

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

DISERTAČNÍ PRÁCE

2025

Mgr. David Marko

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Disertační práce

**Vliv Buteykovy metody na ventilační
parametry a zapojení dechových sektorů u
aktivní a neaktivní populace**

Vypracoval: Mgr. David Marko

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Tomáš Malý, Ph.D.

Praha, 2025

Prohlašuji, že jsem autorem této disertační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Praze,

.....

Svoluji k zapůjčení své disertační práce ke studijním účelům. Prosím, aby byla vedena přesná evidence vypůjčovatелů, kteří musí řádně citovat prameny převzaté literatury.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Rád bych vyjádřil svou upřímnou vděčnost svému školiteli, doc. PaedDr. Tomáši Malému, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a neustálou podporu při zpracování této disertační práce i v průběhu celého doktorského studia. Mé poděkování rovněž patří prof. Ing. Václavu Buncovi, CSc., s kterým má cesta doktorského studia započala a pomohl mi definovat směr mého odborného růstu. Velké díky patří také mé rodině, bez jejíž podpory bych nebyl schopen zvládnout vysokoškolské studium a následně pokračovat v dalším akademickém rozvoji. Zvláštní poděkování náleží i mým kolegům, PhDr. Petru Bahenskému, Ph.D., a Mgr. Miroslavu Krajcigrovi, Ph.D., za jejich cenné rady a odbornou pomoc, které pro mě byly v průběhu této práce neocenitelné. Největší dík však patří mé přítelkyni Tereze, která mi svou neochvějnou podporou a vytvořením stabilního zázemí umožnila tuto cestu úspěšně absolvovat. Bez její trpělivosti a pochopení by byla tato cesta nesrovnatelně obtížnější.

Všem zmíněným ještě jednou upřímně děkuji.

Název disertační práce: Vliv Buteykovy metody na ventilační parametry a zapojení dechových sektorů u aktivní a neaktivní populace

Abstrakt:

Úvod: Buteykova dechová metoda (BDM) je technika zaměřená na vědomou kontrolu dechu s cílem zlepšit toleranci CO_2 a efektivitu dýchání. Dosavadní výzkum naznačuje přínosy BDM u astmatiků, avšak chybí poznatky o jejím vlivu na ventilační parametry a zapojení dechových sektorů u zdravých osob různé úrovně fyzické aktivity. Cílem této disertační práce je zjištění účinku šestitýdenní intervence BDM na ventilační parametry a mechaniku dýchání u fyzicky aktivní a neaktivní populace při maximálním zátěžovém testu na běžecím ergometru.

Metodika: Studie se zúčastnilo 69 zdravých jedinců (věk ~23 let), rozdělených do čtyř skupin: aktivní-experimentální ($n=18$), aktivní-kontrolní ($n=20$), neaktivní-experimentální ($n=15$) a neaktivní-kontrolní ($n=16$). Experimentální skupiny absolvovaly 6 týdnů cvičení BDM, kontrolní skupiny neprováděly žádnou dechovou intervenci. Před a po intervenci podstoupili všichni účastníci vyšetření spiroergometrickým zátěžovým testem (stanovení ventilačních prahů – VT1, VT2; ventilačních parametrů a $\text{VO}_{2\text{peak}}$) se současným využitím optoelektronické pletysmografie (analýza zapojení dechových sektorů – horní hrudní, dolní hrudní a břišní) a sledováním subjektivního hodnocení dušnosti. Ke statistickému vyhodnocení byla použita mixed-design ANOVA (skupina $\times$ čas) a byla posuzována jak statistická ($p<0,05$), tak věcná významnost (η_p^2).

Výsledky: U fyzicky aktivních jedinců vedla BDM ke zlepšení ventilační odezvy při zátěži. Ukazatel ventilační efektivity (VE/VCO_2 slope) se v aktivní experimentální skupině snížil v průměru o ~14 % (zlepšená ventilační efektivita) oproti kontrolní skupině ($p<0,01$, $\eta_p^2=0,10$). Dechová frekvence (BF) při submaximální zátěži výrazně poklesla o ~14–15 % při VT1 ($p=0,01$; $\eta_p^2=0,09$) a VT2 ($p=0,03$; $\eta_p^2=0,16$), zatímco dechový objem vzrostl (~8–11 %, statisticky nevýznamně). Aktivní skupina po BDM také udávala nižší subjektivní vnímání dušnosti ve druhém (~34%; $p<0,01$, $\eta_p^2=0,09$) a třetím (~23 %, $p<0,05$; $\eta_p^2=0,08$) zátěžovém stupni. U neaktivních jedinců se po BDM projeví podobné trendy (zpomalení dechu o ~6–12 %, nárůst dechového objemu o ~6–8 %), avšak rozdíly oproti neaktivní kontrolní skupině nebyly statisticky ani věcně významné (s výjimkou BF při VT2, $p=0,03$). Ventilační prahy se vlivem samotné dechové intervence výrazně

neposunuly (u aktivních pouze trend prodloužení času do dosažení prahů o 5–8 %, n.s.), a vrcholová spotřeba kyslíku ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) zůstala bez signifikantních změn v obou skupinách. Analýza pomocí optoelektronické pletysmografie odhalila po intervenci pouze omezený vliv na zapojení dechových sektorů. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán pouze u neaktivních jedinců při VT2 u zapojení dolního hrudního dýchání ($\sim 15\%$, $p=0,03$; $\eta_p^2=0,07$).

Závěr: Šestitýdenní cílená intervence Buteykovy metody zlepšila ekonomiku dýchání při zátěži u fyzicky aktivních osob. Aktivní jedinci po BDM dýchali při zátěži pomaleji a efektivněji, s nižší ventilací na jednotku vyprodukovaného CO_2 a s menším pocitem dušnosti. U neaktivních osob byl efekt BDM méně výrazný a statisticky nepotvrzený (s výjimkou BF při VT2), což naznačuje potřebu delší či intenzivnější intervence pro neaktivní populaci, nebo kombinaci s pohybovým tréninkem. Samotná BDM nevedla ke zlepšení aerobní kapacity ani k významnému posunu ventilačních prahů. BDM se jeví jako bezpečná a praktická metoda k ovlivnění dechových funkcí – její zařazení do tréninku může pomoci jedincům lépe hospodařit s dechem a zmírnit subjektivní vnímání dušnosti.

Klíčová slova: Buteykova dechová metoda; ventilace; dechové sektory; fyzická aktivita; ventilační efektivita

Title of the dissertation thesis: The Effect of the Buteyko Method on Ventilatory Parameters and Engagement of Chest Wall Compartments in Active and Inactive Populations

Abstract:

Introduction: The Buteyko Breathing Method (BBM) is a technique focused on conscious breath control, aiming to improve carbon dioxide (CO₂) tolerance and respiratory efficiency. While current research indicates benefits of BBM for individuals with asthma, there is a lack of evidence regarding its effects on ventilatory parameters and the involvement of respiratory compartments in healthy individuals with varying levels of physical activity. The aim of this dissertation was to investigate the effect of a six-week BBM intervention on ventilatory parameters and breathing mechanics in physically active and inactive populations during a maximal treadmill exercise test.

Methods: Sixty-nine healthy participants (mean age ~23 years) were divided into four groups: active-experimental (n=18), active-control (n=20), inactive-experimental (n=15), and inactive-control (n=16). Experimental groups underwent six weeks of BBM training, while control groups received no breathing intervention. Before and after the intervention, all participants completed a cardiopulmonary exercise test (CPET) using spiroergometry (to assess ventilatory thresholds, ventilatory parameters, and VO₂peak), combined with optoelectronic plethysmography (to analyze breathing compartment involvement—abdominal vs. thoracic breathing) and subjective ratings of dyspnea. A mixed-design ANOVA (group × time) was used for statistical analysis, with significance set at $p < 0.05$, and effect sizes reported using partial eta squared (η_p^2).

Results: In physically active individuals, BBM improved ventilatory response during exercise. The ventilatory efficiency index (VE/VCO₂ slope) decreased by ~14% in the active experimental group compared to controls ($p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.10$), indicating improved efficiency. Breathing frequency (BF) at submaximal intensities significantly decreased by ~14–15% at VT1 ($p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.09$) and VT2 ($p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.16$), while tidal volume increased (~8–11%) without reaching statistical significance. The active group also reported reduced perceived dyspnea at the second (–34%, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.09$) and third (–23%, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.08$) exercise stages. Among inactive individuals, similar trends were observed (BF reduction of ~6–12%, tidal volume increase of ~6–8%), but these changes were neither statistically nor practically significant compared to the inactive

control group—except for BF at VT2 ($p=0.03$). Ventilatory thresholds (VT1, VT2) were not significantly altered by the BBM intervention, though active participants showed a non-significant trend toward delayed threshold onset (by ~5–8%). $\text{VO}_{2\text{peak}}$ remained unchanged in both populations. Analysis using optoelectronic plethysmography revealed only a limited effect on the involvement of respiratory compartments following the intervention. A statistically significant difference was observed exclusively in inactive individuals at VT2 in the activation of the lower thoracic compartment (~15%, $p=0.03$, $\eta_p^2=0.07$).

Conclusion: A six-week targeted BBM intervention improved breathing economy during exercise in physically active individuals. After the intervention, active participants breathed more slowly and efficiently, with reduced ventilation per unit of CO_2 produced and lower perceived dyspnea. In inactive individuals, the BBM effect was less pronounced and not statistically confirmed, suggesting that a longer or more intensive intervention, or its combination with physical training, may be required for this population. BBM alone did not enhance aerobic capacity or significantly shift ventilatory thresholds. BBM appears to be a safe and practical method for modulating respiratory function. Its inclusion in training routines may help individuals manage their breathing more effectively and reduce subjective breathlessness.

Keywords: Buteyko breathing method; ventilation; breathing pattern; physical activity; ventilatory efficiency.

Obsah

1 Úvod.....	6
2 Teoretická východiska zkoumaného problému	8
2.1 Fyziologie dýchání	8
2.1.1 Regulace dýchání a role chemoreceptorů	8
2.1.2 Respirační centra	10
2.1.3 Další mechanismy regulující dýchání	12
2.2 Mechanika dýchání	14
2.2.1 Dýchací svaly.....	14
2.2.2 Dechové sektory	17
2.2.3 Efektivní dýchání.....	18
2.3 Ukazatelé dechových funkcí a možnosti jejich měření	19
2.3.1 Spirometrie.....	19
2.3.2 Spiroergometrie.....	20
2.3.3 Zapojení dechových sektorů	29
2.4 Buteykova dechová metoda	35
2.4.1 Historie metody	35
2.4.2 Princip metody a dechová cvičení	36
2.4.3 Studie zkoumající vliv Buteykovy metody.....	37
3 Cíl, výzkumné otázky, hypotézy a úkoly výzkumu.....	42
3.1 Cíl práce	42
3.2 Výzkumné otázky	42
3.3 Hypotézy výzkumu	42
3.4 Úkoly výzkumu	43
4 Metodika výzkumu	44
4.1 Charakteristika souboru	44
4.2 Dotazník pohybové aktivity	46
4.3 Design experimentu	47
4.3.1 Analýza antropometrie	48
4.3.2 Měření pomocí optoelektronické pletysmografie (OEP)	48
4.3.3 Spiroergometrické vyšetření	50
4.3.4 Subjektivní hodnocení dušnosti	52
4.3.5 Dechová intervence	52
4.3.6 Kontrolní skupina	56
4.4 Statistické zpracování	56
5 Výsledky výzkumu	57
5.1 Dotazník pohybové aktivity	57
5.2 Kontrolní pauzy	57
5.3 Ventilační prahy a čas zátěže	59
5.4 Ventilační parametry	60
5.4.1 Hodnoty dosažené při VT1	60
5.4.2 Hodnoty dosažené při VT2	61
5.4.3 Hodnoty dosažené při VO ₂ peak.....	62
5.5 Ukazatelé spotřeby kyslíku a efektivity dýchání	64
5.5.1 Hodnoty dosažené při VT1	64
5.5.2 Hodnoty dosažené při VT2	65
5.5.3 Hodnoty dosažené při VO ₂ peak.....	66

5.6 Zapojení dechových sektorů a dechový cyklus	67
5.6.1 Hodnoty dosažené při VT1	68
5.6.2 Hodnoty dosažené při VT2	70
5.7 Subjektivní ukazatelé dušnosti	73
6 Diskuse	75
6.1 Ventilační parametry	75
6.2 Ventilační prahy a VO_2max	77
6.3 Subjektivní vnímání dušnosti	78
6.4 Mechanismy působení BDM	80
6.5 Zapojení dechových sektorů	83
6.6 Praktický význam a doporučení	84
6.7 Limitace studie	85
6.8 Budoucí výzkum	87
7 Závěr	88
Referenční seznam literatury	91
Seznam obrázků	107
Seznam tabulek	108
Poznámkový aparát	109
Přílohy	111

1 Úvod

Dýchání je základní fyziologický proces, který zajišťuje přísun kyslíku do organismu a odvod oxidu uhličitého. Přestože je dýchání automatickou funkcí řízenou centrálním nervovým systémem, jeho kvalita a efektivita mohou být významně ovlivněny vnějšími i vnitřními faktory. V posledních desetiletích se vědecké studie stále více zaměřují na možnosti optimalizace dechového vzoru a jeho potenciální přínos pro zdraví a fyzickou výkonnost. Jednou z metod, která si získala pozornost odborníků i široké veřejnosti, je Buteykova dechová metoda (BDM), vyvinutá v polovině 20. století ruským lékařem Konstantinem Buteykem.

Buteykova metoda se zaměřuje na vědomou regulaci dechu, zejména na jeho redukci, čímž dochází ke změnám ve ventilaci a metabolické odpovědi organismu. Hlavním principem metody je předpoklad, že moderní životní styl vede k nadměrnému dýchání, které negativně ovlivňuje výměnu plynů a může přispívat k rozvoji různých onemocnění. Snížení dechového objemu a frekvence by podle této teorie mělo vést ke zvýšení tolerance organismu na oxid uhličitý, zlepšení efektivity využití kyslíku ve tkáních a optimalizaci dechové práce při zatížení.

Vědecké studie již potvrdily pozitivní vliv Buteykovy metody na pacienty s respiračními onemocněními, jako je astma či chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN). Výzkumy ukazují, že aplikace této metody může vést ke snížení potřeby medikace, zvýšení klidového parciálního tlaku CO_2 a zlepšení subjektivního vnímání dušnosti. Méně je však známo o potenciálních výhodách této metody u zdravých jedinců, a to jak u fyzicky aktivních, tak u neaktivních osob.

Tato disertační práce se proto zaměřuje na analýzu vlivu šestitýdenní intervence Buteykovy metody na ventilační parametry a zapojení dechových sektorů u zdravé populace. Výzkum je rozdělen na dvě hlavní skupiny participantů – aktivní a neaktivní jedince – s cílem zjistit, zda se účinky této metody liší v závislosti na úrovni fyzické aktivity.

Studie využívá pokročilé metody měření dýchacích funkcí, včetně optoelektronické pletysmografie (OEP) pro sledování zapojení jednotlivých dechových sektorů, a spiroergometrického vyšetření k hodnocení ventilačních parametrů, ventilačních prahů a celkové efektivity dýchání během zátěže. Experimentální design

zahrnuje randomizované rozdělení participantů do experimentální a kontrolní skupiny s pretest-posttest srovnáním.

V teoretické části práce jsou podrobně rozebrány fyziologické principy dýchání, mechanika dechových pohybů, regulace ventilace a ventilační parametry. Dále je představena historie a teoretické základy Buteykovy metody, včetně přehledu dosavadních studií zabývajících se jejím vlivem na respirační funkce. Metodická část popisuje detailní postup experimentu, včetně kritérií výběru participantů, aplikovaných dechových cvičení a použitého přístrojového vybavení.

Cílem této práce je nejen přispět k lepšímu pochopení efektivity Buteykovy metody v kontextu zdravé populace, ale také poskytnout podklady pro její případné širší využití v prevenci respiračních dysfunkcí a optimalizaci sportovní výkonnosti. Výsledky mohou být relevantní pro sportovní trenéry, fyzioterapeuty i lékaře zabývající se respirační rehabilitací.

Tato disertační práce se tak snaží odpovědět na otázku, zda Buteykova metoda může představovat účinný nástroj nejen pro léčbu respiračních onemocnění, ale i pro zlepšení ventilačních funkcí a dýchací efektivity u zdravé populace.

2 Teoretická východiska zkoumaného problému

2.1 Fyziologie dýchání

Dýchání je základní životní funkcí, která probíhá přirozeně a spontánně, přesto mu ve většině běžného života nevěnujeme dostatečnou pozornost. I když je dech zdrojem života, často si neuvědomujeme jeho vliv na naše fyzické, psychické a celkové zdraví. Jak zdůrazňuje Hall (2016), přirozený akt dýchání se stává pro mnohé samozřejmostí, přičemž zapomínáme na jeho klíčovou roli v udržování homeostázy. V souladu s tím autoři jako Clifton-Smith a Rowley (2011) poukazují na to, že poruchy dechového vzoru mohou signalizovat počáteční dysfunkce v muskuloskeletálním systému, fyziologických procesech nebo psychických funkcích. Dýchání tak představuje nejen nepostradatelný mechanismus pro zajištění metabolických potřeb těla, ale i indikátor celkového zdraví a rovnováhy.

Historicky a v různých kulturních tradicích hraje dech významnou roli jako symbol života a energie. Slova jako „spiritus“ (latinsky), „mana“ (v polynéštině) nebo „ruach“ (hebrejsky) vyjadřují nejen akt dýchání, ale i duchovní podstatu a sílu života. Již ve starověkých kulturách, například v tradiční čínské a indické literatuře, byly popsány techniky vědomého dýchání jako prostředek k posílení zdraví a prodloužení života, přičemž pránájáma, praxe vědomého dýchání v indické védské tradici, zahrnovala pomalé, hluboké a brániční dýchání (Morse, 1934). Tento přístup k dýchání jako k nástroji pro dosažení rovnováhy a dlouhověkosti přetrvává v mnoha kulturách dodnes.

V antickém Řecku byla také vyvinuta teorie o dýchání, která se později stala základem pro moderní fyziologii. Erasistratos a Galénos, významní představitelé této éry, se zabývali cirkulací vzduchu a krve, i když jejich teorie nebyly zcela správné, představovaly důležitý krok k pochopení dýchacího systému (Fitzgerald & Cherniack, 2011). Znalost dýchání jako fundamentálního procesu pro život tedy není novým fenoménem, ale součástí lidského vědění již tisíce let, což zdůrazňuje jeho zásadní význam v kontextu zdraví, kultury i vědy.

2.1.1 Regulace dýchání a role chemoreceptorů

Regulace dýchání je komplexní proces, jehož hlavním cílem je zajistit adekvátní výměnu plynů v plicích a udržet homeostázu metabolických potřeb organismu. Tento proces zahrnuje řízení ventilace, která odpovídá aktuálnímu metabolickému stavu, a to jak v klidovém režimu, tak při fyzické zátěži (Katch et al., 2010; Várnay et al., 2020).

Hlavním mechanismem, který reguluje ventilaci, je zpětnovazebný chemoreflex, jenž reaguje na změny krevních plynů a acidobazické rovnováhy. Tento reflex je úzce propojen s dalšími regulačními vstupy, mezi které patří informace z mechanoreceptorů v plicích, proprioreceptorů ve svaích a centrální motorické řízení (Nicolò & Sacchetti, 2023). Centrální a periferní chemoreceptory snímají změny v PaO_2 , PaCO_2 a koncentraci H^+ iontů a přenášejí signály do respiračních center mozkového kmene. Tato centra poté koordinují činnost dýchacích svalů, což vede k úpravě hloubky a frekvence dýchání (Várnay et al., 2020).

Ventilační odpověď na fyzickou zátěž je výsledkem složité interakce mezi chemickými, mechanickými a neurálními podněty. Chemoreceptory reagují na změny v krevních plynech, zatímco mechanoreceptory a proprioreceptory poskytují informace o aktuálním stavu plic a svalové aktivity. Tyto podněty jsou integrovány v centrálních dechových centrech, která upravují ventilaci tak, aby odpovídala metabolickým nárokům. Tento mechanismus zajišťuje, že i při vysoké fyzické zátěži je zachována rovnováha mezi příjmem kyslíku a eliminací oxidu uhličitého (Katch et al., 2010; Nicolò et al., 2017).

Periferní chemoreceptory

Periferní chemoreceptory představují samostatná tělíska s vlastním bohatým cévním zásobením a vysokým krevním průtokem, což zajišťuje jejich schopnost rychlé reakce na změny v chemickém složení arteriální krve. Tyto receptory se nacházejí bilaterálně v oblasti bifurkace *arteria carotis communis* (karotická tělíska) a v oblouku aorty (aortální tělíska). Jejich hlavní funkcí je monitorování PaCO_2 , koncentrace H^+ iontů, a pokles PaO_2 (Várnay et al., 2020).

Periferní chemoreceptory plní funkci „systému včasného varování," který signalizuje pokles kyslíkového tlaku. Kromě toho stimulují ventilaci v reakci na zvýšenou teplotu, snížení krevního tlaku nebo možný pokles hladiny draslíku v oběhu (Katch et al., 2010). Důležitým aspektem je, že koncentrace H^+ iontů je ovlivněna parciálním tlakem CO_2 v arteriální krvi, přičemž existuje určitá prahová hodnota, pod níž nedochází ke stimulaci těchto receptorů (Várnay et al., 2020).

Periferní chemoreceptory reagují především na hypoxii, kdy dochází ke snížení PaO_2 z normálních hodnot (přibližně 20 kPa) na hodnoty kolem 6,7 kPa (Bartůňková et al., 2013). Tato odpověď není lineární; při dosažení hypoxických

hodnot periferní chemoreceptory stimulují ventilaci na hodnotu 1,5–1,7násobku klidové ventilace. Na rozdíl od toho centrální chemoreceptory reagující na hyperkapnii (zvýšený PaCO_2) mohou zvýšit alveolární ventilaci až desetinásobně. Je však klíčové zdůraznit, že pouze periferní chemoreceptory mají schopnost detekovat pokles PaO_2 a jejich činnost je nezastupitelná pro udržení ventilace při hypoxických podmínkách (Várnay et al., 2020).

Vlákna periferních chemoreceptorů přenášejí vzruchy do respiračních neuronů mozkového kmene, kde dochází k integraci těchto podnětů s ostatními regulačními mechanismy. Tímto způsobem periferní chemoreceptory zajišťují efektivní přizpůsobení ventilace na měnící se podmínky vnitřního i zevního prostředí (Várnay et al., 2020).

Centrální chemoreceptory

Centrální chemoreceptory jsou lokalizovány v oblasti prodloužené míchy, v těsné blízkosti respiračního centra, a hrají klíčovou roli v regulaci ventilace prostřednictvím přímého ovlivňování aktivity respiračních center v mozkovém kmeni, konkrétně v prodloužené míše a pontu. Na rozdíl od periferních chemoreceptorů, které reagují na změny koncentrací CO_2 a H^+ iontů v arteriální krvi, centrální chemoreceptory monitorují tyto parametry v intersticiální tekutině (IST) mozkového kmene a v mozkomíšním moku (Várnay et al., 2020).

U vědomých jedinců je reakce ventilace na změny pH v intersticiální tekutině mozku velmi citlivá. Například pokles pH mozkomíšního moku (CSF) z hodnoty 7,30 na 7,25 může způsobit zdvojnásobení alveolární ventilace, což ukazuje na vysokou citlivost tohoto reflexního mechanismu. Je zajímavé, že vztah mezi alveolární ventilací a pH IST zůstává podobný při stimulaci způsobené jak metabolickými acidobazickými poruchami, tak i při primární stimulaci CO_2 (Nattie & Li, 2012).

