VO2 2W/kg M (ml/min/kg)	V'E 2W/kg N (l/min)	V'E 2W/kg M (l/min)
N	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Mean	108,00	110,00	8,91	9,22	29,90	29,90	53,00	58,40
Median	106,00	115,00	9,00	10,00	30,00	30,10	53,60	59,80
SD	9,67	11,40	1,44	1,57	1,53	1,23	8,42	11,80
Shapiro-Wilk W	0,94	0,904	0,942	0,851	0,964	0,929	0,966	0,934
Shapiro-Wilk p	0,184	0,03	0,196	0,003	0,543	0,106	0,586	0,131
	VCO2 2W/kg N (l/min)	VCO2 2W/kg M (l/min)	RER 2W/kg N	RER 2W/kg M	TF 2W/kg N	TF 2W/kg M	Borg 2W/kg N	Borg 2W/kg M
N	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Mean	2,10	2,16	0,99	0,99	140,00	143,00	12,80	13,00
Median	2,20	2,10	0,98	0,99	140,00	141,00	13,00	13,00
SD	0,43	0,42	0,06	0,05	14,20	14,80	1,28	1,22
Shapiro-Wilk W	0,973	0,972	0,986	0,973	0,971	0,943	0,937	0,916
Shapiro-Wilk p	0,762	0,744	0,982	0,766	0,717	0,213	0,153	0,054
	VO2 max/kg N (ml/min/kg)	VO2 max/kg M (ml/min/kg)	V'E max (l/min) N	V'E max (l/min) M	VCO2 max (l/min) N	VCO2 max (l/min) M	RER maxW/kgN	RER maxW/kg M
N	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Mean	48,10	47,50	113,00	128,00	3,95	4,00	1,15	1,17
Median	48,20	47,50	115,00	130,00	3,90	3,90	1,15	1,16
SD	6,14	6,46	23,40	29,40	0,82	0,91	0,05	0,04
Shapiro-Wilk W	0,955	0,965	0,95	0,986	0,956	0,974	0,967	0,938
Shapiro-Wilk p	0,376	0,579	0,287	0,978	0,391	0,779	0,609	0,162
	TF max N	TF max M	Borg max N	Borg max M				
N	23,00	23,00	23,00	23,00				
Mean	182,00	183,00	18,80	19,00				
Median	181,00	184,00	19,00	19,00				
SD	7,34	7,21	0,65	0,77				
Shapiro-Wilk W	0,982	0,959	0,788	0,833				
Shapiro-Wilk p	0,937	0,443	< ,001	0,001				