Lze konstatovat, že periferní chemoreceptory reagují rychleji i na malé změny v parciálním tlaku CO_2 , zatímco centrální chemoreceptory vykazují pomalejší odezvu, avšak jejich vliv na ventilaci je výrazně silnější. Periferní chemoreceptory tedy hrají zásadní roli při okamžité reakci na změny, zatímco centrální chemorecepční systém přebírá dominantní úlohu v regulaci ventilace v pozdějších fázích (Várnay et al., 2020).

2.1.2 Respirační centra

Hlavní centrum regulace dýchání, zahrnující inspirační a expirační oblasti, je lokalizováno v prodloužené míše, zatímco nadřazená apneustická a pneumotaxická

centra se nacházejí ve Varolově mostu (Bartůňková et al., 2013). Současné poznatky však ukazují, že respirační centra nejsou izolované anatomické struktury, ale spíše funkční jednotky tvořené propojenými skupinami neuronů, které se vzájemně ovlivňují. Aktivita těchto center je modulována širokým spektrem vstupů, včetně informací z chemoreceptorů sledujících hladiny PaCO_2 , PaO_2 a H^+ , signálů z centrálního nervového systému, receptorů v plicích, svalech a dalších senzoričtých zdrojů (Várnay et al., 2020).

Respirační centra v prodloužené míše

V prodloužené míše vzniká základní dechový vzor, který určuje trvání nádechu a výdechu, dechové objemy a průtoky, z nichž se formuje celková ventilace. Za optimální dechový vzor se považuje taková dechová frekvence, která vyžaduje nejmenší dechovou práci (Várnay et al., 2020).

Dorzální respirační skupina (DRS, DRG, DIG)

Tato skupina neuronů je umístěna v dorzální části prodloužené míchy. Její aktivita je ovlivňována vstupy z periferních chemoreceptorů a dalších receptorů, které přenášejí signály prostřednictvím bloudivého a jazykohltanového nervu. Dorzální respirační skupina je klíčová pro generování inspiračních pohybů a základního rytmu dýchání (Gilbert et al., 2014).

Ventrální respirační skupina (VRS, VRG, VEG)

Ventrální skupina neuronů je rovněž lokalizována v prodloužené míše a podílí se jak na inspiračních, tak expiračních procesech. Během klidového dýchání zůstává neaktivní, ale při zvýšené ventilační potřebě stimuluje expirační svaly břišní stěny, což umožňuje účinnou ventilaci během náročných situací, například při fyzické zátěži (Gilbert et al., 2014).

Respirační centra v pontu

Respirační centra nacházející se v pontu, známá také jako nadřazená centra, ovlivňují činnost respiračních center v prodloužené míše. Přestože nejsou nezbytná pro spontánní vznik dechového rytmu, hrají významnou roli v regulaci trvání inspiračních a expiračních fází, čímž ovlivňují frekvenci dýchání. Jejich hlavní funkcí je zajištění plynulého přechodu mezi nádechem a výdechem (Várnay et al., 2020; Bartůňková et al., 2013). Tato centra lze rozdělit na pneumotaxické a apneustické centrum.

Pneumotaxické centrum se anatomicky nachází v oblasti *nucleus parabrachialis medialis* a *nucleus Kolliker-Fuse*. Pneumotaxické centrum reguluje přechod mezi

nádechem a výdechem. Experimenty ukázaly, že elektrická stimulace této oblasti může přerušit inspirační fázi a zahájit expirační cyklus (Fung & John, 1994). Zvýšená aktivita tohoto centra vede ke zkrácení trvání inspirační fáze prostřednictvím dřívějšího ukončení inspiračního rampového signálu, což má za následek zvýšení dechové frekvence. Naopak při snížené aktivitě pneumotaxického centra dochází k prodloužení inspirační fáze, která je charakteristická hlubokým nádechem, následovaným krátkým a omezeným výdechem. Tím se projevuje jeho zásadní úloha v jemné regulaci respiračního rytmu a udržování efektivní ventilace (Várnay et al., 2020).

Apneustické centrum, lokalizované v dolní části Varolova mostu, stimuluje inspirační centrum a podporuje jeho činnost. Namísto okamžitého vyslání signálů k náhlé kontrakci inspiračních svalů vede aktivace apneustického centra k postupnému zvyšování frekvence impulsů směřujících k těmto svalům. Tento proces prodlužuje inspirační rampový signál, který je definován frekvencí nervové aktivity premotorických inspiračních drah. Délka rampového signálu odpovídá trvání inspirační fáze, zatímco jeho sklon určuje dobu dosažení maximálního inspiračního objemu. Výsledkem stimulace apneustického centra jsou prodloužené inspirační fáze, které mohou vést k hlubokým a dlouhotrvajícím nádechům (Werner et al., 2017).

Lze tedy konstatovat, že respirační centra lokalizovaná v prodloužené míše zajišťují tvorbu základního dechového vzoru, který určuje rytmus a vzorec dýchání. Naopak centra v oblasti Varolova mostu hrají klíčovou roli v jeho modulaci, čímž ovlivňují frekvenci, hloubku a plynulost dechových pohybů (Várnay et al., 2020).

2.1.3 Další mechanismy regulující dýchání

Další mechanismy podílející se na regulaci dýchání zahrnují například aktivitu proprioreceptorů lokalizovaných ve svalech a kloubech, které se aktivují při aktivních i pasivních pohybech končetin (Bartůňková et al., 2013; Katch et al., 2010; Várnay et al., 2020). Tyto receptory umožňují rychlou úpravu ventilace, která předchází nástupu účinků chemoreflexu. Na druhé straně metaboreceptory reagují na přítomnost metabolitů vznikajících během svalové aktivity, jako jsou laktát nebo H^+ ionty (Várnay et al., 2020).

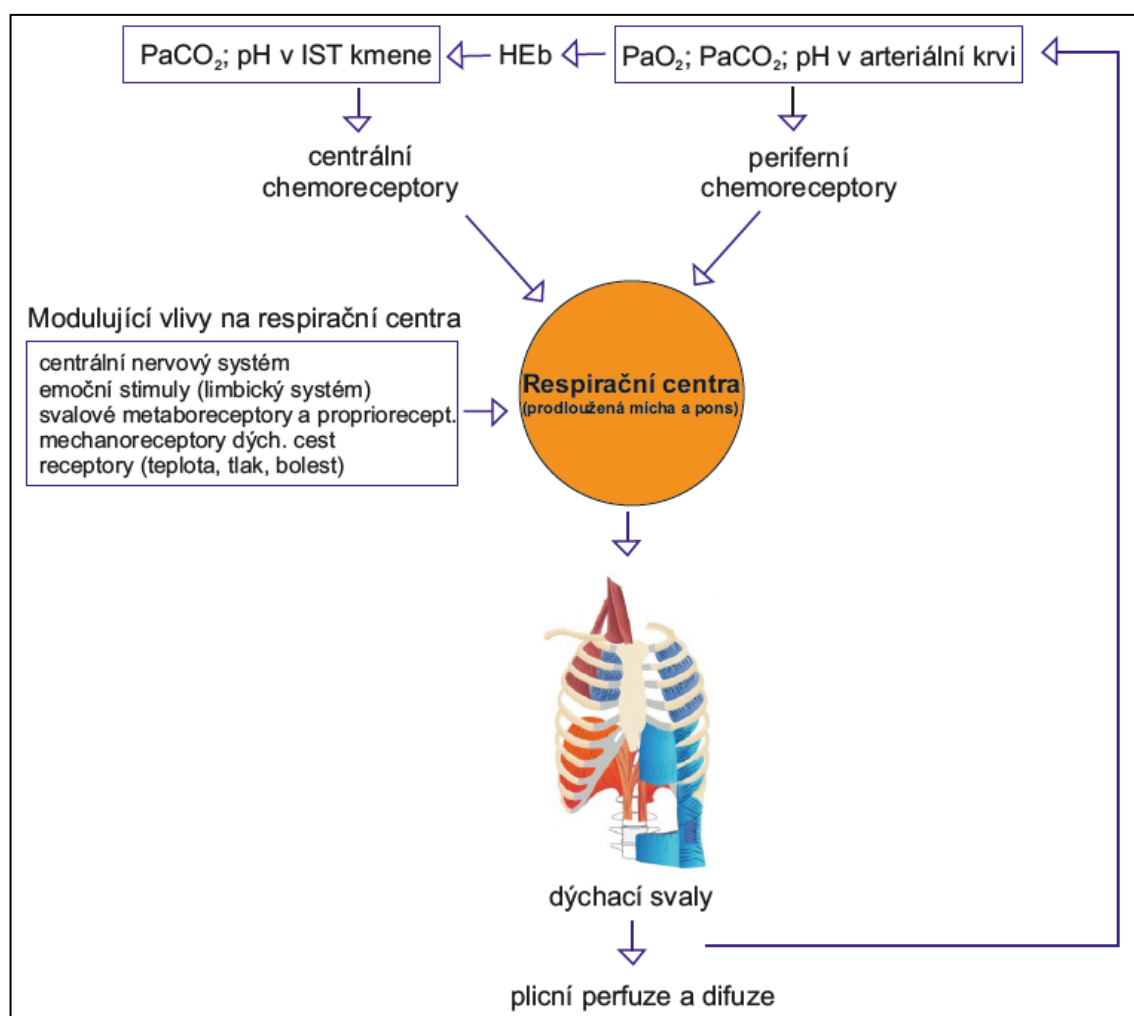
Regulace dýchání je dále ovlivňována mechanoreceptory ve stěnách bronchů a bronchiolů, které reagují na roztažení dolních dýchacích cest. Tyto podněty jsou vedeny prostřednictvím *n. vagus* do dorzální skupiny respiračního centra v prodloužené

míše, což se označuje jako Hering-Breuerův inflační reflex (Bartůňková et al., 2013; Várnay et al., 2020).

Významnou roli v řízení dýchání hrají rovněž korová a podkorová centra, která umožňují volní kontrolu dýchacích pohybů. Emoční podněty přenášené limbickým systémem mají navíc klíčový vliv na mimovolní regulaci respiračních funkcí (Bartůňková et al., 2013). Obrázek 1 znázorňuje zjednodušené schéma regulace dýchání.

Obrázek 1

Zjednodušené schéma regulace dýchání



(modifikováno dle Várnay et al., 2020; Welch et al., 2019)

2.2 Mechanika dýchání

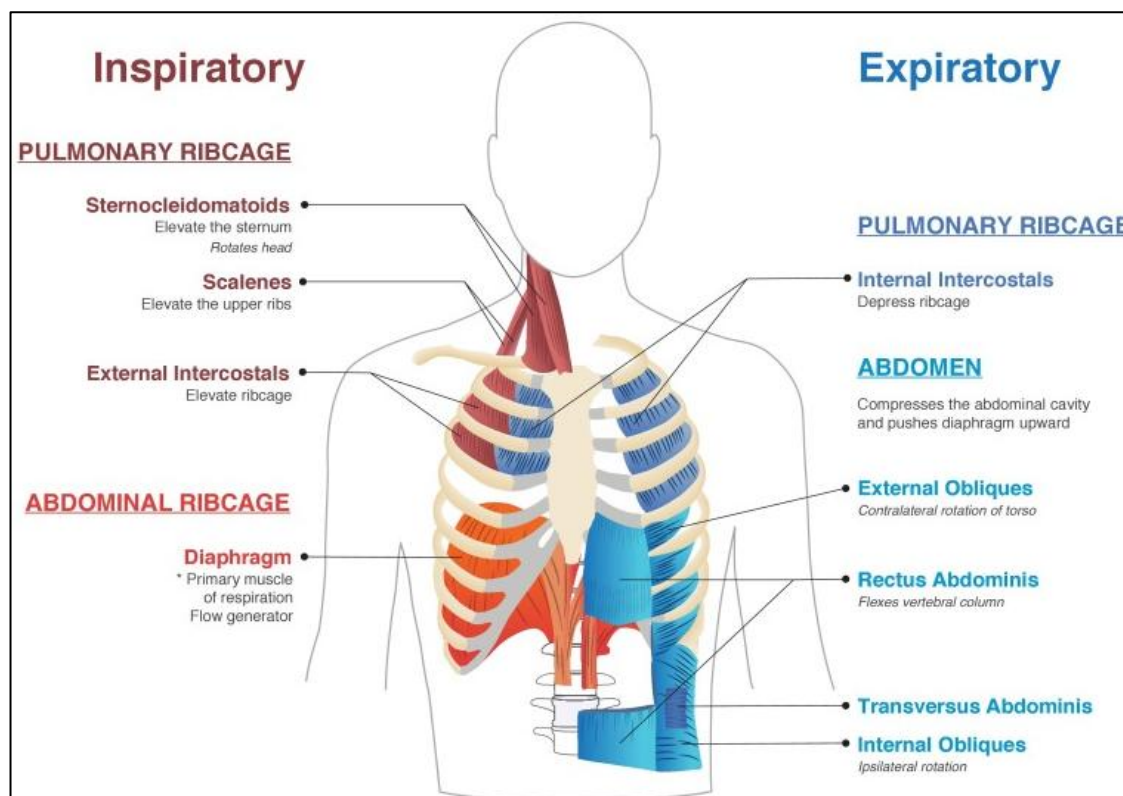
2.2.1 Dýchací svaly

Průměrný člověk vykoná přibližně 10 až 15 dechových cyklů za minutu, což činí téměř 21 000 dechů za den. Tento proces je umožněn změnami tvaru hrudníku, které zajišťují dýchací svaly připojené na jeho stěny (Courtney, 2009).

Dýchací svaly se skládají ze tří hlavních skupin: bránice, krční a mezižební svaly a břišní svaly. Pro efektivní a zdravé dýchání je zásadní, aby tyto svalové skupiny fungovaly koordinovaně. V klidovém stavu vytváří dýchací svaly během nádechu negativní tlak, zatímco výdech probíhá převážně pasivně. Dýchací svaly mohou být také rozděleny dle jejich funkce (Obrázek 2) (Welch et al., 2019).

Obrázek 2

Svalové skupiny podílející se na dýchání



(Welch et al., 2019, str. 103)

Mezi nádechové svalstvo řadíme: zdvihač hlavy, svaly kloněné, zevní mezižební svaly a bránice. Naopak mezi výdechové svalstvo řadíme: vnitřní mezižební svaly, zevní šikmý sval břišní, přímý a příčný sval břišní (Welch et al., 2019). Autoři Chaitow et al. (2014) dále rozdělují nádechové a výdechové svalstvo do dvou skupin – primární svaly a pomocné svaly (Tabulka 1).

Tabulka 1

Primární a pomocné dýchací svaly

Svaly při dýchání	Primární svaly	Pomocné svaly
Nádech	<i>diaphragma</i>	<i>m. sternocleidomastoideus</i>
	<i>mm. intercostales interni</i> <i>parasternalis</i>	<i>m. trapezius superior</i>
	<i>mm. intercostales externi</i>	<i>m. serratus anterior</i>
	<i>mm. levatores costarum</i>	<i>m. latissimus dorsi</i>
	<i>mm. scaleni</i>	<i>m. serratus posterior superior</i>
		<i>m. iliocostalis</i>
		<i>m. subclavius</i>
		<i>m. omohyoideus</i>
Výdech	<i>diaphragma</i>	<i>mm. intercostales interni interossei</i>
		<i>mm. abdominales</i>
		<i>m. transversus thoracis</i>
		<i>mm. subcostales</i>
		<i>m. iliocostalis lumborum</i>
		<i>m. quadratus lumborum</i>
		<i>m. serratus posterior inferior</i>
		<i>m. latissimus dorsi</i>

(upraveno dle Gilbert et al., 2014)

Podle Neumannové a Koleka (2018) může být různorodost v klasifikaci hlavních a pomocných dýchacích svalů mezi autory způsobena rozdílnými typy svalové kontrakce (např. koncentrické a excentrické kontrakce) a proměnlivou aktivací dýchacích svalů v průběhu dechového cyklu. Je nezbytné brát v úvahu, že například břišní svaly, primárně výdechové, se mohou podílet i na nádechu. Tato aktivace přispívá ke stabilizaci bodu opory (*punctum fixum*) pro bránici, čímž jí umožňuje optimální funkci a plné zapojení během nádechu.

Hlavním dýchacím svalem je bránice (Dylevský, 2019). Bránice je plochý, kopulovitý sval, který působí jako horizontálně uložená přepážka mezi hrudní a břišní dutinou. Z vrcholu, označovaném jako *centrum tendineum*, se rozbíhají svalová vlákna, která pokračují k žeberním chrupávkám, koncům 11. a 12. žebra a žeberním obloukům. V oblasti páteře se bránice napojuje na struktury nazývané *crura diaphragmatis*. Část její

kopule je propojena s vazivovými strukturami *mediastina*, což mírně omezuje její pohyb směrem dolů. Dále je v kontaktu s *m. iliopsoas* a *m. quadratus lumborum*. Bránice má tvar dvojité klenby, která zasahuje hluboko do hrudní dutiny. Pravá klenba sahá do čtvrtého mezižebří, zatímco levá do pátého mezižebří. Mezi nimi je snížení dosahující k úrovni mečovitého výběžku hrudní kosti. Prostupy v bránici umožňují průchod několika důležitým strukturám, např. aortě, jícnu a dolní duté žíle. Bránice plní dvě klíčové funkce: je hlavním inspiračním svalem a podílí se na vzniku břišního lisu. Při nádechu dochází k pohybu zejména kopulí bránice, zatímco *centrum tendineum* zůstává na místě. Současně se aktivují i zevní mezižeberní svaly (*mm. intercostales externi*). Svalové snopce bránice se při nádechu stahují, čímž zvyšují tlak na obsah břišní dutiny, což vede k tlaku směřujícímu až do oblasti pánve. Aby se zabránilo prolapsu pánevních orgánů, pánevní dno se při tomto pohybu také kontrahuje. Bránice a pánevní dno pak fungují jako dva protichůdné „písty“, které roztlačují obsah břišní dutiny do všech stran. Díky rozlehlé ploše (přibližně 460–470 cm²) bránice přispívá ke zvýšení nitrobřišního tlaku a působí také na bederní páteř. Příčný břišní sval (*m. transversus abdominis*) se přitom aktivuje excentricky, čímž stabilizuje obsah břicha a omezuje jeho pohyb vpřed, což vede ke zvětšení obvodu pasu během nádechu (Dylevský, 2019; Malátová, 2019; Véle, 1997, 2006). V klidovém stavu je hlavním generátorem průtoku vzduchu během dýchacího cyklu a podílí se na zhruba 70 % dechového objemu (Welch et al., 2019). Bránice, spolu s příčným svalem břišním, hraje klíčovou roli nejen v procesu dýchání, ale také v udržení správné postury (Smith et al., 2006). Při chronických respiračních onemocněních, stejně jako při hyperkapnii, je aktivace těchto svalů narušena, což může vést k poruše dechového vzoru a narušení stability páteře (Gilbert et al., 2014).

Zbývající dvě skupiny dýchacích svalů – krční a mezižeberní svaly – se také podílejí na ventilaci tím, že působí na hrudní koš (Perry et al., 2010). Nadměrná aktivace těchto svalů je označována jako „dominantní hrudní dýchání“ (Gilbert et al., 2014), a bývá spojována s chronickým dýcháním ústy (Corrêa & Bérzin, 2008), astmatem a panickou poruchou (Boulding et al., 2016). Tento typ dýchání je obecně považován za dysfunkční, protože dýchací svaly v oblasti podklíčku mohou být chronicky přetěžovány, což může vést k nepříznivým strukturálním změnám (Gilbert et al., 2014). Dýchání prostřednictvím bránice je z hlediska fyziologie výrazně efektivnější díky specifickému tvaru plic. Plíce jsou v horní části úzké a směrem k dolním lalokům se rozšiřují, což vede k vyššímu

průtoku krve právě v dolních lalocích ve srovnání s horními. Při povrchním, rychlém dýchání horní částí hrudníku, které je typické pro osoby s chronickou hyperventilací, zůstávají dolní části plic nevyužity. To omezuje objem kyslíku, který může být transportován do krve, a zároveň způsobuje zvýšený únik CO₂. Navíc aktivace horního hrudního dýchání stimuluje sympatický nervový systém, což spouští reakci „boj nebo útěk“. Tento mechanismus zvyšuje úroveň stresu a dále prohlubuje dechovou aktivitu, čímž vzniká začarovaný cyklus, který dále zvyšuje respirační zátěž (McKeown, 2015). Tento typ dýchání rovněž přispívá ke snížení koncentrace kyselin v krvi, což vede ke zvýšení pH krve a posunu acidobazické rovnováhy směrem k alkalóze. Jedním z dopadů této změny pH je částečná kontrakce hladkého svalstva, která zužuje průsvit tělních trubicových struktur, včetně krevních cév (Gilbert et al., 2014).

2.2.2 Dechové sektory

Dle Dylevského (2009) je možné rozlišit tři základní dechové sektory. Prvním je horní dechový sektor, známý také jako horní hrudní, klavikulární či podklíčkový, který sahá od obratle C₄ po Th₃–Th₄ a rozprostírá se od *apertura thoracis superior* k pátému žebro. Střední dechový sektor, nazývaný dolní hrudní nebo kostální, se nachází mezi pátým a dvanáctým žebrem v oblasti hrudní páteře Th₆–Th₁₂. Dolní dechový sektor, neboli abdominální, je pak situován pod *apertura thoracis inferior*.

Autoři Kenyon et al. (1997) navrhuji podobné dělení s termíny „pulmonary ribcage“ (RCp), „abdominal ribcage“ (RCa) a „abdomen“ (Ab). RCp se rozkládá od klíčních kostí (*claviculae*) po transversální linii na úrovni processus xiphoideus. Střední sektor, označovaný jako RCa, sahá od této linie až k dolnímu okraji *arcus costalis*, přičemž kaudální hranici RCa tvoří žeberní oblouk, který sestupuje dolů od *processus xiphoideus* a horizontálně pokračuje k nejkaudálnější oblasti zadní části hrudníku. Břišní sektor „abdomen“ (Ab) je definován jako oblast táhnoucí se kaudálně od dolního okraje hrudního koše až k úrovni *spina iliaca anterior superior*.

Důvodem pro takto přesné rozdělení dechových sektorů je funkční anatomie dýchacích svalů. Bránice a některé břišní svaly, jako *m. obliquus internus abdominis* či *m. transversus abdominis*, se upínají přímo na 7.–12. žebro, kde působí jak inflatačně (zvětšují objem), tak deflatačně (snižují objem) na břišní část hrudního koše, avšak neovlivňují plicní část. Naopak, nediaphragmatické inspirační svaly, jako *mm. scaleni*, parasternální mezižeberní svaly (*mm. intercostales interni*) a *m. sternocleidomastoideus*,

se upínají na 1.–6. žebro, čímž podporují roztažení plicní části hrudního koše, zatímco na břišní část tento efekt nemají (Kenyon et al., 1997).

Tento přístup ke klasifikaci dechových sektorů tak reflektuje nejen topografické členění, ale i funkční rozdíly v účinku jednotlivých svalových skupin na struktury hrudního koše.

2.2.3 Efektivní dýchání

Efektivní dýchání z pohledu mechaniky je proces, při kterém se účinnost respiračního systému zvyšuje díky pohybům bránice. Bránice se při nádechu posouvá kaudálně do břišní dutiny, což zvětšuje vertikální rozměr hrudníku, zatímco elevace a laterální pohyb žeber umožňují expanzi příčných rozměrů hrudníku. Při výdechu se bránice vrací do své původní klenuté polohy a hrudní i břišní stěna se uvolňují do výchozích pozic, což podporuje přirozený a efektivní výdech. V optimálním zdravotním stavu je ideální pravidelný rytmický dechový vzorec s frekvencí 10–14 dechů za minutu, přičemž poměr mezi dobou nádechu a výdechu činí přibližně 1:1,5–2, což zajišťuje vyvážený poměr mezi příjmem kyslíku a eliminací oxidu uhličitého (Gilbert et al., 2014). Tento proces by měl probíhat s minimální mechanickou zátěží pro dýchací svalstvo, aby byla zajištěna efektivní výměna plynů (Jones et al., 2003). Pokud je však tento ideální dechový vzorec narušen, mohou se jako nový standard ustálit maladaptivní a potenciálně neefektivní respirační mechanismy, což vede k poruchám dechového vzoru (Gilbert et al., 2014).

Způsob dýchání je u každého jedince jedinečný, formovaný nejen fyzickou konstitucí, ale také životním stylem, pohlavím a věkem. U dětí a mužů je pozorován vyšší podíl bráničního dýchání ve srovnání se ženami. Při optimálním dýchacím vzoru jsou aktivní všechny dechové sektory, přičemž dominantní roli hraje brániční sektor. Tento typ smíšeného dýchání, kdy brániční sektor představuje nejefektivnější složku dýchacího procesu, je ideální pro klidové dýchání u zdravých jedinců. Pokud však v klidu převládá hrudní dýchání, může být takový vzor považován za patologický (Bursová, 2005). Podle Laytona et al. (2011) činí podíl zapojení V_{RCp} při klidovém dýchání u mužů 40 % a u žen 51 %, zatímco součet V_{RCa} a V_{Ab} dosahuje u mužů 60 % a u žen 49 %.

Dalším z klíčových aspektů optimálního dechového vzorce je dýchání nosem. Na rozdíl od ústní dutiny, která nemá schopnost filtrovat vzduch, nosní dutina vykonává několik důležitých funkcí, jako je ohřev, zvlhčování a filtrace vdechovaného vzduchu

(Ferneini et al., 2021). Dýchání nosem vytváří dýchacímu systému odpor, který je přibližně dvakrát vyšší než při dýchání ústy. Tento zvýšený odpor během nádechu i výdechu má za následek řadu fyziologických výhod. Nosní dýchání vede ke zvýšení celkového plicního objemu (Swift et al., 1988), a díky negativnímu tlaku, který musí být generován, dochází k vyšší aktivaci bránice (Trevisan et al., 2015). Dýchání nosem rovněž prodlužuje výdechovou fázi respiračního cyklu (Ayoub et al., 1997), což zvyšuje účinnost relaxační reakce organismu (Cappo & Holmes, 1984).

Při dýchání nosem dochází k několika fyziologickým změnám v parametrech plynů v krvi. Zvyšuje se hladina parciálního tlaku kyslíku v krvi o přibližně 10 % (Swift et al., 1988), a současně dochází k nárůstu parciálního tlaku oxidu uhličitého na konci výdechu, který je považován za spolehlivý nepřímý ukazatel parciálního tlaku CO_2 v arteriální krvi (Morton et al., 1995; Tanaka et al., 1988). Tento jev je dále podpořen snížením parciálního tlaku kyslíku na konci výdechu (PETO_2) během nosem řízeného dýchání (Dallam et al., 2018; Rappelt et al., 2023). Svou roli zde může hrát i oxid dusnatý, který je produkován epitelem paranazálních dutin, má silné bronchodilatační a vasodilatační účinky a vykazuje rovněž antivirové a antibakteriální vlastnosti (Ali-Ahmad et al., 2003). Tento plyn se difunduje do nosní dutiny, kde je následně vdechován do plic, což přispívá ke zlepšení transportu kyslíku v těle (Arnal et al., 1999).

2.3 Ukazatelé dechových funkcí a možnosti jejich měření

2.3.1 Spirometrie

Určování plicních objemů má své počátky již v roce 1800, kdy Davy využil metodu ředění vodíkového plynu k měření reziduálního objemu. Praktické základy moderní spirometrie však položil Reverend John Hutchinson v roce 1844. Hutchinson nejenže sestrojil první spirometr, ale také definoval expirační vitální kapacitu a vytvořil normativní hodnoty na základě měření přibližně 2000 osob různých věkových skupin z Anglie. Zjistil pozitivní korelaci vitální kapacity s výškou, a naopak negativní vliv věku, nadměrné hmotnosti a plicních onemocnění (Morris, 1976).

Spirometrie je dnes jednou z nejčastěji používaných metod pro základní hodnocení funkce dýchacího systému. Podobně jako měření krevního tlaku poskytuje důležité informace o stavu kardiovaskulárního systému, spirometrie slouží ke screeningu a diagnostice funkce plic (Hrušková et al., 2021). Mezi hlavní účely spirometrie patří

záznam vitální kapacity, přičemž ještě důležitější je měření usilovné vitální kapacity (Morris, 1976).

Vitální kapacita (VC) představuje maximální dechový objem dosažený jednorázovým nádechem a výdechem v klidových podmínkách. Měření se provádí jako maximální výdech po předchozím maximálním nádechu. U netrénovaných mužů se její hodnota pohybuje mezi 4,5–5 litry, zatímco u netrénovaných žen činí přibližně 3,5–4 litry. U vysokých jedinců se běžně vyskytují hodnoty vitální kapacity v rozmezí 6 až 7 litrů, přičemž u některých profesionálních sportovců s větší tělesnou výškou byly zaznamenány hodnoty přesahující 8 litrů. Přesnější interpretaci však poskytuje relativní hodnota, která zohledňuje základní charakteristiky jedince, jako jsou pohlaví, věk, výška a tělesná hmotnost (Katch et al., 2010).

Jak již bylo zmíněno, v klinické praxi i ve sportovní diagnostice se častěji používá usilovné měření vitální kapacity, při němž se hodnotí rychlost výdechu a síla výdechového svalstva. Tato metoda umožňuje určit **usilovnou vitální kapacitu** (FVC) nebo měřit výdechové objemy v různých časových intervalech, například objem vydechnutý během první sekundy (FEV_1) či během prvních tří sekund (FEV_3) (Bartůňková et al., 2013).

Poměr usilovného expiračního objemu za 1 sekundu k usilovné vitální kapacitě, také označovaný jako **Tiffeneauův index** (FEV_1/FVC), je ukazatelem výdechové síly a celkového odporu vůči proudění vzduchu v dýchacích cestách. U zdravých jedinců se obvykle pohybuje kolem 85 %. V případě závažných obstrukčních plicních onemocnění, jako je emfyzém nebo bronchiální astma, tento poměr často klesá pod 40 % vitální kapacity, což svědčí o výrazném omezení průchodnosti dýchacích cest. Za kritickou hranici obstrukce se v klinické praxi považuje stav, kdy jedinec během první sekundy výdechu nedokáže vydechnout alespoň 70 % své usilovné vitální kapacity (Katch et al., 2010).

2.3.2 Spiroergometrie

Spiroergometrie je laboratorní metoda funkční diagnostiky, která sleduje kardiopulmonální a metabolické změny organismu během standardizované fyzické zátěže. Klíčovým ukazatelem při hodnocení tělesné zdatnosti a výkonnosti je maximální aerobní kapacita, která představuje celkové množství energie dostupné prostřednictvím oxidativní resyntézy ATP (adenosintrifosfátu). Přímé měření tohoto množství energie

však není možné, a proto se v praxi využívají nepřímé parametry úzce spojené s aerobní zdatností. Mezi tyto ukazatele patří maximální spotřeba kyslíku (VO_2max), pracovní účinnost, časová konstanta kinetiky VO_2 a ventilační práh (Heller, 2018).

Podle Bartůňkové et al. (2013) lze při fyzické zátěži rozlišit ukazatele dechových funkcí na ventilační a respirační.

2.3.2.1 VENTILAČNÍ PARAMETRY

Ventilační parametry měřené spiroergometrií se dělí na dynamické a statické. Dynamické parametry, které mají časovou dimenzi, zahrnují minutovou ventilaci, dechovou frekvenci, dechovou rezervu, dobu zadržení dechu, rozepsaný usilovný výdech vitální kapacity a různé průtokové rychlosti. Statické parametry zahrnují dechový objem, inspirační a expirační rezervní objem, vitální kapacitu a reziduální objem.

Statické ventilační parametry:

Dechový objem (VT) označuje množství vzduchu, které je během jednoho dýchacího cyklu vdechnuto nebo vydechnuto. Tento parametr úzce souvisí s dechovou frekvencí a je ovlivněn činností respiračních svalů, které musí překonávat elastický odpor plicní tkáně, vazivových a svalových struktur hrudníku, a odpor dýchacích cest, kde nedochází k výměně plynů (Bartůňková et al., 2013). U zdravých dospělých jedinců v klidových podmínkách se VT pohybuje v rozmezí 0,4 až 1,0 litru vzduchu na jeden dech (Katch et al., 2010), zatímco při středně intenzivním výkonu 1,0–2,0 l a při těžké práci až 2,5–3,0 l (Bartůňková et al., 2013).

Během fyzické aktivity je regulace VT řízena chemickými procesy (Nicolò & Sacchetti, 2023). Jeho úzká vazba na koncentraci oxidu uhličitého v arteriální krvi naznačuje význam chemoreflexní kontroly, kterou Borison et al. (1977) označili za klíčový mechanismus ovlivňující VT. Tento vztah byl opakovaně potvrzen v různých studiích na jedincích vykonávajících zátěž, včetně situací charakterizovaných rychlými změnami fyziologických stavů (Nicolò et al., 2018; Ohashi et al., 2013). Naproti tomu roli centrálního nervového systému nebo aferentní svalové zpětné vazby ve variabilitě VT lze považovat za minimální (Nicolò & Sacchetti, 2023).

Dechový objem je však pouze částí celkového respiračního potenciálu. Po běžném nádechu je možné aktivovat tzv. **inspirační rezervní objem (IRV)**, což je dodatečné množství vzduchu, které lze maximálně vdechnout nad hodnotu VT. IRV se pohybuje mezi 2,5 a 3,5 litry. Podobně po běžném výdechu může jedinec využít

expirační rezervní objem (ERV), což představuje maximální množství vzduchu, které lze vydechnout pod úroveň běžného VT. ERV u průměrného muže činí přibližně 1,0 až 1,5 litru, přičemž u žen je o 10–20 % nižší. Tyto rezervní objemy společně s VT určují flexibilitu plicní ventilace a schopnost organismu přizpůsobit se zvýšené potřebě kyslíku (Katch et al., 2010).

Během fyzické zátěže dochází ke značnému nárůstu VT, který je umožněn využitím částí IRV a ERV, přičemž největší podíl na tomto zvýšení má pokles inspirační rezervy. Tento adaptivní mechanismus zajišťuje efektivnější výměnu plynů a odpovídá na zvýšené metabolické požadavky organismu (Katch et al., 2010). Tímto způsobem se VT stává klíčovým ukazatelem funkční kapacity dýchacího systému při zátěži i v klidu.

Reziduální objem (RV), známý také jako reziduální plicní objem (RLV), představuje množství vzduchu, které zůstává v plicích i po maximálním výdechu. Tento objem nelze běžnými mechanismy vydechnout a slouží k zajištění kontinuity výměny plynů v plicích mezi jednotlivými dýchacími cykly. U mladých dospělých žen se hodnota RV pohybuje v průměru mezi 1,0 a 1,2 litry, zatímco u mužů je o něco vyšší, a to mezi 1,2 a 1,6 litry (Katch et al., 2010).

Dynamické ventilační parametry:

Minutová ventilace (VE) představuje objem vzduchu prodýchaného za jednu minutu, což je klíčový ukazatel efektivity dýchání a schopnosti organismu přizpůsobit se zvýšeným nárokům na ventilaci během fyzické aktivity. V klidovém stavu činí VE přibližně $7\text{--}10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, ale s rostoucí intenzitou zátěže dochází k výraznému nárůstu. U žen se při maximálním zatížení hodnoty VE pohybují kolem $80\text{--}100\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, zatímco u mužů může dosahovat až $100\text{--}130\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Vysoce trénovaní sportovci dosahují při vrcholné fyzické zátěži hodnot mezi $150\text{--}200\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ (Bartůňková et al., 2013; Katch et al., 2010). Navzdory těmto vysokým hodnotám VE zřídka překročí VT 55–65 % vitální kapacity plic (Katch et al., 2010). K mírnému zvýšení VE může dojít před samotným zahájením fyzické aktivity v důsledku předstartovních stavů, což je reakcí organismu na očekávanou zátěž. Během samotného cvičení se VE zvyšuje kombinací nárůstu dechové frekvence a dechového objemu (Bartůňková et al., 2013). Během ustálené fyzické zátěže zdravý respirační systém pečlivě reguluje minutovou ventilaci tak, aby odpovídala aktuálnímu metabolickému požadavku. Tím se zajišťuje rovnováha mezi přívodem kyslíku a odstraňováním oxidu uhličitého v celém organismu (Ferretti et al., 2017). Tento proces

je řízen mimo jiné acidocitlivými kanály v mozkomíšním moku, které reagují na změny koncentrace vodíkových iontů. Tyto kanály udržují hladinu CO_2 v arteriální krvi, a tím i v alveolách, na stabilní hodnotě přibližně 40 mmHg (Ferretti et al., 2022).

K narušení této rovnováhy dochází při překročení respiračního kompenzačního bodu (RCP), známého také jako druhý ventilační práh (VT2). V této fázi se VE začíná zvyšovat nelineárně, a to nad rámec odpovídající produkci CO_2 , až do momentu, kdy zátěž nelze dále udržet, nebo je dobrovolně ukončena. I když regulace VE zahrnuje komplexní soubor vzájemně se doplňujících zpětnovazebních mechanismů, klíčovým regulátorem VE během fyzické zátěže je pravděpodobně právě CO_2 (Ward, 2019).

S minutovou ventilací úzce souvisí **ventilační ekvivalent kyslíku** (VE/VO_2), který představuje množství vzduchu potřebného pro získání jednoho litru kyslíku. U zdravého jedince při submaximálním zatížení je tento poměr přibližně 25:1, zatímco u dětí se může blížit hodnotě 32:1. Vytrvalostní trénovanost však tento ekvivalent snižuje díky efektivnějšímu využití kyslíku (Bartůňková et al., 2013).

Kromě VE/VO_2 se při hodnocení ventilační efektivity využívá **ventilační ekvivalent oxidu uhličitého** (VE/VCO_2), který popisuje vztah mezi minutovou ventilací a produkcí oxidu uhličitého. Tento parametr se nejčastěji vyjadřuje jako sklon přímky lineární regrese mezi VE a VCO_2 (VE/VCO_2 slope či V-slope) během kardiopulmonálního zátěžového testu (CPET) (Brunelli, 2016; Peterman et al., 2020).

Parametr **VE/VCO_2 slope**, známý též jako ventilatory efficiency slope, představuje široce uznávaný ukazatel účinnosti ventilace s prokázaným prognostickým významem (Sun et al., 2002; Várnay et al., 2020). Slouží jako klíčové kritérium pro klasifikaci a zařazení do jednotlivých ventilačních kategorií (Tabulka 2) (Guazzi et al., 2012; Várnay et al., 2020).

Tabulka 2

Ventilační třídy dle VE/VCO_2 slope

Ventilační třída	Hodnota VE/VCO_2 slope
I	< 30
II	30,0–35,9
III	36,0–44,9
IV	≥ 45

(Guazzi et al., 2012)

Strmost směrnice trendu (slope) číselně kvantifikuje závislost VE a VCO_2 v úseku od začátku zátěžové fáze do druhého ventilačního prahu (Várnay et al., 2020). Až do dosažení VT2 má tento vztah lineární průběh, po jeho překročení však přechází v nelineární a sklon výrazně roste, což reflektuje změny v metabolických procesech (Brunelli, 2016).

Další indikátor ventilační efektivity, **sklon efektivity spotřeby kyslíku** (oxygen uptake efficiency slope, OUES), vzniká logaritmickou transformací VE a umožňuje lineární hodnocení vztahu mezi VE a VO_2 . Tento ukazatel byl navržen jako potenciální diagnostický marker, zejména u pacientů se srdečním selháním. Studie autorů Arena et al. (2007) však ukázala, že VE/VCO_2 slope, vypočítaný z kompletních dat CPET, poskytuje přesnější prognostické informace než OUES.

Spojením ukazatelů VE/VO_2 a VE/VCO_2 lze komplexně hodnotit efektivitu ventilačního systému během fyzické zátěže. Tyto parametry umožňují nejen monitorovat výkon zdravých jedinců, ale také odhalovat funkční omezení u osob s kardiopulmonálními onemocněními a přispívat k lepšímu stanovení diagnózy a následné léčby.

Dechová frekvence (BF) je základním ukazatelem respirační činnosti, který vyjadřuje počet dechových cyklů za jednu minutu. Hodnoty klidové dechové frekvence se v literatuře různí – podle Bartůňkové et al. (2013) se pohybují mezi 14–16 nádechy za minutu, zatímco Katch et al. (2010) uvádějí průměrnou hodnotu $12 \text{ n} \cdot \text{min}^{-1}$ u zdravých dospělých jedinců. Při fyzické zátěži dochází ke zvýšení frekvence dýchání; během lehké aktivity se hodnoty pohybují okolo $20\text{--}30 \text{ n} \cdot \text{min}^{-1}$, zatímco při intenzivním cvičení může BF dosáhnout až $40\text{--}60 \text{ n} \cdot \text{min}^{-1}$ (Bartůňková et al., 2013). U elitních sportovců se při maximální zátěži mohou hodnoty zvýšit až na $60\text{--}70 \text{ n} \cdot \text{min}^{-1}$ (Katch et al., 2010).

Průběh změn BF během zátěže vykazuje charakteristický nelineární vztah k intenzitě práce (Nicolò & Sacchetti, 2023). Výrazný nárůst BF je obvykle pozorován při vysokých intenzitách blízko prvního nebo druhého ventilačního prahu, což je fenomén označovaný jako *tachypnoická změna* (Sheel & Romer, 2011). Tento jev je primárně řízen rychlými nervovými mechanismy, které zahrnují centrální řízení (central command) a zpětnovazebné signály z receptorů ve svalech (typu III a IV). Tyto receptory reagují především na mechanické podněty při zátěži, což umožňuje rychlou úpravu BF bez přímé závislosti na chemických faktorech, jako je koncentrace CO_2 (Nicolò & Sacchetti, 2023).

Skutečnost, že dechová frekvence není výrazně ovlivňována metabolickými podněty, je obzvláště patrná při fyzické zátěži u jedinců s onemocněními narušujícími metabolickou regulaci ventilace. Například u pacientů s McArdleovou chorobou je dobře zdokumentováno, že během zátěžového testu nedochází k rozvoji metabolické acidózy (Hagberg et al., 1982). Přesto u těchto pacientů dochází k výraznému zvýšení BF, přičemž tento nárůst nastává dokonce dříve než u zdravých jedinců (Nicolò & Sacchetti, 2023; Voduc et al., 2004).

Tento princip platí i za experimentálních podmínek, kdy jsou chemické podněty ovlivňovány například inhalací specifických směsí plynů (Clark et al., 1980) nebo pasivním pohybem končetin (Girardi et al., 2021). Pasivní cvičení je jednoduchý, ale účinný způsob, jak zkoumat, jak svalová zpětná vazba ovlivňuje dýchání. Tato metoda snižuje vliv centrálního nervového systému a metabolických faktorů, čímž umožňuje větší roli svalové zpětné vazby při ventilaci. Tento efekt je výraznější v dobře kontrolovaných podmínkách, kde je minimalizována aktivita posturálních svalů. Výzkumy ukazují, že frekvence dýchání se během pasivního pohybu končetin zvyšuje a rychle se mění při zahájení a ukončení tohoto pohybu (Nicolò & Sacchetti, 2023). Tyto manipulace demonstrují, že změny BF jsou primárně řízeny jinými mechanismy, jako jsou rychlé nervové vstupy a centrální motorické příkazy, spíše než přímou odpovědí na metabolické nebo biochemické změny (Clark et al., 1980; Girardi et al., 2021; Nicolò & Sacchetti, 2023).

Klíčovým regulačním mechanismem BF při zátěži je tzv. centrální motorické řízení (central command), což zahrnuje aktivitu specifických oblastí mozku, například periaqueduktální šedé hmoty. Tyto oblasti mají zásadní roli v autonomní regulaci fyziologických reakcí a v subjektivním vnímání intenzity zátěže (Green et al., 2007). Zajímavé je, že aktivace tohoto systému nastává nejen při skutečné fyzické aktivitě, ale i při její představě nebo očekávání, což může vést ke zvýšení dechové frekvence (Thornton et al., 2001). Role centrálního řízení je dále podpořena jeho propojením se schopností podávat fyzický výkon a vnímáním dušnosti (dyspnoe). Subjektivní pocit dušnosti vykazuje vysokou korelaci s BF ($r=0,75$), přičemž k jeho nástupu dochází téměř současně s tachypnoí (vysokou BF) během zvyšující se intenzity zátěže (Tsukada et al., 2017).

Existuje také významná souvislost mezi subjektivně vnímaným úsilím (*ratings of perceived exertion*, RPE) a BF (Bergstrom et al., 2015), přičemž jejich vzájemná korelace dosahuje vysokých hodnot ($r=0,89$) (Nicolò et al., 2016, 2017). Tato souvislost je silnější než mezi RPE a dalšími ukazateli, jako je srdeční frekvence (HR) nebo spotřeba kyslíku (VO_2), což zdůrazňuje citlivost BF na rychlé změny intenzity zátěže (De Morree et al., 2012; Marcora et al., 2009).

Role centrálního motorického řízení je nejvýraznější při intenzivní zátěži, kdy dosahuje maximální aktivity. Dechová frekvence tak nejen odráží fyziologické nároky cvičení, ale také subjektivní vnímání námahy, což ji činí důležitým ukazatelem při hodnocení adaptačních mechanismů na zátěž i celkové respirační efektivity.

2.3.2.2 RESPIRAČNÍ PARAMETRY

Spotřeba kyslíku (VO_2) představuje objem kyslíku extrahovaného z vdechovaného vzduchu během určitého časového období (Várnay et al., 2020). Tento parametr je vyjadřován buď v absolutních hodnotách ($l \cdot min^{-1}$), nebo relativně k tělesné hmotnosti ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Heller, 2018). VO_2 je jedním z nejdůležitějších a nejčastěji sledovaných ukazatelů respiračního systému (Bartůňková et al., 2013). V klidovém stavu se hodnota VO_2 pohybuje kolem $0,25 l \cdot min^{-1}$, přičemž při intenzivní fyzické zátěži může dosahovat až $5-6 l \cdot min^{-1}$ (Poole & Jones, 2012). Během zátěžového testu s postupně narůstající intenzitou vykazuje křivka VO_2 lineární charakter po celou dobu zatěžování (Várnay et al., 2020). Možné limitace spotřeby kyslíku zahrnují ventilační kapacitu, alveolokapilární difuzi, vazbu kyslíku na hemoglobin, transportní schopnosti kardiovaskulárního systému, tkáňovou difuzi a oxidativní procesy na buněčné úrovni (Bartůňková et al., 2013).

Maximální příjem kyslíku (VO_{2max}) představuje nejvyšší fyziologickou hranici využití kyslíku pro produkci energie během intenzivní fyzické zátěže prováděné až do vyčerpání. VO_{2max} je obecně považována za zlatý standard při hodnocení kardiorespirační zdatnosti. Obvykle se stanovuje prostřednictvím spiroergometrického vyšetření (CPET), které se využívá v klinické praxi, aplikované fyziologii i v oblasti sportovní vědy a zátěžové diagnostiky (Costa et al., 2021).

Pro stanovení maximální spotřeby kyslíku (VO_{2max}) je nutné, aby při zvyšující se intenzitě zátěže nedocházelo k dalšímu nárůstu VO_2 , což odpovídá vytvoření tzv. „ VO_2 plató“ (Whipp, 2010). Za VO_2 plató je považováno zvýšení VO_2 menší než přibližně

$1,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Lucia et al., 2006). V případě, že VO_2 plató nelze prokázat, lze hodnotu $\text{VO}_{2\text{max}}$ potvrdit splněním alespoň dvou z následujících kritérií: poměr respirační výměny (RER) $\geq 1,1$ u zdatných sportovců nebo $\geq 1,0$ u nesportující populace (Heller, 2018); hodnocení subjektivní námahy (RPE) ≥ 17 na Borgově škále 6–20; nebo dosažení 90 % predikované maximální srdeční frekvence pro daný věk (Katch et al., 2010). Pokud tyto podmínky nejsou splněny, pak hovoříme o tzv. nejvyšší dosažené hodnotě příjmu kyslíku ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) (Várnay et al., 2020).

Hodnota $\text{VO}_{2\text{max}}$ je ovlivněna několika faktory:

- **Věk:** U netréované populace dochází po 25. roce života ke snížení $\text{VO}_{2\text{max}}$ přibližně o 9 % za každé desetiletí. U aktivně trénujících jedinců je tento pokles nižší, přibližně 5 %. Tento pokles souvisí s postupným zhoršováním kontraktility srdečního a kosterního svalstva, sníženou efektivitou a odolností vůči únavě, úbytkem svalové hmoty a zhoršeným zásobením myokardu kyslíkem v důsledku změn nebo onemocnění koronárních cév (Noakes, 2003).
- **Pohlaví:** Ženy dosahují nižších hodnot $\text{VO}_{2\text{max}}$ než muži, což lze přičíst vyššímu procentu tělesného tuku, menšímu množství svalové hmoty a nižší svalové síle (Noakes, 2003).
- **Kondice a trénink:** $\text{VO}_{2\text{max}}$ lze zlepšit pravidelným tréninkem, přičemž zvýšení se pohybuje v rozmezí 5–15 %. Nicméně schopnost zvyšovat $\text{VO}_{2\text{max}}$ je individuální a pravděpodobně geneticky determinovaná, přičemž rozsah adaptace může být od 0 % až do 60 % (Noakes, 2003).
- **Nadmořská výška:** Zvýšení nadmořské výšky významně ovlivňuje hodnotu $\text{VO}_{2\text{max}}$, neboť s rostoucí nadmořskou výškou klesá barometrický tlak a parciální tlak kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Snížení $\text{VO}_{2\text{max}}$ činí přibližně 10 % na každých 1000 m nad 1200 m n. m. Na vrcholu hory Mount Everest se tak u průměrného horolezce pohybuje hodnota $\text{VO}_{2\text{max}}$ kolem $15 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Noakes, 2003).

Výdej oxidu uhličitého (VCO_2) představuje množství oxidu uhličitého uvolněného z plic do okolního prostředí za časovou jednotku, přičemž je obvykle vyjádřeno v $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ nebo $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. Tento parametr odráží nejen množství CO_2 produkovaného metabolickými procesy v tkáních během fyzické zátěže, ale také vliv dalších faktorů. Tvorba CO_2 je úzce spojena s množstvím a typem aktivovaných svalových

vláken (pomalá vs. rychlá), s podílem aerobního a anaerobního metabolismu a s charakterem využívaných energetických substrátů (Várnay et al., 2020).

Během spiroergometrického testu, jakmile intenzita zatížení překročí první ventilační práh (VT1), se k metabolicky produkovanému CO₂ přidává i CO₂ vznikající nárazníkovou (pufrovací) reakcí. Po překročení druhého ventilačního prahu je další nárůst VCO₂ způsoben respirační kompenzací metabolické acidózy (Várnay et al., 2020).

Hodnota VCO₂ je rovněž ovlivněna celkovou regulací dýchání, včetně citlivosti receptorů či přítomnosti případných patologických stavů. Na počátku zátěže jsou hodnoty VCO₂ nižší než hodnoty VO₂, avšak VCO₂ roste s intenzitou zátěže strměji. První významné zvýšení VCO₂ lze pozorovat v oblasti VT1, přičemž křížení křivek VO₂ a VCO₂ obvykle nastává mezi VT1 a druhým ventilačním prahem (VT2), což reflektuje dynamiku metabolických a respiračních změn v průběhu zátěže (Várnay et al., 2020).

2.3.2.3 VENTILAČNÍ PRAHY

Při spiroergometrickém vyšetření se obvykle identifikují dva ventilační prahy: VT1 a VT2. Tyto prahy odrážejí specifické metabolické úrovně, které jsou vyjádřeny hodnotou spotřeby kyslíku ($\dot{V}O_2$) (Várnay et al., 2020).

Z metabolického hlediska odpovídá VT1 aerobnímu prahu. Při nízké intenzitě zátěže, která se nachází pod úrovní VT1, jsou energetické požadavky svalové práce pokryty převážně aerobními procesy. Tento typ zátěže je dlouhodobě udržitelný (Várnay et al., 2020). Hodnota aerobního prahu se obvykle pohybuje kolem 2 mmol·l⁻¹, přičemž v praxi se nachází v rozmezí 1–2 mmol·l⁻¹ laktátu v krvi. Intenzita této zátěže odpovídá přibližně 40 % VO₂max (nebo 65 % SFmax) u netrénovaných jedinců a může dosahovat až 70 % VO₂max (či 75 % SFmax) u elitních vytrvalostních sportovců (Bartůňková et al., 2013).

Pod úrovní VT1 se energie získává aerobní fosforylací, což umožňuje udržitelnost zátěže po delší dobu. Jakmile je však tato hranice překročena, aerobní fosforylace již nestačí pokrýt rostoucí energetické požadavky svalové práce. Dochází k většímu zapojení anaerobní glykolýzy, která zajišťuje dodatečnou energii (Várnay et al., 2020).

Podle Várnayho et al. (2020) lze první ventilační práh stanovit pomocí následujících čtyř metod:

1. analýzy průběhu vylučování oxidu uhličitého (ExCO₂),
2. metodou V-slope,

3. sledování průběhu křivky ekvivalentu kyslíku (EQO_2),
4. analýzou křivky parciálního tlaku kyslíku na konci výdechu (PETO_2).

Druhý ventilační práh je z metabolického hlediska označován jako anaerobní práh. Při zátěži přesahující úroveň VT2 je kapacita aerobní fosforylace vyčerpána, což omezuje možnost dalšího zvyšování její intenzity. Pro pokrytí energetických nároků svalové práce se proto významně aktivuje anaerobní metabolismus, zejména anaerobní glykolýza, která se stává hlavním zdrojem energie (Várnay et al., 2020).

VT2 představuje nejvyšší možnou intenzitu zátěže, kterou lze dlouhodobě udržet (až po dobu několika desítek minut). Anaerobní práh lze definovat jako úroveň zátěže, při níž je tvorba a odstraňování laktátu v rovnováze. Obvykle je VT2 spojován s koncentrací laktátu v krvi kolem $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. U netrénovaných jedinců odpovídá VT2 přibližně 70 % VO_2max , zatímco u elitních vytrvalostních sportovců může dosahovat až 85 % VO_2max (Bartůňková et al., 2013).

Při překročení VT2 dochází k významnému omezení možnosti dalšího zvyšování zátěže, což obvykle vede k ukončení spiroergometrického vyšetření z důvodu celkového vyčerpání (Várnay et al., 2020).

Podle Várnayho et al. (2020) lze VT2 určit těmito čtyřmi způsoby:

1. analýzou průběhu křivky EQCO_2 ,
2. průběhem křivky parciálního tlaku oxidu uhličitého na konci výdechu (PETCO_2),
3. pomocí ventilační efektivity vyjádřené jako VE/VCO_2 slope,
4. z grafu výkonu (WR6).

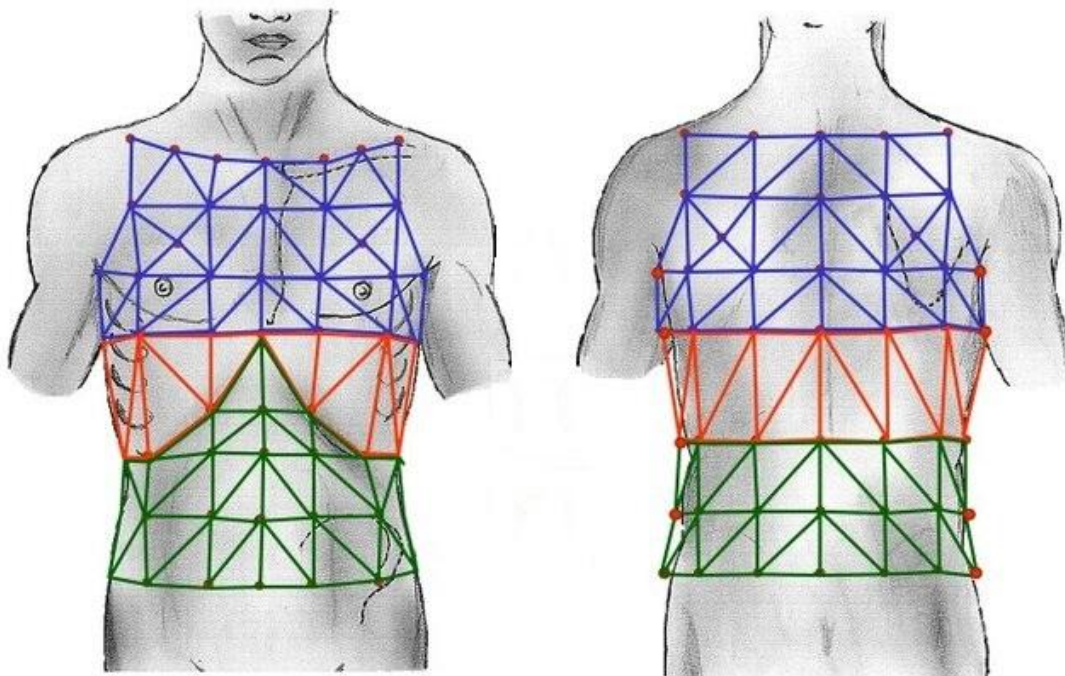
2.3.3 Zapojení dechových sektorů

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.2 Dechové sektory, nejčastěji rozlišujeme tři základní dechové sektory – horní hrudní (RCp), hrudní (RCa) a břišní (Ab) (Obrázek 3). Již od devatenáctého století se vyvíjí technologie pro monitorování ventilační činnosti člověka, zaměřující se především na pohyb a změny tvaru hrudníku a břicha (Niérat et al., 2019). První „spirografy“ používaly vzduchem nebo vodou naplněné hadičky obepínající tělo, spojené s tlakovými snímači (Marey, 1864; Michaelis, 1966). Následně byly vyvinuty magnetometry, které měří vzdálenost mezi dvěma elektromagnety umístěnými na hrudníku (Mead et al., 1967), respirační indukční pletysmografie (RIP) využívající cívky citlivé na pohyb hrudníku (Cohn et al., 1982), a optoelektronická

pletysmografie (OEP), rekonstruuující objemové změny plic pomocí 3D analýzy markerů na povrchu hrudníku a zad (Aliverti et al., 2001; Cala et al., 1996; Niérat et al., 2019).

Obrázek 3

Dechové sektory



(Romagnoli et al., 2008)

Jednodušší metody zahrnují například kalipery pro měření hrudní expanze, speciálně upravené pelvimetry (Moll & Wright, 1972), a krejčovské metry pro měření rozpínavosti hrudníku (Burgos-Vargas et al., 1993). Mezi základní diagnostické metody patří také aspekční a palpační vyšetření dechových pohybů. Aspekce, tedy vizuální posouzení, se zaměřuje na tvar a symetrii hrudníku, případné deformace a celkový dechový pohyb při klidovém dýchání i při maximálním nádechu a výdechu. Pozoruje se také zapojení jednotlivých polovin hrudníku a účast pomocných dýchacích svalů. Díky této metodě lze také určit dechovou frekvenci. Palpační vyšetření poskytuje cenné informace o stavu měkkých tkání, kostních strukturách a kloubních spojeních hrudníku (Neumannová & Kolek, 2018).

Mezi nejčastěji využívané technologie v současnosti pro kvantitativní hodnocení dechových pohybů, aktivace dechových sektorů a zapojení respiračních svalů patří:

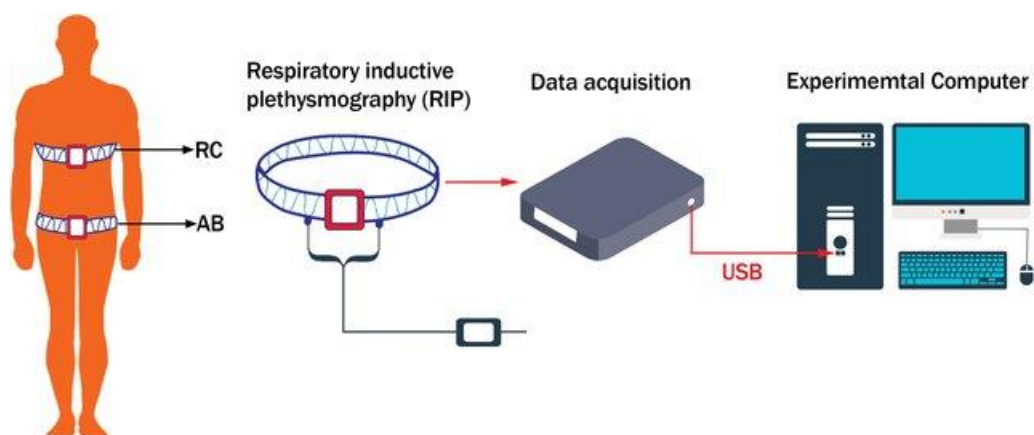
Respirační indukční pletysmografie

Respirační indukční pletysmografie (RIP) představuje neinvazivní metodu pro sledování dechových vzorů jak v klidu, tak při zátěži. Díky své neinvazivní povaze

nezasahuje přímo do dýchacích cest a tím neovlivňuje přirozený dechový rytmus. RIP využívá dvě indukční elastické pásky, které jsou umístěny kolem hrudního koše (v úrovni bradavek) a kolem břicha (v oblasti pupku) (Obrázek 4). Tyto pásky zaznamenávají změny objemu hrudního a břišního sektoru během dýchání. Variace v indukci, tedy v elektrických vlastnostech cívek obsažených v páscích, odpovídají změnám objemu těchto oblastí, což umožňuje přesné sledování dýchacích pohybů jednotlivých sektorů hrudníku a břicha (Emeriaud et al., 2008). Tato metoda také umožňuje monitorovat pohyby a synchronizaci hrudníku a bránice, což poskytuje informace o thorakoabdominální asynchronii (TAA) (Strang et al., 2018).

Obrázek 4

Respirační indukční pletysmografie



(Tayebi et al., 2021)

Magnetometrická pletysmografie

Magnetometrická pletysmografie je technologie využívaná pro měření dechových funkcí a zapojení dechových sektorů prostřednictvím elektromagnetických cívek, které snímají pohyby hrudníku a břicha. Skládá se ze dvou párů elektromagnetických cívek, kde každý pár zahrnuje vysílač a přijímač. Tyto cívky jsou umístěny vpředu a vzadu na hrudníku a břiše, což umožňuje snímat anteroposteriorní změny objemu obou těchto oblastí (Houssein et al., 2021).

Ultrazvukové zobrazování

Ultrazvukové zobrazování (USI) se v posledních letech stále více uplatňuje při měření dynamických pohybů bránice během dýchání, a to díky jeho výhodám oproti jiným zobrazovacím metodám, včetně vysoké bezpečnosti, dostupnosti a přesného prostorového rozlišení i při dynamických pohybech (Noh et al., 2014). Pro hodnocení

pohybu a exkurze bránice je často využíván M-mode, který zachycuje její pohyb v jednorozměrné vlnové formě. B-mode USI poskytuje dvourozměrný obraz svalové struktury, čímž umožňuje analýzu tloušťky a kontraktility bránice (Harper et al., 2013).

Magnetická rezonance (MRI)

Magnetická rezonance byla poprvé využita ke sledování aktivity bránice již v roce 1995 (Gierada et al., 1995). Metoda dynamické magnetické rezonance při spontánním dýchání (D-MRI) představuje neinvazivní a bezradiační způsob měření plicního objemu, pohybů hrudní stěny a bránice, který využívá multiplanární gradient-echo sekvenci během volného dýchání. D-MRI se osvědčila nejen při hodnocení pohybů bránice a hrudní stěny u zdravých jedinců, ale i při diagnostice dysfunkcí dýchacích svalů, zejména u onemocnění, jako je chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN), adolescentní idiopatická skolióza (AIS) nebo neuromuskulární choroby (Yang et al., 2022).

Prospektivní a retrospektivní 4D CT snímkování

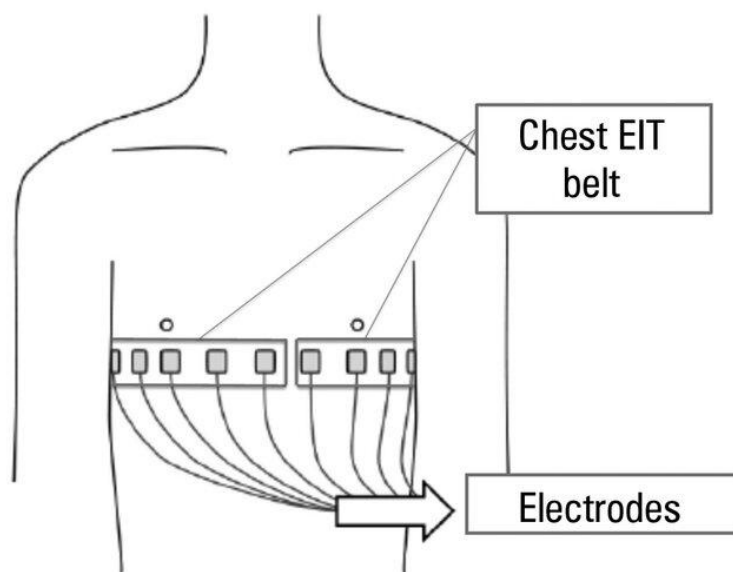
Prospektivní 4D-CT snímkování využívá akvizici obrazů synchronizovanou s dechem pomocí externího indikátoru pohybu a vytváří „bezpohybový“ 3D obraz v určité fázi dechového cyklu. Retrospektivní 4D-CT naproti tomu kontinuálně snímá obrazy během všech fází dýchání a následně je třídí do jednotlivých fázových kategorií na základě signálu externího pohybového indikátoru. Výsledkem je soubor 3D obrazů bez pohybu, které zobrazují různé fáze dechového cyklu (Biederer et al., 2010).

Elektrická impedanční tomografie

Elektrická impedanční tomografie (EIT) funguje na principu měření elektrických napětí na povrchu hrudníku, která jsou výsledkem opakované aplikace malých elektrických proudů do těla (Obrázek 5). Získaná EIT data jsou převedena do dvourozměrných obrazů, které zobrazují rozložení elektrické impedance v hrudníku. Elektrické vlastnosti plicní tkáně se výrazně liší od ostatních hrudních tkání, a navíc se během ventilace kvaziperiodicky mění, což činí EIT metodu obzvláště vhodnou pro hodnocení funkce plic. EIT snímky lze získat s vysokým časovým rozlišením, až několika desítek snímků za sekundu, a dále zpracovat k získání kvantitativních parametrů, které charakterizují různé aspekty lokální funkce plic (Frerichs et al., 2002).

Obrázek 5

Elektrická impedanční tomografie.



(Rosa et al., 2015)

Optoelektronická pletysmografie

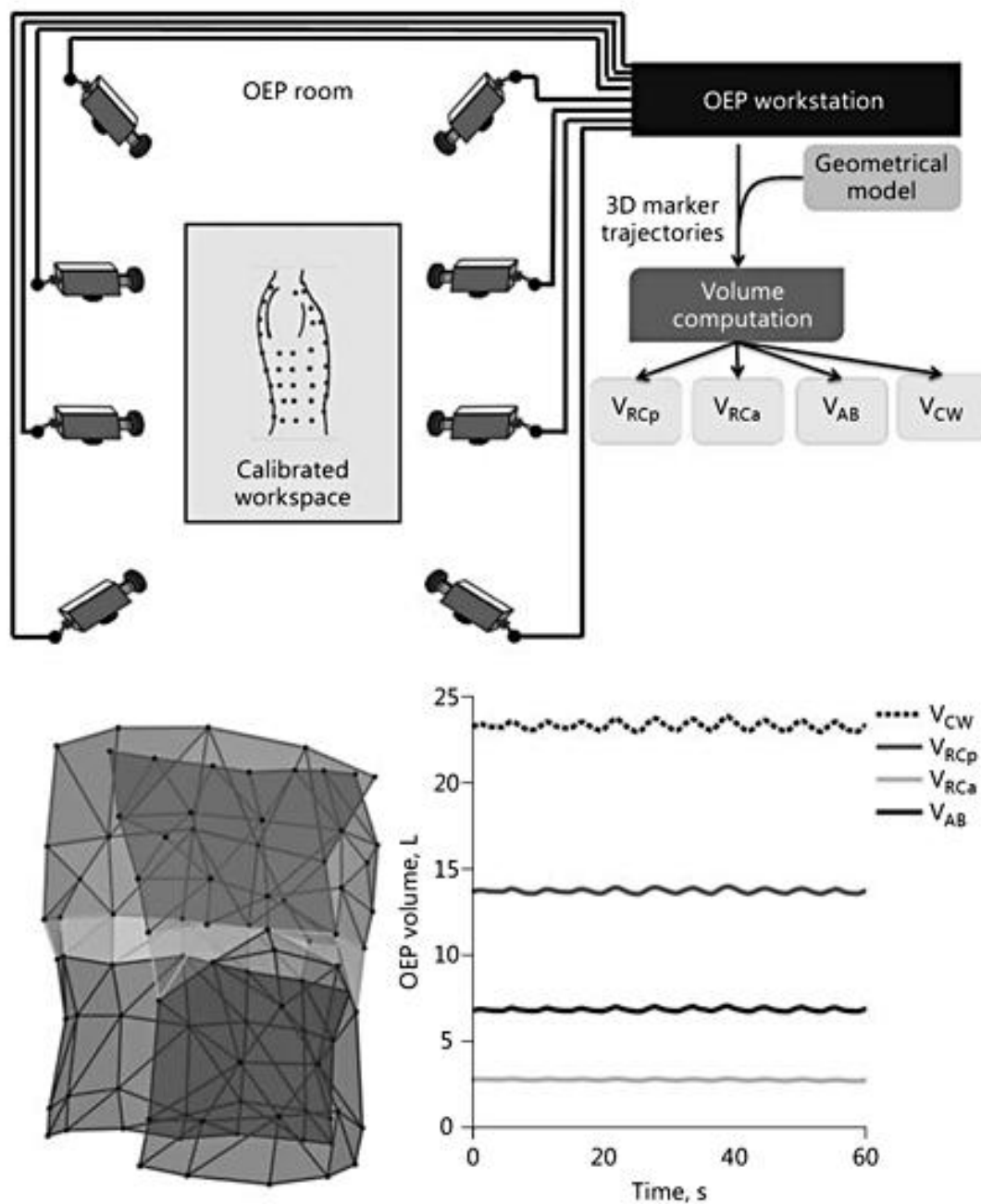
Optoelektronická pletysmografie (OEP) představuje sofistikovaný systém pro analýzu pohybu hrudní stěny (HS), využívaný k hodnocení změn objemu této oblasti během dýchání. Pracuje na základě technologie 3D snímání pohybu, která umožňuje přesnou rekonstrukci povrchu a objemu hrudníku a břicha pomocí infračervených kamer. Na kůži pacienta se umístí řada reflexních markerů, jejichž pohyb zaznamenávají 4 až 8 infračervených kamer ve specificky kalibrovaném snímacím prostoru. Specializovaná pracovní stanice synchronizuje záznamy z kamer a zajišťuje integraci dat pomocí softwaru, který vypočítává 3D trajektorie každého markeru (Obrázek 6). Geometrický model následně propojí jednotlivé značky do uzavřených trojúhelníkových sítí, na jejichž základě se určuje objem uzavřený tímto povrchem (Massaroni et al., 2017).

Přesnost OEP při měření změn dechového objemu byla validována srovnáním mezi hodnotami odhadovanými OEP a hodnotami plicního objemu měřenými standardními metodami, jako jsou spirometry a pneumotachometry (Schena et al., 2015). Výsledky ukazují, že maximální odchylka mezi hodnotami získanými spirometrem a OEP nepřesahuje 4 %, přičemž korelace mezi OEP, spirometrií a pneumotachografií je velmi vysoká a průměrná odchylka zůstává pod 5 % (Aliverti et al., 2001). Intraraterová a interraterová spolehlivost OEP byla testována jak v klidových podmínkách, tak při

submaximálním cvičení na cyklistickém ergometru, přičemž OEP dosahovala koeficientu vnitřní konzistence nad 0,75 a koeficientu variability nižšího než 10 % (Massaroni et al., 2017; Vieira et al., 2013).

Obrázek 6

Optoelektronická pletysmografie



(Massaroni et al., 2017)

2.4 Buteykova dechová metoda

2.4.1 Historie metody

Buteykova dechová metoda (BDM) je systém vyvinutý v 50. letech 20. století doktorem Buteykem, který slouží pacientům trpícím tendencemi k předýchávání a hyperventilaci (Chaitow et al., 2014). Dr. Buteyko byl ukrajinský lékař, který se na počátku své kariéry věnoval zkoumání souvislostí mezi dechovou frekvencí pacientů a závažností jejich onemocnění. Zanedlouho zjistil, že čím závažnější byl stav pacienta, tím rychleji dýchal. Také se domníval, že nedostatek CO₂ v krvi může být klíčovým spouštěčem mnoha chronických onemocnění (Chaitow et al., 2014). Na základě studia různých jógových textů a poznatků východní kultury, kde se setkal s cvičeními redukcí dýchání, začal provádět experimenty jak na sobě, tak na svých pacientech (The Buteyko Breathing Association, 2024). Jednalo se například o indickou jógu Pranayamu, jejímž jedním z cílů je omezení dýchání, nebo o základní meditaci tibetských mnichů Šhine, což v překladu znamená „klidné setrvání“ či „uklidnění mysli“. Čerpal také z japonské kultury, kde bylo samurajům pod nos pokládáno pírko. Pokud se pírko pohnulo, byl jedinec vyloučen ze samurajské armády (Yakovleva et al., 2016). Touto dobou, v 60. letech, byla zakládána Akademie věd v největším městě na Sibiři, kam se také Dr. Buteyko vydal, aby získal více vědeckých důkazů pro podporu své metody (Yakovleva et al., 2016).

Na začátku 80. let jeho práce zaujala natolik, že ruské úřady povolily provést oficiální studii na astmatických dětech v moskevské nemocnici. Ačkoli tento výzkum měl jiný design než standardní kontrolované studie na Západě, výsledky byly tak přesvědčivé, že Státní zdravotní systém schválil metodu pro širší využití (The Buteyko Breathing Association, 2024). V 90. letech se Buteykova metoda dostala do Spojených států a Austrálie, kde je známá pro své benefity u jedinců trpících astmatem, CHOPN, chronickým dýcháním ústy a spánkovou apnoí. Následně v roce 2008 British Thoracic Society (BTS) oficiálně schválila doporučení aplikace této metody pro pacienty s astmatem (Chaitow et al., 2014). Byl také pozván do Anglie, aby spolu se svou ženou Ludmilou léčili prince Charlese, který trpěl vážnými alergiemi. Jejich přístup, založený na metodách dechové terapie, vzbudil značný zájem nejen v lékařských kruzích, ale i mezi širší veřejností. Úspěch této léčby přispěl k rozšíření povědomí o jejich metodě, čímž se jejich práce stala uznávanou i na mezinárodní úrovni (Yakovleva et al., 2016).

2.4.2 Princip metody a dechová cvičení

Teorie Dr. Buteyka spočívá v tom, že nadměrné dýchání vede k přílišnému vylučování oxidu uhličitého z plic, krve a tkáňových buněk, což neustále vyvolává zúžení průdušek, cév, střev a dalších částí těla. Současně dochází ke snížení uvolňování kyslíku z hemoglobinu, díky Bohrově efektu (McKeown, 2015). Tento proces snižuje přívod kyslíku do tkání, což následně zvyšuje potřebu dalšího dýchání a vytváří tak bludný kruh (Yakovleva et al., 2016). Současně také dochází ke snížení tolerance na oxid uhličitý v respiračních centrech, což vede k navýšení tempa impulzů pro dýchací svaly a prohlubování daného problému (McKeown, 2015).

Buteykova dechová metoda učí pacienty vědomé kontrole jejich dýchání v průběhu každodenního života. Na začátku jejího použití je pacientům představen přesný plán dechových cvičení, která se stanou součástí jejich denní rutiny. Tato cvičení se zaměřují především na redukované dýchání, zádrže dechu jak v klidu, tak při fyzické aktivitě, a na navyknutí se nosnímu dýchání (Chaitow et al., 2014).

Základním kamenem této metody je takzvané redukované dýchání, jehož princip spočívá ve snaze udržet dech co nejplynulejší a nejkldnější, ale s co nejmenším objemem vzduchu. Účastník se zaměřuje na snížení hloubky vdechu při současném prodlužování výdechu, aniž by došlo k nepříjemným pocitům nedostatku vzduchu. Cílem je nadechovat se jemně, přičemž se zaměřuje na klid a relaxaci. Důležité je dýchat pouze nosem a vyvarovat se dýchání ústy (McKeown, 2015; Yakovleva et al., 2016). Při provádění redukovaného dýchání je kladen důraz na brániční, tedy břišní dýchání (podrobné informace o přínosech tohoto způsobu dýchání jsou uvedeny v kapitole 2.2.2 věnované dechovým sektorům a efektivnímu dýchání). Toto cvičení lze zařadit opakovaně v průběhu dne bez pevně stanovené délky trvání, přičemž hlavním cílem je postupné navyšování tzv. kontrolní pauzy (KP).

Kontrolní pauza je jedním z klíčových parametrů Butekovy metody. Měří čas, po který může osoba přirozeně zadržet dech po normálním výdechu, než pocítí první nutkání se nadechnout. Tento parametr je ukazatelem tolerance organismu na oxid uhličitý. Cílem redukovaného dýchání je tedy prodloužit kontrolní pauzu, což signalizuje zlepšení schopnosti těla tolerovat vyšší koncentrace CO₂. Kontrolní pauza je prováděna vždy na začátku redukovaného dýchání a po dvou minutách po ukončení cvičení (Gilbert et al., 2014; Mckeown, 2004).

Další ze série cvičení, které spadají do Buteykovy metody jsou spontánní zádrže dechu po výdechu a dechové zádrže během dynamické aktivity. Spontánní zádrže po výdechu jsou typicky krátké, trvají jen několik sekund, a jsou prováděny bez zvýšeného nádechu po normálním výdechu. Tato technika vede k přechodnému mírnému zvýšení hladiny oxidu uhličitého v krvi, což stimuluje dechová centra k dosažení nové rovnováhy mezi dýcháním a tolerancí oxidu uhličitého. Výsledkem tohoto procesu je obvykle pokles dechové frekvence a zvýšení kvality dýchání, což Buteyko považoval za klíč k optimalizaci funkce dýchací soustavy. Dechové zádrže při dynamické aktivitě, jako je chůze, běh či jízda na kole, spočívají ve vědomé zádrži dechu po výdechu, kdy dochází k několika krokům či tempům bez nádechu. Tyto zádrže se postupně prodlužují a jejich intenzita je zvyšována v závislosti na individuální kapacitě a kondici cvičence. Tento typ zádrží je navržen tak, aby při opakovaném a pravidelném provádění docházelo ke zlepšení adaptačních mechanismů na mírnou hypoxii a hyperkapnii. Cvičení může být zařazeno například při chůzi, kdy cvičenec po výdechu provede několik kroků bez nádechu, a poté při dalších intervalech tento počet kroků zvyšuje. Při běhu nebo jízdě na kole je možné tyto techniky aplikovat obdobně, avšak je doporučeno udržovat nižší až střední intenzitu pohybu, aby nedocházelo k nadměrnému zatížení kardiovaskulárního systému (McKeown, 2015; McKeown et al., 2004; Yakovleva et al., 2016).

2.4.3 Studie zkoumající vliv Buteykovy metody

V posledních deseti letech byla publikována řada studií zkoumající vliv BDM u astmatických pacientů na dechové parametry (Tabulka 3).

Studie zaměřené na vliv Buteykovy metody u astmatické populace ukazují na její potenciál zlepšit klíčové respirační parametry. Nejčastěji zkoumaným ukazatelem byl jednosekundový usilovný výdech, jehož zlepšení bylo pozorováno v několika studiích s různou délkou intervence. Například Vagedes et al. (2021) uvádějí zvýšení FEV₁ u dětí po tříměsíční intervenci, zatímco Mufarika et al. (2019) a Rahi et al. (2019) dokumentují pozitivní akutní efekt na tento parametr. Podobné výsledky byly zaznamenány i u studií zaměřených na delší intervence, jako například ve výzkumu Mohamed et al. (2018) a Elkafrawy et al. (2024), kde se vedle zlepšení FEV₁ objevilo i zvýšení poměru FEV₁/FVC.

Tabulka 3

Publikované studie zaměřené na vliv BDM u astmatické populace ve vědeckých databázích WoS a Scopus za posledních 10 let.

Reference	Participanti	Protokol	Intervence	Parametry	Poznámky
Arora & Subramanian (2019)	28 pacientů s plicním obstrukčním onemocněním	Klidová spirometrie	4 týdny	Klidová BF, Zadrž dechu (BHT), PEFR	↑ BHT ↑ PEFR ↓ klidová BF
Elkafrawy et al. (2024)	80 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	3 měsíce	FEV ₁ , FEV ₁ /FVC	↑ FEV ₁ ↑ FEV ₁ /FVC
Gudjonsdottir & Oosten (2015)	36 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	6 měsíců	PETCO ₂ , PETO ₂ , Zadrž dechu (BHT), FEV ₁ /FVC, VE/VCO ₂	↑ PETCO ₂ ↓ PETO ₂ ↑ BHT FEV ₁ /FVC beze změn VE/VCO ₂ beze změn
Mohamed et al. (2018)	50 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	4 týdny	FEV ₁ , PEFR	↑ FEV ₁ ↑ PEFR
Mufarika et al. (2019)	18 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	Akutní efekt	FEV ₁	↑ FEV ₁
Prasanna et al. (2015)	100 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	2 měsíce	FEV ₁ , PEFR	FEV ₁ beze změn ↑ PEFR
Rahi et al. (2019)	54 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	Akutní vliv	FEV ₁	↑ FEV ₁
Swathi et al. (2021)	60 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	4 týdny	FEV ₁ , FEV ₁ /FVC	↑ FEV ₁ ↑ FEV ₁ /FVC
Van Oosten (2017)	42 astmatických pacientů	Klidová spirometrie	6 měsíců	V _E , V _T , FEV ₁ , BHT, PETCO ₂ , PETO ₂ , V _E /VCO ₂ , FEV ₁ /FVC	↑ PETCO ₂ ↓ V _E /VCO ₂ ↑ BHT ↓ PETO ₂ ↓ V _E ↓ V _T FEV ₁ /FVC beze změn
Vagedes et al. (2021)	32 dětí ve věku 6–15 let	Klidová spirometrie	3 měsíce	FEV ₁	↑ FEV ₁

Poznámka: BF – dechová frekvence; BHT – zadrž dechu; FEV₁ – usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu; FEV₁/FVC – poměr usilovně vydechnutého objemu za 1 sekundu k vitální kapacitě; PEFR – maximální výdechový průtok; PETCO₂ – parciální tlak oxidu uhličitého na konci výdechu; PETO₂ – parciální tlak kyslíku na konci výdechu; VE – minutová ventilace; VT – dechový objem; VE/VCO₂ – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý.

Vedle FEV₁ studie rovněž zkoumaly vliv Buteykovy metody na další parametry. Zlepšení vrcholového výdechového průtoku (PEFR) bylo například pozorováno ve studiích Mohamed et al. (2018) a Prasanna et al. (2015), přičemž u druhé jmenované

nebyla zaznamenána žádná změna hodnot FEV_1 . Některé studie, jako Swathi et al. (2021) a Elkafrawy et al. (2024), uvádějí zlepšení jak FEV_1 , tak poměru FEV_1/FVC , což naznačuje komplexní přínos této metody na funkci plic.

Dále byly sledovány i parametry související s ventilací, po 4týdenní aplikaci BDM došlo ke snížení klidové dechové frekvence (Arora & Subramanian, 2019). Výzkum Gudjonsdottir & Van Oosten (2015) ukázal zvýšení hodnot $PETCO_2$ a snížení $PETO_2$ po šestiměsíční intervenci, což naznačuje lepší ventilaci a efektivnější výměnu plynů. Podobné trendy byly pozorovány také ve studii Van Oosten (2017), která navíc uvádí pokles klidové minutové ventilace a dechového objemu. Pozitivní změny v délce zádrže dechu (BHT) byly pozorovány například u studií Gudjonsdottir & Van Oosten (2015) a Arora & Subramanian (2019).

Navzdory těmto pozitivním výsledkům některé parametry zůstaly beze změn. Studie Gudjonsdottir & Van Oosten (2015) i Van Oosten (2017) dokumentovaly, že poměr FEV_1/FVC a VE/VCO_2 zůstává stabilní i po dlouhodobých intervencích.

V Tabulce 4 můžeme vidět souhrn studií zkoumajících vliv BDM na dechové parametry u jedinců bez respiračních onemocnění v klidu a při zátěži.

Publikované studie z posledních deseti let poukazují na významný vliv Buteykovy metody na zlepšení respiračních a aerobních parametrů u populace s absencí respiračních onemocnění. Jedním z hlavních zjištění je pozitivní vliv metody na maximální spotřebu kyslíku, která se zvýšila u fotbalistů, studentů fyzioterapie, a běžných studentů po intervencích trvajících čtyři až osm týdnů (Chaudhary et al., 2021; Fahrizal, 2017; Kusumaningtyas & Handari, 2024).

Zlepšení VO_{2max} bylo pozorováno napříč různými testovacími protokoly, jako je Yo-Yo vytrvalostní test, Harvard Step Test, člunkový běh a Queen's College Step Test. Zajímavé je, že pozitivní změny byly zaznamenány i po jednorázové aplikaci metody během testování na Queen's College Step Testu (Obhaliya & Mehta, 2022), což naznačuje potenciál Buteykovy metody pro akutní zlepšení aerobní kapacity.

Kromě vlivu BDM na parametr VO_{2max} , studie také ukázaly zvýšení kontrolní pauzy, která byla měřena jako indikátor schopnosti kontrolovat dýchání a snížit tendenci k hyperventilaci. Tento efekt byl zřetelný například ve studii zaměřené na fotbalisty (Chaudhary et al., 2021).

Tabulka 4

Publikované studie zaměřené na vliv BDM u populace bez respiračních onemocnění ve vědeckých databázích WoS a Scopus.

Reference	Participantů	Protokol	Intervence	Parametry	Poznámky
Chaudhary et al. (2021)	40 fotbalistů	Yo-Yo vytrvalostní zotavovací test úrovně 1	6 týdnů	VO ₂ max, Kontrolní pauza	↑ VO ₂ max ↑ Kontrolní pauza
Fahrizal et al. (2017)	22 studentů	Člunkový běh (20 metrů)	8 týdnů	VO ₂ max	↑ VO ₂ max
Gopakumar & Mathew (2022)	16 vysokoškolských studentů	Klidová spirometrie	4 týdny	FEV ₁	FEV ₁ beze změn
Kusumaningtyas & Handari (2024)	59 studentů fyzioterapie	Harvard Step Test	4 týdny	VO ₂ max	↑ VO ₂ max
Mistry et al. (2021)	30 dělníků	Klidová spirometrie	4 týdny	PEFR	↑ PEFR
Obhaliya & Mehta (2022)	30 vysokoškolských studentů	Queen's College Step Test	Akutní efekt	VO ₂ max	↑ VO ₂ max
Vaish & Sharma (2020)	15 obézních jedinců	Klidová spirometrie Šesti minutový test chůzí	1 týden	FVC, FEV ₁ , FEV ₁ /FVC	FVC beze změn FEV ₁ beze změn FEV ₁ /FVC beze změn

Poznámka: FEV₁ – usilovně vydechnutý objem za 1 sekundu; FEV₁/FVC – poměr usilovně vydechnutého objemu za 1 sekundu k vitální kapacitě; PEFR – maximální výdechový průtok; VO₂max – maximální příjem kyslíku.

Co se týče vlivu na spirometrické parametry, výsledky jsou smíšené. Zatímco studie u dělníků ukázala zlepšení vrcholového výdechového průtoku (PEFR) (Mistry et al., 2021), jiné výzkumy nezaznamenaly žádné změny v hodnotách FEV₁ či dalších spirometrických ukazatelích (Gopakumar & Mathew, 2022; Vaish & Sharma, 2020). U obézní populace rovněž nedošlo ke změnám v poměru FEV₁/FVC ani ve vitální kapacitě plic, což naznačuje, že účinky Buteykovy metody na tyto ukazatele mohou být omezené.

Z hlediska délky intervence se zdá, že dlouhodobější aplikace (4–8 týdnů) přináší širší benefity, zejména v oblasti aerobní kapacity a kontroly dýchání. Naproti tomu krátkodobé intervence vykazují spíše okamžitý, ale omezenější efekt na fyziologické parametry (Obhaliya & Mehta, 2022).

Většina dosud publikovaných studií zkoumá vliv Buteykovy dechové metody (BDM) především u pacientů s respiračními onemocněními, jako je astma nebo CHOPN. Výsledky těchto studií ukazují pozitivní vliv BDM na zlepšení dechových parametrů, jako jsou FEV₁, PEFR, kontrolní pauza či ventilační efektivita (Gudjonsdottir & Van Oosten, 2015; Elkafrawy et al., 2024). Nicméně, studie zaměřené na zdravou populaci jsou

v porovnání s klinickými studiemi výrazně méně početné, což vytváří prostor pro hlubší zkoumání vlivu BDM mimo kontext respiračních onemocnění.

Z dostupných dat vyplývá, že pouze omezený počet studií se zabýval vlivem BDM u zdravých jedinců, přičemž většina z nich se zaměřovala na základní spiometrické ukazatele nebo $VO_2\text{max}$. Například studie Chaudhary et al. (2021) a Kusumaningtyas & Handari (2024) sice ukázaly zlepšení $VO_2\text{max}$ po několikátýdenní intervenci, avšak podrobnější parametry spojené s ventilační efektivitou, jako VE/VCO_2 slope nebo ventilace při zátěži, zůstávají nedostatečně prozkoumány. Navíc většina těchto studií měla relativně malý počet účastníků (např. studie Gopakumar & Mathew, 2022 zahrnovala pouze 16 osob), což omezuje obecnou platnost závěrů.

Zároveň existují i další dechové intervence, jako jsou jógové techniky (pránájáma), Wim Hofova metoda nebo respirační svalový trénink (RMT), které rovněž cílí na změny ventilačních parametrů a dechové efektivity. Tyto metody však pracují s odlišnými mechanizmy ovlivnění dechového vzoru. Přestože nejsou předmětem přímého zkoumání této práce, jejich výsledky jsou využity pro porovnání a kontextualizaci účinků BDM v diskusní části.

Cílem této práce je proto vyplnit tuto mezeru ve výzkumu a zjistit, jak BDM ovlivňuje ventilační parametry u zdravých jedinců. Výzkum je navíc realizován na dostatečně velkém vzorku, aby bylo možné lépe pochopit interindividuální variabilitu odpovědi na tuto dechovou intervenci. Zároveň umožňuje porovnat efekty mezi aktivní a neaktivní populací, což přináší nové poznatky o potenciálních rozdílech ve vlivu BDM v závislosti na úrovni fyzické aktivity.

3 Cíl, výzkumné otázky, hypotézy a úkoly výzkumu

3.1 Cíl práce

Cílem tohoto výzkumu je zjištění vlivu šestitýdenní intervence Butekovy metody na ventilační parametry a zapojení dechových sektorů u zdravé aktivní a neaktivní populace během maximálního zátěžového testu na běžecím ergometru.

3.2 Výzkumné otázky

- V1) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke zlepšení efektivity dýchání u skupiny aktivních jedinců?
- V2) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke snížení dechové frekvence u skupiny aktivních jedinců?
- V3) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke zlepšení efektivity dýchání u skupiny neaktivních jedinců?
- V4) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke snížení dechové frekvence u skupiny neaktivních jedinců?
- V5) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke změnám v zapojení dechových sektorů u skupiny aktivních jedinců?
- V6) Dojde vlivem šestitýdenní intervence Butekovy metody ke změnám v zapojení dechových sektorů u skupiny neaktivních jedinců?

3.3 Hypotézy výzkumu

- H1: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení VE/VCO_2 slope u skupiny aktivních jedinců.
- H2: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení dechové frekvence u skupiny aktivních jedinců při dosažení VT2.
- H3: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení VE/VCO_2 slope u skupiny neaktivních jedinců.
- H4: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení dechové frekvence u skupiny neaktivních jedinců při dosažení VT2.

H5: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení zapojení horního hrudního sektoru u skupiny aktivních jedinců při dosažení VT2.

H6: Předpokládáme, že šestitýdenní intervence Butekovy metody bude mít významný vliv ($p < 0,05$) na snížení zapojení horního hrudního sektoru u skupiny neaktivních jedinců při VT2.

3.4 Úkoly výzkumu

Úkoly této práce vycházejí přímo z vytyčeného cíle a představují klíčové kroky nezbytné pro realizaci výzkumu. Jsou systematicky uspořádány v chronologickém sledu a zahrnují jak samotné výzkumné aktivity, tak i přípravné činnosti, které bylo nutné dokončit před zahájením hlavní fáze výzkumu.

- Provedení rešerše odborné literatury a vědeckých studií, které byly následně systematicky analyzovány a začleněny do teoretického rámce práce,
- formulace klíčových otázek k zodpovězení, stanovení konkrétních cílů pro dosažení a definování hypotéz, které budou ověřovány v průběhu výzkumu,
- navržení podrobného výzkumného designu a vypracování jeho popisu, včetně metodického přístupu,
- provedení pilotního testování za účelem výpočtu velikosti vzorku pomocí analýzy síly testu,
- identifikace a nábor participantů splňujících kritéria pro zařazení, rozřazení do experimentální (EXP) a kontrolní skupiny (KON),
- provedení prvního testování v laboratoři (PRE),
- provedení detailní edukace experimentální skupiny o cvičení Butekovy metody a následné realizování šestitýdenního intervenčního programu zahrnující specifické dechové cviky,
- provedení druhého testování v laboratoři (POST),
- vyvolání zátěžových protokolů, stanovení ventilačních prahů, procesování 3D dat z optoelektronického pletysmografu,
- statistické zpracování dat,
- vyhodnocení výsledků, jejich interpretace, diskuze a vytvoření závěrů práce.

4 Metodika výzkumu

Tato studie je randomizovanou kontrolovanou studií s pretest-posttest designem, jejímž cílem je vyhodnotit vliv šestitýdenního dechového cvičení Buteykovy metody na ventilační parametry a zapojení dechových sektorů u zdravých aktivních a neaktivních jedinců při maximálním zátěžovém testu. Účastníci byli nejprve rozděleni do dvou základních skupin (aktivní a neaktivní) na základě skóre v dotazníku Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire (GLTEQ) a následně randomizováni do experimentální nebo kontrolní podskupiny pomocí softwaru Randomizer.org. Z etických důvodů byla účastníkům zařazeným do kontrolní skupiny po ukončení studie nabídnuta možnost absolvovat dechovou intervenci. Výzkum byl schválen Etickou komisí PF JU pod jednacím číslem EK020/2021 dne 1. 11. 2021, proveden v souladu s etickými zásadami stanovenými Helsinskou deklarací Světové lékařské asociace a realizován ve spolupráci s Katedrou tělesné výchovy, Pedagogické fakulty, Jihočeské univerzity.

4.1 Charakteristika souboru

Výzkumný soubor byl tvořen fyzicky aktivními a neaktivními jedinci, kteří byli osloveni z řad studentů Pedagogické, Filozofické a Teologické fakulty Jihočeské univerzity. Výběr participantů probíhal kvótním výběrem na základě předem stanoveného výpočtu velikosti vzorku, který byl proveden s využitím softwaru Statistica 14 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). Na základě výsledků pilotního testování byl proveden výpočet potřebné velikosti vzorku, který ukázal, že pro dosažení statistické síly 0,80 při hladině významnosti 0,05 je nutné zařadit minimálně 68 participantů. Vzhledem k povaze intervenční studie a riziku, že někteří jedinci nemusí intervenci dokončit nebo budou vyloučeni z důvodu nedodržování intervenčního protokolu, bylo rozhodnuto zařadit 80 participantů. Účastníci nevěděli, jaký výsledek studie se očekává, aby jejich chování nebo odpovědi nebyly tímto předpokladem ovlivněny.

Na začátku studie tvořilo výzkumný soubor celkem 80 jedinců, rovnoměrně rozdělených do čtyř skupin: experimentální a kontrolní skupina fyzicky aktivních a experimentální a kontrolní skupina neaktivních jedinců. Zařazení participantů do aktivní a neaktivní skupiny bylo provedeno na základě dotazníku pohybové aktivity GLTEQ (Godin, 2011). Studii úspěšně dokončilo 69 jedinců. Proces náboru participantů a průběh intervence, včetně experimentální mortality, jsou znázorněny na Obrázku 7.

Popisné charakteristiky základních antropometrických údajů a skóre pohybové aktivity jednotlivých skupin jsou uvedeny v Tabulce 5.

Experimentální skupina aktivních jedinců zahrnovala 18 probandů (10 mužů a 8 žen) s průměrným věkem $23,6 \pm 2,6$ let, tělesnou výškou $175,5 \pm 10,7$ cm, hmotností $75,5 \pm 12,3$ kg a pohybovým skórem $64,5 \pm 26,8$ bodů. Kontrolní skupina aktivních jedinců obsahovala 20 probandů (10 mužů a 10 žen) s průměrným věkem $22,5 \pm 2,6$ let, tělesnou výškou $172,8 \pm 7,3$ cm, hmotností $70,4 \pm 8,3$ kg a pohybovým skórem $60,5 \pm 18,9$ bodů.

Experimentální skupina neaktivních jedinců zahrnovala 15 probandů (7 mužů a 8 žen) s průměrným věkem $22,8 \pm 2,2$ let, tělesnou výškou $170,5 \pm 7,7$ cm, hmotností $68,2 \pm 7,5$ kg a pohybovým skórem $6,8 \pm 4,6$ bodů. Kontrolní skupina neaktivních jedinců zahrnovala 16 probandů (7 mužů a 9 žen) s průměrným věkem $23,1 \pm 3,0$ let, tělesnou výškou $168,5 \pm 5,7$ cm, hmotností $66,2 \pm 7,1$ kg a pohybovým skórem $5,4 \pm 4,4$ bodů.

Tabulka 5

Popisné charakteristiky základních antropometrických údajů a pohybové skóre výzkumného souboru

Parametr	Aktivní		Neaktivní	
	EXP (n = 18)	KON (n = 20)	EXP (n = 15)	KON (n = 16)
Věk [let]	$23,6 \pm 2,6$	$22,5 \pm 2,6$	$22,8 \pm 2,2$	$23,1 \pm 3,0$
Tělesná výška [cm]	$175,5 \pm 10,7$	$172,8 \pm 7,3$	$170,5 \pm 7,7$	$168,5 \pm 5,7$
Tělesná hmotnost [kg]	$75,5 \pm 12,3$	$70,4 \pm 8,3$	$68,2 \pm 7,5$	$66,2 \pm 7,1$
Pohybové skóre [body]	$64,5 \pm 26,8$	$60,5 \pm 18,9$	$6,8 \pm 4,6$	$5,4 \pm 4,4$

Strategie výběru probandů probíhala na základě kvótního výběru podle předem stanovených kritérií. Mezi kritéria pro zařazení patřilo: věk 19–29 let; nekuřáci; absence kardiovaskulárních, neurologických a duševních onemocnění; absence kolapsových stavů, podepsaný informovaný souhlas s účastí ve studii.

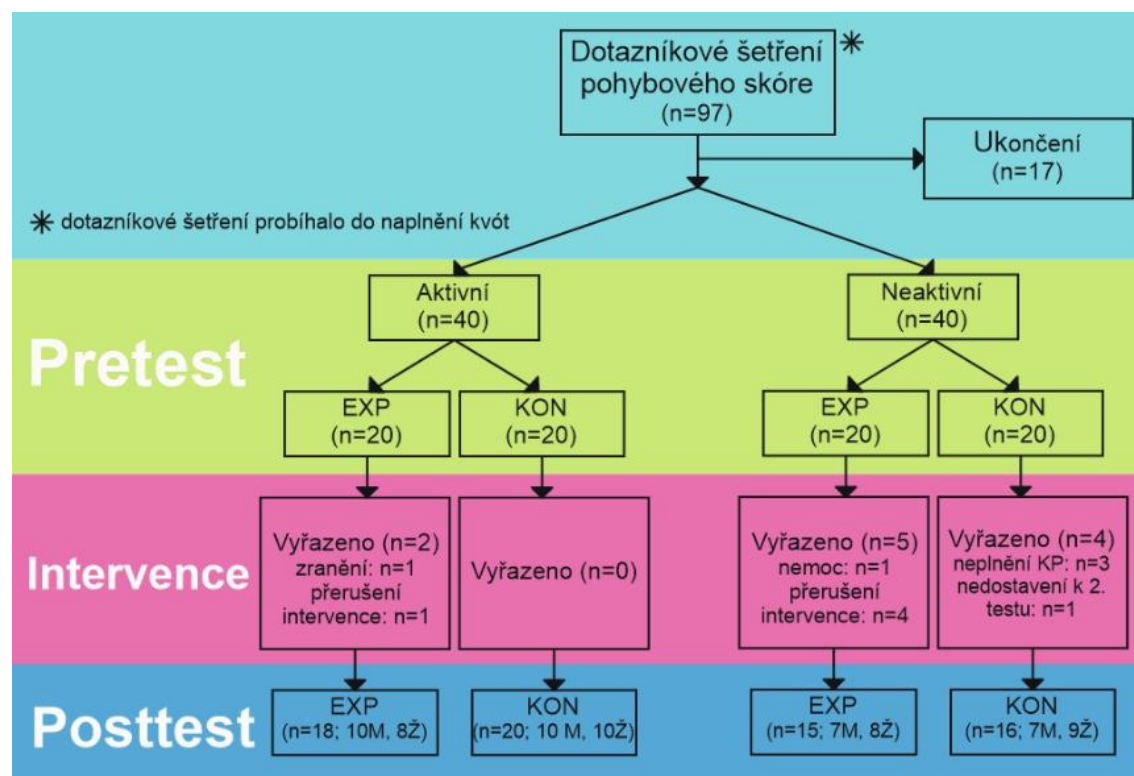
- Zařazení do aktivní skupiny: skóre ≥ 24 v dotazníku Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire.
- Zařazení do neaktivní skupiny: skóre < 14 v dotazníku Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire.

Mezi kritéria vyloučení patřilo: vrcholový sportovci, akutní respirační infekce v průběhu studie; pravidelné užívání farmak ovlivňujících dýchání, předchozí zkušenost s dechovými technikami, těhotenství.

- Zařazení do středně aktivní skupiny: skóre 14–23 v dotazníku Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire.

Obrázek 7

Průběh náboru a experimentální mortalita



(zdroj vlastní)

4.2 Dotazník pohybové aktivity

Pro účely zařazení probandů do aktivní či neaktivní skupiny a pro sledování změn v úrovni pohybové aktivity na začátku a na konci intervence byl použit dotazník pohybové aktivity Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire (GLTEQ) (Godin, 2011). Tento nástroj je v odborné literatuře široce akceptován díky své vysoké reliabilitě (ICC = 0,98) (Alotaibi et al., 2024) a validitě, která byla potvrzena v několika studiích (Alotaibi et al., 2024; Kinnett-Hopkins et al., 2016).

Dotazník GLTEQ (Příloha 1) je navržen pro jednoduché a rychlé hodnocení úrovně pohybové aktivity v běžném týdnu. Respondenti zaznamenávají počet jednotek fyzické aktivity ve třech kategoriích podle intenzity: lehké fyzické aktivity (např. procházky, jóga, bowling, golf, ...), středně intenzivní fyzické aktivity (např. volejbal, rychlá chůze, lehké plavání, badminton, ...) a vysoce intenzivní fyzické aktivity (např. běh, box, hokej, fotbal, běh na lyžích, ...). Pro každou kategorii uvádějí počet aktivit delších než 15 minut

v běžném týdnu, kdy se dané aktivitě věnovali. Na základě těchto údajů se vypočítává celkové skóre pohybové aktivity pomocí váženého součtu:

- Lehké aktivity: počet jednotek $\times 3$
- Středně intenzivní aktivity: počet jednotek $\times 5$
- Vysoce intenzivní aktivity: počet jednotek $\times 9$

Celkové skóre je poté využito k rozdělení respondentů do tří kategorií:

1. **Neaktivní jedinci** (celkové skóre ≤ 14),
2. **Středně aktivní jedinci** (celkové skóre 15–23),
3. **Vysoce aktivní jedinci** (celkové skóre ≥ 24).

Protože byl dotazník dostupný pouze v anglickém jazyce, bylo nutné provést jeho překlad do češtiny. Přestože má GLTEQ velmi jednoduchou strukturu, byla provedena test-retest analýza překladu k ověření jeho spolehlivosti. Test-retest reliabilita byla ověřena u vzorku 60 jedinců, studentů Katedry tělesné výchovy a sportu Jihočeské univerzity. Tito jedinci byli náhodně rozděleni do dvou skupin: první skupina ($n=30$) vyplnila dotazník v anglickém jazyce, zatímco druhá skupina ($n=30$) obdržela jeho českou verzi. Po dvou týdnech byl každému účastníkovi předložen dotazník v druhém jazyce.

Pro hodnocení test-retest reliability překladu byl použit Intra-Class Correlation Coefficient (ICC) typu (2,1), který zohledňuje jak meziindividuální variabilitu, tak i časovou variabilitu. Výpočty byly provedeny v softwaru Rstudio (version 1.0.153; RStudio, Inc., Boston, MA) s výslednou hodnotou ICC=0,82.

4.3 Design experimentu

Po naplnění kvót pomocí dotazníku pohybové aktivity GLTEQ a následném náhodném rozdělení probandů do experimentálních a kontrolních skupin proběhlo první testování v Laboratoři zátěžové diagnostiky na Katedře tělesné výchovy a sportu Jihočeské univerzity. V průběhu této návštěvy byli účastníci detailně seznámeni s protokolem studie, a po dostatečném čase na prostudování podepsali informovaný souhlas. Vstupní i výstupní měření probíhalo ve standardizovaných podmínkách, vždy v ranních hodinách (8:00–11:00) ve stejném laboratorním prostředí. Účastníci byli požádáni, aby neprováděli žádnou intenzivní fyzickou aktivitu 24 hodin před vstupním a výstupním testováním.

4.3.1 Analýza antropometrie

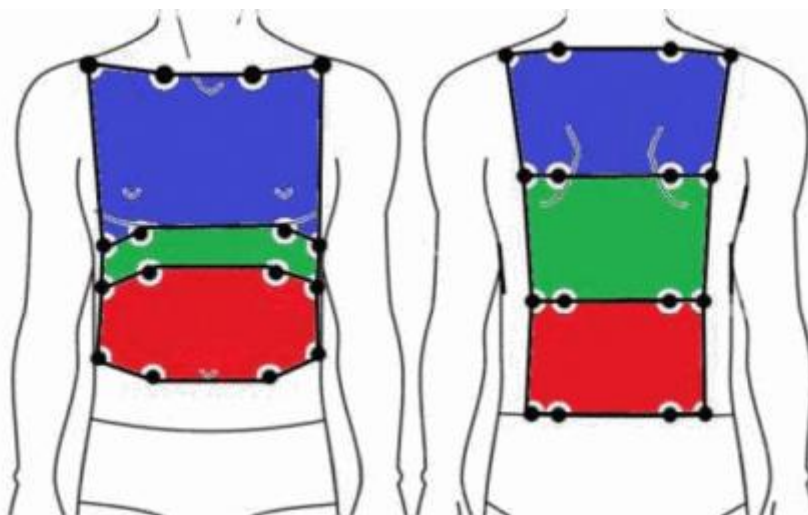
Základní antropometrické parametry zahrnovaly měření tělesné výšky [cm] pomocí stadiometru BSM 370 (InBody Co., Soul, Jižní Korea) a tělesné hmotnosti [kg] za použití přístroje InBody 770 (InBody Co., Soul, Jižní Korea). Pro zajištění přesnosti měření byli účastníci požádáni, aby se svlékli do spodního prádla.

4.3.2 Měření pomocí optoelektronické pletysmografie (OEP)

Po dokončení antropometrických měření bylo přistoupeno k nalepení 32 reflexních markerů na povrch těla účastníků (Obrázek 8). Markery byly aplikovány na hrudník, břicho a záda dle standardizovaného protokolu publikovaného ve studiích Massaroni et al. (2017), Massaroni et al. (2018) a Presti et al. (2020). Přední část rámce vymezeného markerů obsahuje čtyři horizontální řady (na úrovni 2. žebra, processus xiphoideus, 10. žebra a břišní příčné linie) a čtyři rovnoměrně rozmístěné vertikální řady začínající mezi přední a střední axilární linií. Zadní část rámce je tvořena symetrickou mřížkou (Massaroni et al., 2018). Konkrétně bylo použito 12 sférických a 20 hemisférických markerů o průměru 10 mm. Proces aplikace markerů byl prováděn výhradně jedním školeným laborantem, aby byla zajištěna přesnost a konzistence mezi jednotlivými měřeními.

Obrázek 8

Rozmístění 32 markerů na hrudníku a zádech



(Massaroni et al., 2017)

Přesnost OEP při měření dechových objemů byla validována v předchozích studiích porovnáním s hodnotami získanými spirometry a pneumotachometry. Maximální odchylka mezi hodnotami nepřesahovala 4 %, přičemž korelace mezi těmito metodami byla velmi vysoká (Aliverti et al., 2001; Schena et al., 2015). Intraraterová

a interraterová spolehlivost OEP byla testována jak v klidových podmínkách, tak při submaximálním zatížení, přičemž byly zaznamenány hodnoty koeficientu vnitřní konzistence nad 0,75 a variabilita pod 10 % (Massaroni et al., 2017; Vieira et al., 2013).

Po aplikaci markerů byl proband umístěn na běžecký pás do prostoru vymezeného pro měření pohybu OEP systémem, přibližně do jeho středu z hlediska zorného pole kamer. Tato poloha byla zvolena tak, aby byl účastník optimálně pokryt zorným polem všech kamer a pohyby mohly být snímány s maximální přesností ve frontální i sagitální rovině. Použitý OEP systém (BTS Bioengineering, Miláno, Itálie), zahrnoval osm infračervených kamer (pět umístěných vpředu a tři vzadu), které měřily s přesností na 0,2 mm při frekvenci 60 Hz (viz Obrázek 9).

Obrázek 9

Rozmístění infračervených kamer OEP systému



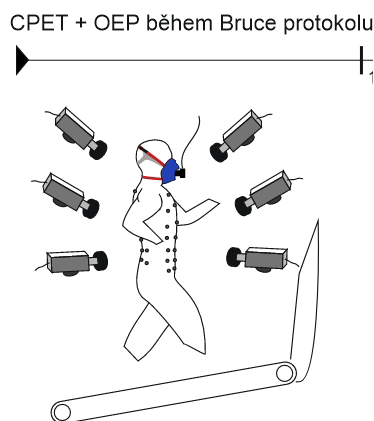
(zdroj vlastní)

Sledované parametry zahrnovaly čas inspiria (T_I), čas expiria (T_E) a zapojení jednotlivých dechových sektorů (horní hrudní V_{RCp} , dolní hrudní V_{RCa} a břišní V_{Ab}). Podíl zapojení jednotlivých dechových sektorů byl stanoven na základě rozdílu mezi objemem na konci nádechu a objemem na konci výdechu. Přesný postup výpočtu kinematiky

hrudní stěny pomocí OEP byl detailně popsán v předchozích studiích (Aliverti & Pedotti, 2002; Massaroni et al., 2018; Massaroni et al., 2017). Data z OEP byla kontinuálně zaznamenávána během celého testu (Obrázek 10), přičemž analýza byla provedena na úseku posledních 30 sekund před dosažením VT1 a VT2.

Obrázek 10

Design testového protokolu



(zdroj vlastní)

Sběr dat probíhal pomocí softwaru OEPcapture (BTS Bioengineering, Milano, Italy) a následné procesování 3D dat bylo dokončeno s využitím softwarů SMARTtracker a OEPanalyzer (oba: BTS Bioengineering, Miláno, Itálie).

4.3.3 Spiroergometrické vyšetření

Spiroergometrické vyšetření bylo prováděno na běžeckém ergometru Valiant Plus (Lode, Groningen, Nizozemsko) se simultánním měřením (breath-by-breath) prostřednictvím spirometru MetaLyzér® 3B (Cortex, Německo). Při každém testu byla použita suchá turbínka, zatímco hadička pro analýzu plynů byla měněna po každých třech testech. Přístroj byl před každým měřením kalibrován pomocí 3litrové kalibrační pumpy (Cortex, Německo) v souladu s doporučeními Americké hrudní společnosti (ATS) a Evropské respirační společnosti (ERS) pro spiroergometrii (Miller et al., 2005).

Plyny byly vedeny do analyzátoru pomocí hadičky, kde byly analyzovány koncentrace CO₂ a O₂. Kalibrace senzorů plynů byla provedena před začátkem studie pomocí standardních kalibračních směsí obsahujících 5 % CO₂, 15 % O₂ a zbytek N₂.

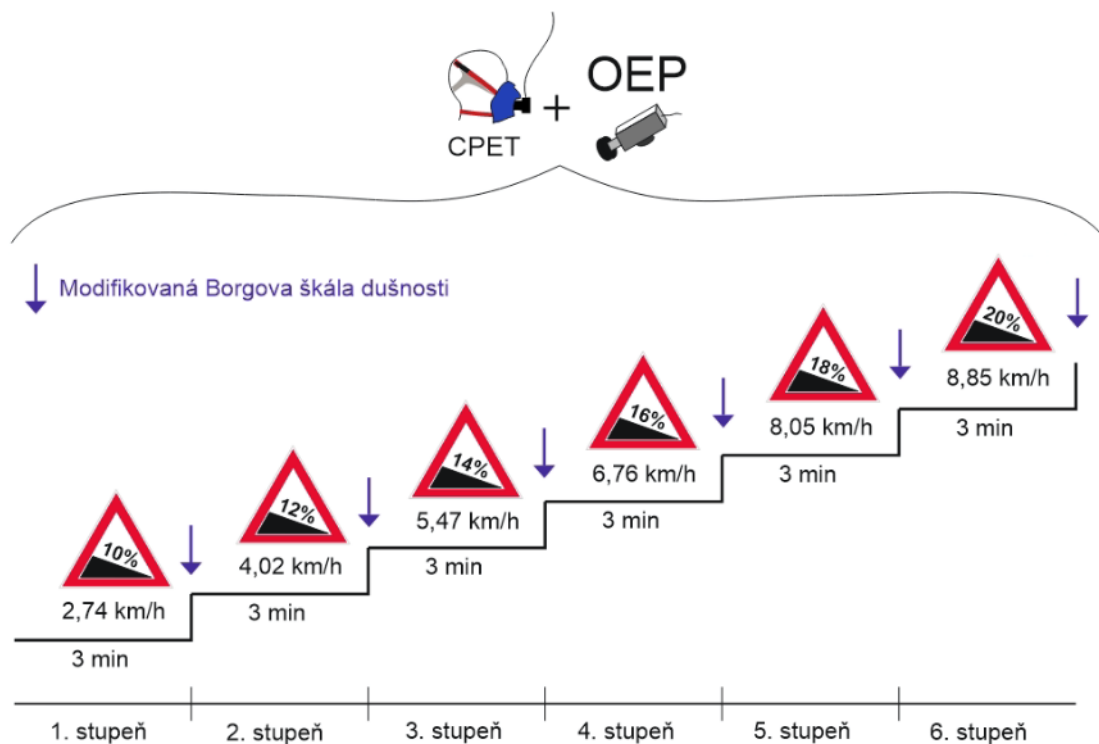
Pro měření byly použity obličejové masky HANS RUDOLPH (Kansas City, USA) ve velikostech Extra Small, Small a Medium, které umožňují současné dýchání ústy i nosem. Mrtvý prostor masky se lišil v závislosti na velikosti, přičemž pro Extra Small (XS) byl 115 ml, pro Small (S) 126 ml a pro Medium (M) 152 ml (Hans Rudolph, 2012). Každému

účastníkovi byla individuálně přizpůsobena nejvhodnější velikost, přičemž před zahájením měření byla ověřena správná těsnost masky, aby byla zajištěna maximální přesnost sběru dat.

Spiroergometrický test byl prováděn podle standardizovaného Bruce protokolu (Obrázek 11), který je charakteristický postupným zvyšováním sklonu běžeckého pásu v pravidelných intervalech, zatímco rychlost se zvyšuje jen minimálně. Tento přístup byl zvolen zejména s ohledem na neaktivní účastníky, aby se minimalizovalo riziko předčasného ukončení testu z důvodu obav z vysoké rychlosti běhu.

Účastníci byli během testu motivováni k dosažení maximálního výkonu prostřednictvím standardní verbální podpory. Test byl ukončen signálem zvednutím ruky účastníka, což signalizovalo dosažení subjektivně vnímaného maxima zátěže. Mezi sledované parametry patřily dechový objem (VT), dechová frekvence (BF), ventilační ekvivalent kyslíku (VE/VO_2) a oxidu uhličitého (VE/VCO_2), sklon ventilační efektivity (VE/VCO_2 slope) a spotřeba kyslíku (VO_2). Dále byly analyzovány ventilační prahy (VT1 a VT2), které sloužily k hodnocení kardiorespirační zdatnosti a efektivity ventilace během zátěže.

Obrázek 11
Zátěžový protokol



(zdroj vlastní)

Pro analýzu dat a stanovení ventilačních prahů byl využit software MetaSoft Studio (verze 5.5.1, Cortex, Leipzig, Německo). Pro stanovení ventilačních prahů v této studii byl VT1 určen na základě současného zvýšení ventilačního ekvivalentu kyslíku (VE/VO_2) a parciálního tlaku kyslíku na konci výdechu (PET_{O_2}) bez doprovodného zvýšení ventilačního ekvivalentu oxidu uhličitého (VE/VCO_2) (Pallarés et al., 2016). Druhý ventilační práh byl stanoven na základě simultánního zvýšení VE/VO_2 a VE/VCO_2 , které bylo doprovázeno poklesem parciálního tlaku oxidu uhličitého na konci výdechu (PET_{CO_2}) (Lucía et al., 2000; Pallarés et al., 2016). Současně je nutné dodat, že participantů nedostali žádné pokyny k dýchání během pre ani post spiroergometrických testů.

4.3.4 Subjektivní hodnocení dušnosti

Na konci každé fáze zátěžového protokolu spiroergometrického testu (viz Obrázek 11) byla participantovi předložena Borgova modifikovaná škála dušnosti (0–10). Tato škála je široce používaným nástrojem pro hodnocení intenzity subjektivního vnímání dušnosti a její validita a reliabilita byly potvrzeny v předchozích studiích (Grippo et al., 2010; Mahler & Horowitz, 1994). Participant byl s touto škálou podrobně seznámen před zahájením testu, aby bylo zajištěno její správné pochopení a jednotné použití. Participantovi byla položena otázka: "Představte si, že číslo 0 znamená, že vůbec necítíte dušnost, a číslo 10 znamená, že se nemůžete nadechnout. Kde byste se zařadil/a na této škále?". Prezentace škály probíhala vždy v posledních pěti sekundách na konci každé fáze testu.

Získaná data poskytla cenné informace o subjektivním vnímání dýchání, které doplnily objektivní fyziologické parametry. Tento přístup umožnil komplexnější interpretaci výsledků, zejména při hodnocení individuálních rozdílů v toleranci zátěže a ventilační odpovědi na fyzickou aktivitu.

4.3.5 Dechová intervence

Dechová intervence probíhala po dobu šesti týdnů, s každodenním cvičením v celkovém rozsahu přibližně 45 minut denně. Po vstupním laboratorním testování následovala úvodní informační schůzka, která sloužila k detailní instruktáži dechových technik. Setkání probíhala ve skupinách po maximálně pěti účastnících, vždy do tří dnů od vstupního testu. Během šedesátiminutové schůzky byli probandi seznámeni

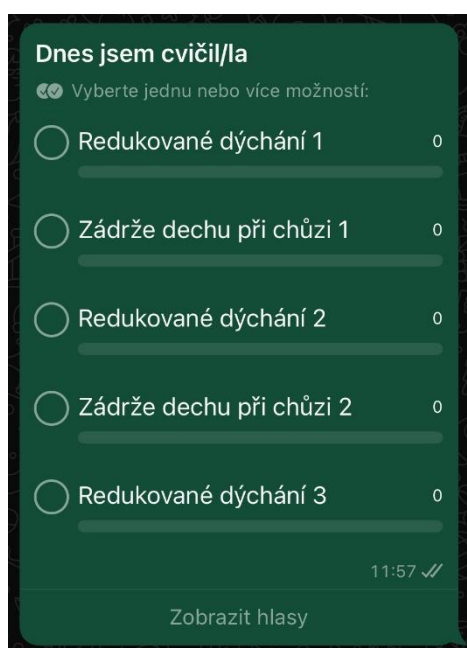
s teoretickými základy metodiky i praktickým provedením jednotlivých cvičení. Důraz byl kladen na standardizaci provedení a správné osvojení techniky pod dohledem výzkumného týmu.

Skupinová setkání byla následně zopakována ve druhém a třetím týdnu intervence. Každý účastník tak absolvoval celkem tři instruktážní schůzky – první do tří dnů po vstupním testování a další dvě v průběhu druhého a třetího týdne. Pro obě následné schůzky byly k dispozici tři termíny, z nichž si účastníci mohli zvolit ten, který jim vyhovoval. Na každém setkání byla připomenuta nutnost zachování stálého objemu a intenzity pohybové aktivity po celou dobu intervence, aby se eliminoval vliv rozdílné zátěže na sledované ventilační parametry.

Dodržování intervence bylo systematicky monitorováno prostřednictvím krátkých dotazníkových šetření realizovaných ve WhatsApp skupině (viz Obrázek 12).

Obrázek 12

Anketa plnění intervenčního cvičení



Dnes jsem cvičil/la

🗳️ Vyberte jednu nebo více možností:

- ☐ Redukované dýchání 1 0
- ☐ Zadržé dechu při chůzi 1 0
- ☐ Redukované dýchání 2 0
- ☐ Zadržé dechu při chůzi 2 0
- ☐ Redukované dýchání 3 0

11:57 ✓

Zobrazit hlasy

(zdroj vlastní)

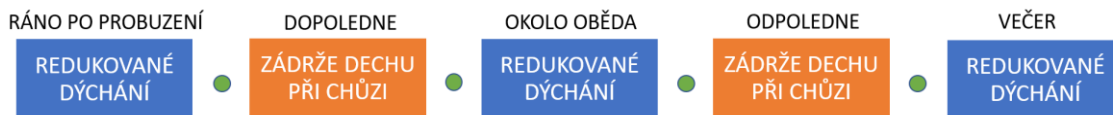
Zařazení do výstupního testování bylo podmíněno splněním minimálně 90 % předepsaných cvičení redukovaného dýchání a 90 % zadržích dechu při chůzi.

Intervenční program byl navržen na základě odborné literatury a ověřených studií (Chaudhary et al., 2021; Fahrizal, 2017; Kusumaningtyas & Handari, 2024; McKeown, 2015; Yakovleva et al., 2016). Program byl rozdělen do pěti cvičebních jednotek denně: třikrát redukované dýchání a dvakrát zadržé dechu při chůzi (viz

Obrázek 13). Detailní popis dechových cvičení je uveden v přílohách této práce, včetně prezentace použité během informačních schůzek.

Obrázek 13

Denní rozpis cvičení



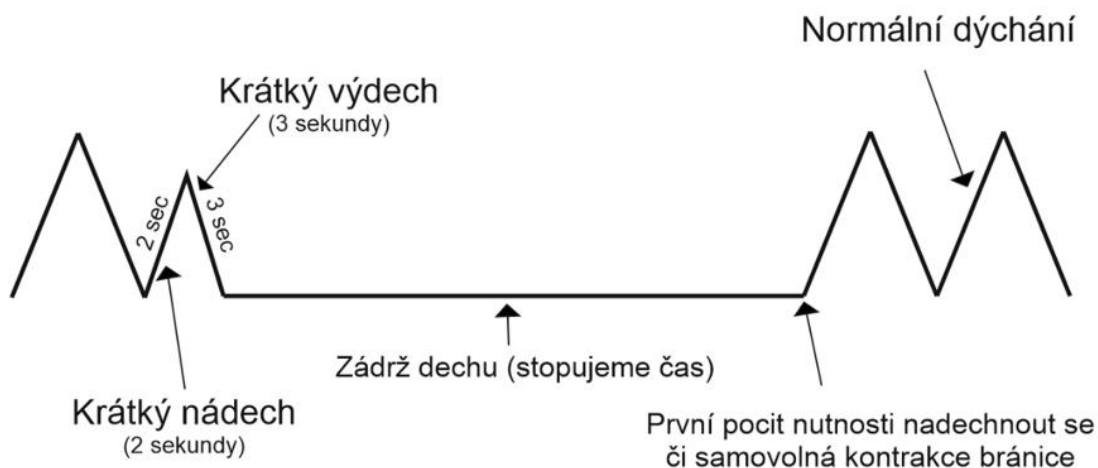
(zdroj vlastní)

Redukované dýchání

Cvičení redukovaného dýchání bylo prováděno ve vzpřímeném sedu a začínalo měřením kontrolní pauzy (Obrázek 14). První kontrolní pauza byla zaznamenána ihned po probuzení do zápisového archu. Kontrolní pauza (KP) byla definována jako interval mezi výdechem a prvním nutkáním k nádechu. Měření bylo standardizováno pomocí manuálního sevření nosu a jeho přesnost byla podmíněna zachováním dechové kontroly. Pokud účastník po ukončení zádrže ztratil kontrolu nad dechem, měření bylo považováno za neplatné a bylo nutné její opakování po dvou minutách.

Obrázek 14

Kontrolní pauza



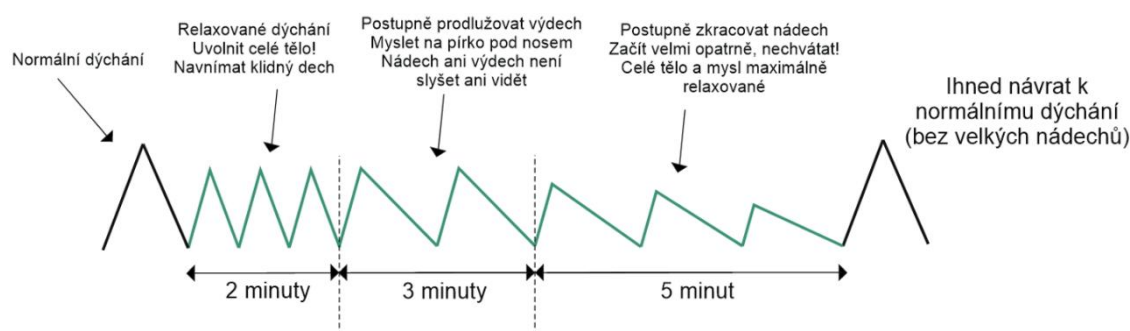
(zdroj vlastní)

Samotné cvičení redukovaného dýchání trvalo deset minut a jeho cílem bylo postupné snížení objemu vdechovaného vzduchu (Obrázek 15). První dvě minuty byly zaměřeny na uvědomění si dechového rytmu a uvolnění tělesného napětí v oblasti břicha, obličeje a ramen. Další tři minuty se soustředily na prodlužování výdechu, přičemž bylo doporučeno využít vizualizace, například představou jemného pohybu

pírka pod nosem. Závěrečná fáze (6.–10. minuta) byla zaměřena na redukci objemu nádechů, přičemž bylo žádoucí, aby účastník pociťoval mírnou touhu po vzduchu. Klíčové bylo zachování relaxovaného stavu, což umožnilo organismu adaptovat se na snížený objem vdechovaného vzduchu.

Obrázek 15

Redukované dýchání



(zdroj vlastní)

Zádrže dechu při chůzi

Zádrže dechu při chůzi byly realizovány dvakrát denně (v dopoledních a odpoledních hodinách) a každá cvičební jednotka trvala přibližně 7–10 minut. Po minutové chůzi s přirozeným nosním dýcháním následovala zádrž dechu, která byla provedena po krátkém, přirozeném výdechu (cca 2–3 sekundy). Účastník se poté snažil zadržet dech po dobu chůze tak, aby vyvolal středně silné nutkání k nádechu, typicky v rozsahu 5–30 kroků. Délka zádrže nebyla kvantifikována externě, ale byla řízena vlastním vnímáním účastníka, bez dosažení diskomfortu či nutkání k hlubokému nádechu.

Účastníkům bylo zdůrazněno, že se nejedná o maximální zádrž, ale o submaximální techniku zaměřenou na řízené zadržení dechu. Následovala minutová chůze s normálním dýcháním. Každá jednotka obsahovala pět cyklů zádrže. Důraz byl kladen na zachování nosního dýchání, plynulého pohybu a klidného obnovení dechového rytmu po zádrži.

Z bezpečnostních důvodů byli z intervence vyloučeni jedinci s anamnézou kolapsových stavů, kardiovaskulárních onemocnění nebo epilepsie. Účastníci byli poučeni, aby cvičení prováděli v klidném prostředí, bez rušivých podnětů, a okamžitě přerušili zádrž při jakémkoli nepříjemném symptomu. Cílem bylo zvyšovat toleranci na CO₂ a zlepšit dechovou kontrolu bez negativní stresové odezvy.

4.3.6 Kontrolní skupina

Kontrolní skupina neabsolvovala žádnou dechovou intervenci po celou dobu studie. Bylo jí však explicitně instruováno, aby po celou dobu výzkumu zachovala stejnou úroveň fyzické aktivity, včetně objemu a intenzity, jako na začátku studie.

Úkolem kontrolní skupiny bylo sledovat a zaznamenávat hodnoty KP ihned po probuzení, stejným způsobem jako experimentální skupina. Instrukce k měření kontrolní pauzy obdrželi účastníci bezprostředně po dokončení vstupního laboratorního testování, včetně podrobného metodického postupu. Naměřené hodnoty byly systematicky zaznamenávány prostřednictvím online záznamového listu uloženého na sdíleném OneDrive souboru, což umožnilo průběžnou kontrolu a sběr dat během celé intervence.

4.4 Statistické zpracování

Pro statistické zpracování dat byla použita dvoufaktorová analýza rozptylu smíšeného designu (mixed-design ANOVA), a to se dvěma faktory: skupina (meziskupinový faktor – EXP vs. KON) a čas (vnitroskupinový faktor – PRE vs. POST). Tato analýza byla provedena samostatně pro soubor fyzicky aktivních jedinců a pro soubor fyzicky neaktivních jedinců, aby mohl být posouzen vliv intervence v každé z těchto skupin zvlášť. Závislými proměnnými byly jednotlivé sledované parametry.

Normalita rozložení dat byla ověřena pomocí Shapiro-Wilkova testu, který byl aplikován na všechny sledované proměnné. Homogenita rozptylů byla kontrolována Leveneho testem. V případě, že data nesplňovala předpoklad normality či homogenity, byla namísto mixed-design ANOVA zvolena její neparametrická alternativa – Aligned Rank Transform ANOVA (ART-ANOVA).

Statistické testování bylo prováděno na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Nulová hypotéza byla zamítána při $p<0,05$. Pro posouzení věcné významnosti (effect size, ES) byl použit ukazatel parciální eta-kvadrát (η_p^2), jehož interpretace byla provedena dle běžně používaných hraničních hodnot: malý efekt ($\eta_p^2=0,01-0,05$), střední efekt ($\eta_p^2=0,06-0,13$) a velký efekt ($\eta_p^2\geq 0,14$) (Cohen, 2013).

Statistické analýzy byly provedeny v softwaru Statistica 14 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) a RStudio 2023.09.0 (Posit Software, PBC, Boston, MA, USA).

5 Výsledky výzkumu

5.1 Dotazník pohybové aktivity

Dotazník pohybové aktivity byl předložen participantům na počátku studie s cílem kategorizovat je do skupiny aktivních či neaktivních jedinců. Současně byl dotazník vyplněn i po skončení intervenčního období, aby bylo možné vyloučit případné změny sledovaných parametrů v důsledku zvýšení nebo snížení celkové úrovně fyzické aktivity.

Tabulka 6 prezentuje skóre pohybové aktivity u aktivních a neaktivních jedinců v úvodním a závěrečném měření. U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině ke zvýšení pohybového skóre o 3,1 bodu (6 %), zatímco v KON skupině byl zaznamenán pokles o 1,5 bodu (-2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,202$, $p=0,689$, $\eta_p^2=0,001$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k poklesu pohybového skóre o 1,4 bodu, zatímco v KON skupině zůstaly hodnoty téměř beze změny (nárůst o 0,1 bodu, 2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,411$, $p=0,523$, $\eta_p^2=0,007$).

Tabulka 6

Výsledné hodnoty dotazníku pohybové aktivity na začátku a konci studie u aktivní a neaktivní populace

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
Pohyb. skóre [body]	EXP	64,5 ± 26,8	68,4 ± 31,8	3,1	0,202	0,689	0,001
	KON	60,5 ± 18,9	58,8 ± 17,2	-1,5			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
Pohyb. skóre [body]	EXP	6,8 ± 4,6	5,4 ± 4,7	-1,4	0,411	0,523	0,007
	KON	5,4 ± 4,4	5,5 ± 4,3	0,1			

Poznámka: EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p -hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.2 Kontrolní pauzy

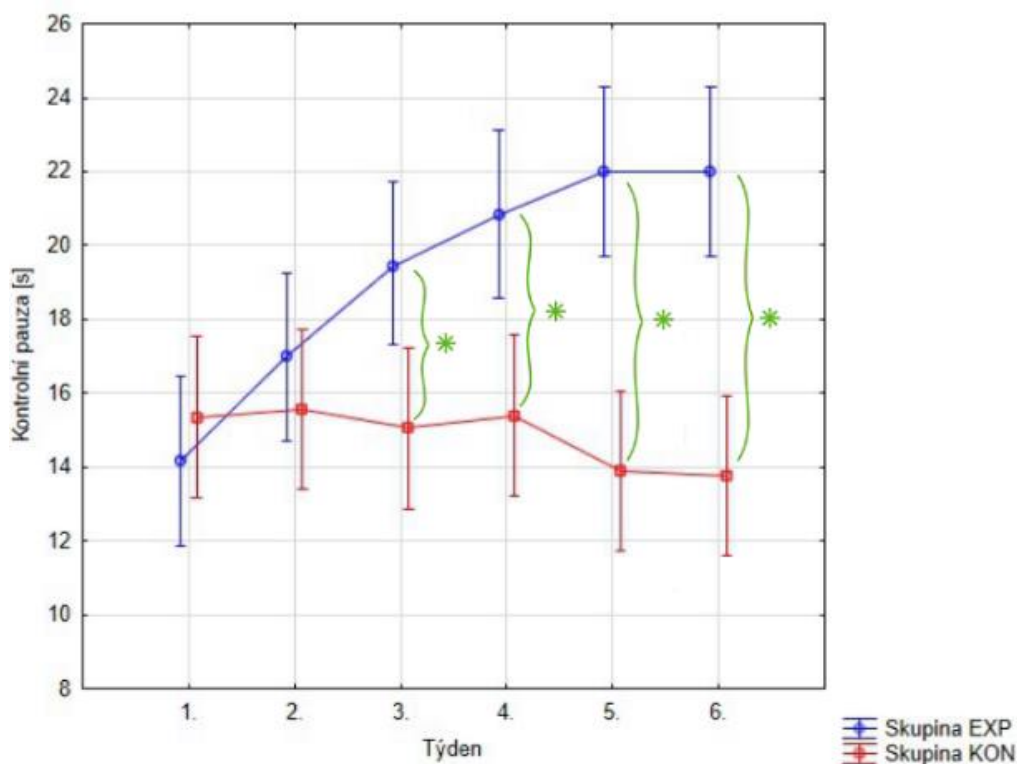
Kontrolní pauzy všech participantů byly měřeny denně ihned po probuzení, přičemž do analýzy byly zahrnuty průměrné hodnoty za jednotlivé týdny intervence. Na Obrázku 16 jsou uvedeny průměrné hodnoty kontrolní pauzy (KP) v sekundách pro experimentální (EXP) a kontrolní (KON) skupinu aktivních jedinců v průběhu šesti týdnů.

V průběhu sledovaného období došlo v EXP skupině k postupnému nárůstu hodnot, zatímco v KON skupině zůstaly hodnoty relativně stabilní. V 1. a 2. týdnu nebyl mezi skupinami pozorován statisticky významný rozdíl ($p=0,461$ a $p=0,337$), přičemž procentuální rozdíl mezi skupinami činil 7,8 % a 8,8 %.

Od 3. týdne se hodnoty v EXP skupině začaly významně odlišovat od KON skupiny, přičemž rozdíl mezi skupinami dosáhl 22,1 % ($p<0,01$). Tento trend pokračoval i v následujících týdnech, kdy ve 4. týdnu činil rozdíl 26,0 % ($p<0,01$), v 5. týdnu 37,1 % ($p<0,01$) a v 6. týdnu 37,4 % ($p<0,01$).

Obrázek 16

Hodnoty kontrolní pauzy v průběhu intervence u aktivních jedinců



Poznámka: Vertikální čáry představují 95% Confidence Interval; * – statistická významnost na hladině $p<0,01$.

Obrázek 17 reprezentuje průměrné hodnoty kontrolní pauzy v sekundách pro experimentální a kontrolní skupinu neaktivních jedinců v průběhu šesti týdnů.

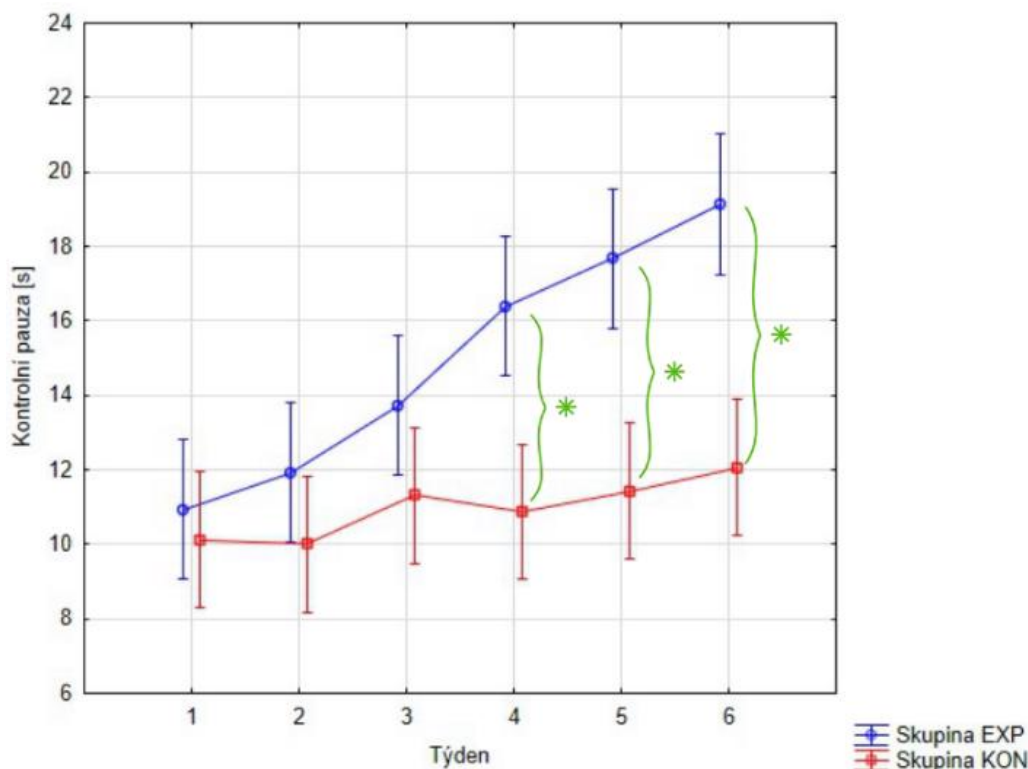
V průběhu sledovaného období došlo v EXP skupině k postupnému nárůstu hodnot, zatímco v KON skupině zůstaly hodnoty relativně stabilní. V 1. až 3. týdnu nebyl mezi skupinami pozorován statisticky významný rozdíl ($p=0,81$; $p=0,53$; $p=0,34$), přičemž procentuální rozdíl mezi skupinami činil 7,3 %, 15,9 % a 17,5 %.

Od 4. týdne se hodnoty v EXP skupině začaly významně odlišovat od KON skupiny, přičemž rozdíl mezi skupinami dosáhl 33,5 % ($p<0,01$). Tento trend pokračoval i v

následujících týdnech, kdy v 5. týdnu činil rozdíl 36,1 % ($p<0,01$) a v 6. týdnu 36,6 % ($p<0,01$).

Obrázek 17

Hodnoty kontrolní pauzy v průběhu intervence u neaktivních jedinců



Poznámka: Vertikální čáry představují 95% Confidence Interval; * – statistická významnost na hladině $p<0,01$.

5.3 Ventilační prahy a čas zátěže

Tabulka 7 prezentuje časové parametry VT1, VT2 a celkové doby zátěže u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k navýšení času do dosažení VT1 o 7,6 %, zatímco v KON skupině byl nárůst pouze o 1,7 %. Rozdíl mezi skupinami však nebyl statisticky významný ($F=0,290$, $p=0,591$, $\eta_p^2=0,004$). Čas do dosažení VT2 se v EXP skupině prodloužil o 5,3 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému zkrácení o 0,7 %. Tento rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,256$, $p=0,266$, $\eta_p^2=0,017$). Celkový čas zátěže v EXP skupině vzrostl o 1,7 %, zatímco v KON skupině došlo ke snížení o 0,4 %. Statistická analýza neprokázala signifikantní rozdíl mezi skupinami ($F=0,137$, $p=0,712$, $\eta_p^2=0,001$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k navýšení času do dosažení VT1 o 4,5 %, zatímco v KON skupině byl zaznamenán pokles o 0,7 %.

Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,088$, $p=0,768$, $\eta_p^2=0,001$). Čas do dosažení VT2 se v EXP skupině mírně zkrátil o 1,4 %, zatímco v KON skupině došlo k nárůstu o 0,9 %, avšak bez statisticky významného rozdílu ($F=0,287$, $p=0,593$, $\eta_p^2=0,004$). Celkový čas zátěže v EXP skupině zůstal téměř nezměněn (0,6 %), podobně jako v KON skupině (-0,7 %), přičemž statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=0,163$, $p=0,958$, $\eta_p^2=0,000$).

Celkově nebyly mezi skupinami zaznamenány statisticky významné rozdíly v žádném z časových parametrů.

Tabulka 7

Čas dosažení VT1, VT2 a celkový čas zátěže u aktivní a neaktivních jedinců před a po intervenci

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
Čas VT1 [s]	EXP	273,2 ± 55,9	295,5 ± 83,4	21,9	0,290	0,591	0,004
	KON	278,2 ± 97,5	279,0 ± 95,5	0,8			
Čas VT2 [s]	EXP	557,6 ± 67,7	585,8 ± 93,2	28,3	1,256	0,266	0,017
	KON	604,2 ± 18,9	598,9 ± 42,8	-5,3			
Čas zátěže [s]	EXP	823,5 ± 94,1	835,8 ± 84,0	12,3	0,137	0,712	0,001
	KON	834,8 ± 100,6	830,9 ± 101,8	-4			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
Čas VT1 [s]	EXP	233 ± 53,3	235,8 ± 53,2	2	0,088	0,768	0,001
	KON	235 ± 45,5	230 ± 31,7	-4,8			
Čas VT2 [s]	EXP	494,4 ± 38,4	485 ± 31,0	-7,8	0,287	0,593	0,004
	KON	476,3 ± 50,7	479,7 ± 56,5	3,4			
Čas zátěže [s]	EXP	697,3 ± 52,9	693,1 ± 47,7	-5,1	0,163	0,958	0,000
	KON	668,3 ± 49,9	664,2 ± 61,4	-4,1			

Poznámka: EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.4 Ventilační parametry

5.4.1 Hodnoty dosažené při VT1

Tabulka 8 prezentuje změny ventilačních parametrů při dosažení VT1 u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci. Sledované parametry zahrnují dechovou frekvenci (BF), dechový objem (VT) a minutovou ventilaci (VE).

U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 14,7 %, zatímco v KON skupině se BF zvýšila o 8,7 %. Rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný ($F=6,988$, $p=0,010$, $\eta_p^2=0,088$). VT v EXP skupině vzrostlo o 10,4 %, zatímco v KON skupině se VT zvýšilo o 8,7 %.

zatímco v KON skupině pokleslo o 5 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,648$, $p=0,203$, $\eta_p^2=0,022$). VE v EXP skupině kleslo o 6 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř beze změny (-0,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,403$, $p=0,527$, $\eta_p^2=0,005$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 6,7 %, zatímco v KON skupině o 1,4 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,474$, $p=0,494$, $\eta_p^2=0,008$). VT v EXP skupině vzrostlo o 7,8 %, zatímco v KON skupině kleslo o 1,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,580$, $p=0,449$, $\eta_p^2=0,009$). VE v EXP skupině se snížilo o 1,1 %, zatímco v KON skupině došlo pouze k minimální změně (-0,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,009$, $p=0,924$, $\eta_p^2=0,000$).

Tabulka 8

Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	22,2 ± 4,2	18,8 ± 3,5	-3,4	6,988	0,010	0,088
	KON	23,5 ± 4,6	25,0 ± 3,7	1,5			
VT [l]	EXP	1,82 ± 0,44	1,97 ± 0,34	0,15	1,648	0,203	0,022
	KON	1,68 ± 0,43	1,59 ± 0,44	-0,09			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	38,6 ± 4,6	36,2 ± 6,1	-2,4	0,403	0,527	0,005
	KON	38,9 ± 8,9	38,7 ± 7,8	-0,3			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	23,5 ± 3,4	21,6 ± 3,1	-1,5	0,474	0,494	0,008
	KON	24,4 ± 5,9	24,1 ± 4,0	-0,3			
VT [l]	EXP	1,50 ± 0,36	1,60 ± 0,40	0,10	0,580	0,449	0,009
	KON	1,54 ± 0,37	1,50 ± 0,36	-0,04			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	32,8 ± 3,3	32,5 ± 4,5	-0,3	0,009	0,924	0,000
	KON	35,5 ± 3,8	35,3 ± 4,2	-0,1			

Poznámka: BF – dechová frekvence; VT – dechový objem; VE – minutová ventilace; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.4.2 Hodnoty dosažené při VT2

Tabulka 9 uvádí hodnoty ventilačních parametrů dosažené při VT2 u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 14 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota BF téměř beze změny (-1,1 %). Rozdíl

mezi skupinami byl statisticky významný ($F=4,904$, $p=0,029$, $\eta_p^2=0,166$). VT v EXP skupině vzrostlo o 11,4 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému poklesu o 1,6 %, avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,579$, $p=0,123$, $\eta_p^2=0,088$). VE v EXP skupině kleslo o 2,1 %, zatímco v KON skupině došlo ke snížení o 2,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,007$, $p=0,934$, $\eta_p^2=0,000$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 11,8 %, zatímco v KON skupině byl zaznamenán nárůst o 3,5 %. Rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný ($F=2,754$, $p=0,030$, $\eta_p^2=0,045$). VT v EXP skupině vzrostlo o 5,8 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř nezměněno (-0,5 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,381$, $p=0,539$, $\eta_p^2=0,006$). VE v EXP skupině se snížilo o 7 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému nárůstu o 2,1 %. Statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=1,155$, $p=0,286$, $\eta_p^2=0,019$).

Tabulka 9

Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	30,9 ± 4,3	26,4 ± 3,7	-4,4	4,904	0,029	0,166
	KON	37,2 ± 3,5	36,8 ± 4,5	-0,3			
VT [l]	EXP	2,35 ± 0,45	2,61 ± 0,48	0,25	1,579	0,123	0,088
	KON	2,30 ± 0,52	2,26 ± 0,56	-0,03			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	73,0 ± 15,8	70,3 ± 11,3	-2,7	0,007	0,934	0,000
	KON	86,5 ± 16,8	84,5 ± 20,1	-2,1			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	31,3 ± 2,8	27,5 ± 3,2	-3,1	2,754	0,030	0,045
	KON	32,0 ± 6,8	32,9 ± 7,6	0,9			
VT [l]	EXP	1,96 ± 0,30	2,08 ± 0,43	0,10	0,381	0,539	0,006
	KON	2,01 ± 0,28	2,00 ± 0,48	-0,01			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	61,8 ± 9,0	57,3 ± 7,7	-3,7	1,155	0,286	0,019
	KON	64,0 ± 11,4	64,9 ± 10,2	0,9			

Poznámka: BF – dechová frekvence; VT – dechový objem; VE – minutová ventilace; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty naměřené před intervencí; POST – hodnoty naměřené po intervenci; MD – průměrná změna mezi PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas), F – poměr rozptylů, p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta-kvadrát.

5.4.3 Hodnoty dosažené při $VO_2\text{peak}$

Tabulka 10 představuje hodnoty ventilačních parametrů u aktivní a neaktivní skupiny před a po intervenci dosažené při $VO_2\text{peak}$.

U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 3,6 %, zatímco v KON skupině se snížila o 3,2 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,004$, $p=0,947$, $\eta_p^2=0,000$). VT v EXP skupině vzrostlo o 5,3 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř nezměněno (+0,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,235$, $p=0,629$, $\eta_p^2=0,003$). VE v EXP skupině zůstalo téměř beze změny (+0,8 %), zatímco v KON skupině došlo k mírnému snížení o 3,9 %, avšak statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=0,175$, $p=0,676$, $\eta_p^2=0,002$).

U neaktivních jedinců (n=31; EXP n=15, KON n=16) došlo v EXP skupině k poklesu BF o 3,2 %, zatímco v KON skupině o 2,1 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,014$, $p=0,951$, $\eta_p^2=0,000$). VT v EXP skupině vzrostlo o 4,1 %, zatímco v KON skupině došlo k nárůstu o 2,1 %, avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,024$, $p=0,877$, $\eta_p^2=0,000$). VE v EXP skupině vzrostlo o 0,3 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému poklesu o 0,2 %, přičemž rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,006$, $p=0,937$, $\eta_p^2=0,000$).

Tabulka 10

Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení $\dot{V}O_{2peak}$

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	44,8 ± 7,5	42,8 ± 7,5	-1,9	0,004	0,947	0,000
	KON	53,1 ± 4,9	51,4 ± 5,4	-1,7			
VT [l]	EXP	2,75 ± 0,47	2,88 ± 0,45	0,13	0,235	0,629	0,003
	KON	2,52 ± 0,61	2,53 ± 0,69	0,01			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	121,8 ± 22,9	122,5 ± 25,3	0,8	0,175	0,676	0,002
	KON	134,7 ± 33,9	129,7 ± 35,4	-4,9			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
BF [n·min ⁻¹]	EXP	44,2 ± 5,0	42,7 ± 4,2	-1,5	0,014	0,951	0,000
	KON	45,6 ± 9,2	44,3 ± 8,7	-1,3			
VT [l]	EXP	2,32 ± 0,39	2,41 ± 0,41	0,07	0,024	0,877	0,000
	KON	2,28 ± 0,35	2,34 ± 0,48	0,05			
VE [l·min ⁻¹]	EXP	101,4 ± 13,2	102,6 ± 15,2	1,2	0,006	0,937	0,000
	KON	101,9 ± 18,5	101,2 ± 20,0	-0,7			

Poznámka: BF – dechová frekvence; VT – dechový objem; VE – minutová ventilace; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty naměřené před intervencí; POST – hodnoty naměřené po intervenci; MD – průměrná změna mezi PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta-kvadrát.

5.5 Ukazatelé spotřeby kyslíku a efektivity dýchání

5.5.1 Hodnoty dosažené při VT1

V tabulce 11 je možné vidět parametry spotřeby kyslíku (VO_2), ventilačních ekvivalentů kyslíku (VE/VO_2) a oxidu uhličitého (VE/VCO_2) při dosažení VT1 u skupiny aktivních a neaktivních jedinců.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k mírnému poklesu VO_2 o 1,5 %, zatímco v KON skupině kleslo o 3,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný. VE/VO_2 se v EXP skupině snížilo o 4,1 %, zatímco v KON skupině vzrostlo o 5,3 % ($p=0,028$, $\eta_p^2=0,064$). VE/VCO_2 se v EXP skupině snížilo o 4,7 %, zatímco v KON skupině došlo k nárůstu o 2,7 % (bez statistické významnosti).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k nárůstu VO_2 o 7,9 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř beze změny (-0,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,020$, $p=0,316$, $\eta_p^2=0,017$). VE/VO_2 v EXP skupině pokleslo o 4,1 %, zatímco v KON skupině o 1,0 %, avšak bez statistické významnosti mezi skupinami. VE/VCO_2 v EXP skupině kleslo o 5,0 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř beze změny (+0,4 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl však statisticky významný ($p=0,264$, $\eta_p^2=0,021$).

Tabulka 11

Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	21,4 ± 2,5	21,2 ± 2,3	-0,2	0,266	0,607	0,003
	KON	21,6 ± 3,0	20,8 ± 2,7	-0,8			
VE/VO ₂	EXP	22,7 ± 2,4	21,7 ± 2,3	-1,0	4,983	0,028	0,064
	KON	23,4 ± 1,5	24,6 ± 1,9	1,2			
VE/VCO ₂	EXP	25,6 ± 2,6	24,3 ± 2,3	-1,2	2,989	0,088	0,039
	KON	27,3 ± 1,9	28,0 ± 2,8	0,7			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	20,4 ± 2,4	21,9 ± 3,6	1,3	1,020	0,316	0,017
	KON	20,1 ± 1,8	20,0 ± 3,2	-0,1			
VE/VO ₂	EXP	22,6 ± 1,9	21,7 ± 2,3	-0,8	0,374	0,543	0,006
	KON	24,6 ± 1,6	24,2 ± 1,5	-0,3			
VE/VCO ₂	EXP	26,5 ± 2,2	25,2 ± 2,4	-1,1	1,267	0,264	0,021
	KON	28,1 ± 2,5	28,2 ± 2,2	0,1			

Poznámka: VO_2 – spotřeba kyslíku; VE/VO_2 – ventilační ekvivalent kyslíku; VE/VCO_2 – ventilační ekvivalent oxidu uhličitého; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.5.2 Hodnoty dosažené při VT2

V tabulce 12 je možné vidět parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání (VE/VO_2 , VE/VCO_2 a VE/VCO_2 slope) u aktivních a neaktivních jedinců při dosažení VT2 před začátkem intervence a po jejím konci. Parametr VE/VCO_2 slope byl stanoven automaticky pomocí softwaru MetaSoft Studio (Cortex, Leipzig, Německo), který vypočítává směrnici lineární regrese vztahu mezi VE a VCO_2 . Výpočet byl omezen na úsek do VT2, v souladu s doporučením Várnay et al. (2020), aby se předešlo zkreslení hodnoty nelineární ventilací v pozdější fázi zátěže. Výsledky byly následně vizuálně zkontrolovány, přičemž byl hodnocen zlom lineární závislosti. V případech, kdy z grafu nebyl zlom jednoznačně identifikovatelný, byla daná data vyloučena jak z předtestového, tak z posttestového hodnocení.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k nárůstu VO_2 o 2,5 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému poklesu o 0,7 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,389$, $p=0,534$, $\eta_p^2=0,005$). VE/VO_2 v EXP skupině kleslo o 4,1 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř beze změny (-0,3 %), avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,710$, $p=0,402$, $\eta_p^2=0,009$). VE/VCO_2 v EXP skupině kleslo o 6,2 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému poklesu o 1,8 %, přičemž rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,898$, $p=0,346$, $\eta_p^2=0,012$). VE/VCO_2 slope se v EXP skupině snížilo o 13,8 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř nezměněno (-0,2 %). Tento rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný ($F=7,956$, $p=0,006$, $\eta_p^2=0,099$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k mírnému poklesu VO_2 o 0,4 %, zatímco v KON skupině došlo k téměř shodnému snížení o 0,2 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,001$, $p=0,971$, $\eta_p^2=0,000$). VE/VO_2 v EXP skupině kleslo o 5 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému nárůstu o 1,7 %, avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=2,219$, $p=0,141$, $\eta_p^2=0,036$). VE/VCO_2 v EXP skupině kleslo o 5,7 %, zatímco v KON skupině vzrostlo o 1,6 %, přičemž rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=2,110$, $p=0,151$, $\eta_p^2=0,035$). VE/VCO_2 slope se v EXP skupině snížilo o 6,3 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému zvýšení o 2 %, přičemž rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,092$, $p=0,300$, $\eta_p^2=0,018$).

Tabulka 12

Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	35,6 ± 5,1	36,8 ± 6,0	1,2	0,389	0,534	0,005
	KON	39,4 ± 3,3	39,3 ± 3,8	-0,1			
VE/VO ₂	EXP	26,3 ± 2,8	25,1 ± 2,3	-1,2	0,710	0,402	0,009
	KON	29,6 ± 2,8	29,4 ± 2,4	-0,2			
VE/VCO ₂	EXP	25,6 ± 2,5	24,2 ± 1,9	-1,7	0,898	0,346	0,012
	KON	28,8 ± 2,7	28,2 ± 2,6	-0,6			
VE/VCO ₂ slope	EXP	27,1 ± 2,5	23,2 ± 2,1	-3,8	7,956	0,006	0,099
	KON	29,2 ± 3,5	29,2 ± 3,4	-0,01			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	32,6 ± 2,7	32,4 ± 2,1	-0,2	0,001	0,971	0,000
	KON	30,5 ± 3,8	30,3 ± 3,6	-0,2			
VE/VO ₂	EXP	27,6 ± 1,9	26,2 ± 1,8	-1,2	2,219	0,141	0,036
	KON	28,5 ± 2,9	28,9 ± 2,9	0,4			
VE/VCO ₂	EXP	25,9 ± 2,3	24,4 ± 1,9	-1,3	2,11	0,151	0,035
	KON	27,1 ± 3,3	27,6 ± 3,1	0,4			
VE/VCO ₂ slope	EXP	23,3 ± 3,1	21,7 ± 2,1	-1,4	1,092	0,300	0,018
	KON	26,2 ± 4,7	26,7 ± 5,4	0,5			

Poznámka: VO₂ – spotřeba kyslíku; VE/VO₂ – ventilační ekvivalent kyslíku; VE/VCO₂ – ventilační ekvivalent oxidu uhličitého; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.5.3 Hodnoty dosažené při VO₂peak

V tabulce 13 je možné vidět parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání (VE/VO₂ a VE/VCO₂) u aktivních a neaktivních jedinců při dosažení VO₂peak před začátkem intervence a po jejím konci.

U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k nárůstu VO₂ o 3,7 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř beze změny (-0,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný (F=0,368, p=0,545, η_p^2 =0,005). VE/VO₂ v EXP skupině kleslo o 0,8 %, zatímco v KON skupině došlo ke snížení o 2,0 %, avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný (F=0,020, p=0,886, η_p^2 =0,000). VE/VCO₂ v EXP skupině kleslo o 2,8 %, v KON skupině došlo ke snížení o stejnou hodnotu (-2,8 %). Statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami (F=0,001, p=0,980, η_p^2 =0,000).

U neaktivních jedinců (n=31; EXP n=15, KON n=16) došlo v EXP skupině k mírnému nárůstu VO_2 o 0,8 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému poklesu o 0,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,052$, $p=0,820$, $\eta_p^2=0,000$). VE/VO_2 v EXP skupině kleslo o 0,4 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému nárůstu o 0,4 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,028$, $p=0,867$, $\eta_p^2=0,000$). VE/VCO_2 v EXP skupině se snížilo o 3,1 %, zatímco v KON skupině vzrostlo o 2,2 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,03$, $p=0,314$, $\eta_p^2=0,017$).

Tabulka 13

Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VO_{2peak}

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	46,6 ± 5,8	48,1 ± 5,1	1,5	0,368	0,545	0,005
	KON	48,4 ± 5,8	48,3 ± 6,0	-0,1			
VE/VO ₂	EXP	33,9 ± 5,5	33,4 ± 5,0	-0,5	0,020	0,886	0,000
	KON	37,3 ± 3,1	36,5 ± 4,2	-0,8			
VE/VCO ₂	EXP	28,6 ± 4,5	27,6 ± 3,9	-1,0	0,001	0,980	0,000
	KON	32,5 ± 2,6	31,5 ± 3,1	-0,9			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
VO ₂ [ml·kg ⁻¹ min ⁻¹]	EXP	40,5 ± 3,6	40,7 ± 1,9	0,3	0,052	0,820	0,000
	KON	38,9 ± 4,2	38,6 ± 4,8	-0,3			
VE/VO ₂	EXP	35,1 ± 2,9	34,8 ± 2,8	-0,3	0,028	0,867	0,000
	KON	34,5 ± 5,7	34,5 ± 5,9	0,08			
VE/VCO ₂	EXP	28,2 ± 2,5	27,2 ± 1,7	-0,9	1,03	0,314	0,017
	KON	29,7 ± 3,8	30,3 ± 3,5	0,5			

Poznámka: VO_2 – spotřeba kyslíku; VE/VO_2 – ventilační ekvivalent kyslíku; VE/VCO_2 – ventilační ekvivalent oxidu uhličitého; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.6 Zapojení dechových sektorů a dechový cyklus

Analýza zapojení jednotlivých dechových sektorů (horní hrudní (V_{RCp}), spodní hrudní (V_{RCa}) a břišní (V_{Ab})) a průběhu dechového cyklu (čas nádechu (T_I) a výdechu (T_E)) byla provedena v průběhu 30 sekund před dosažením ventilačních prahů VT1 a VT2. Hodnoty při dosažení VO_{2peak} nebylo možné validně zpracovat vzhledem k narušení kvality dat, které bylo způsobeno výrazným předklonem participantů v důsledku vysokého sklonu běhátka. Tato změna posturálního nastavení vedla k nepřesnostem

v měření optoelektronické pletysmografie, a proto byla data při této zátěžové úrovni vyřazena z analýzy.

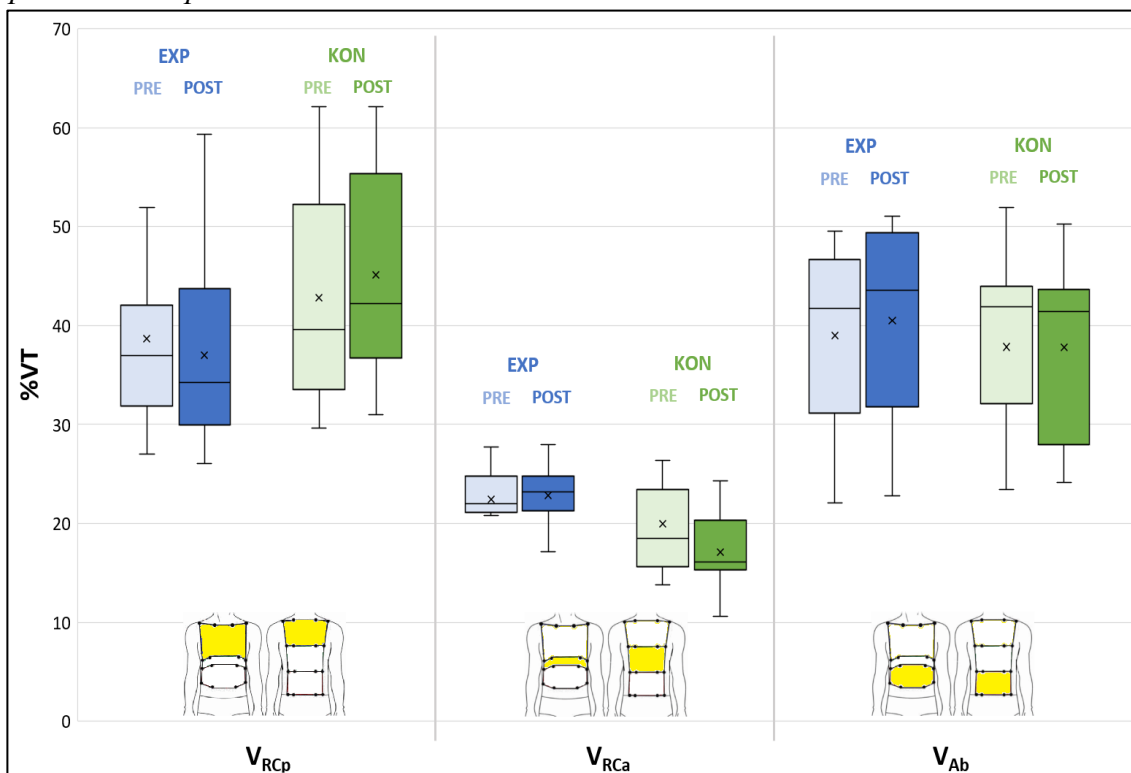
5.6.1 Hodnoty dosažené při VT1

Obrázek 18 představuje hodnoty zapojení jednotlivých dechových sektorů u aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení prvního ventilačního prahu.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k poklesu V_{RCp} o 2 %, zatímco v KON skupině se hodnota zvýšila o 3,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,603$, $p=0,440$, $\eta_p^2=0,008$). V_{RCa} v EXP skupině vzrostlo o 2,5 %, zatímco v KON skupině došlo k poklesu o 4,5 %, avšak rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=2,377$, $p=0,127$, $\eta_p^2=0,031$). V_{Ab} v EXP skupině vzrostlo o 4,5 %, zatímco v KON skupině zůstalo téměř beze změny (-0,6 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,095$, $p=0,758$, $\eta_p^2=0,001$).

Obrázek 18

Zapojení dechových sektorů aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT1



Poznámka: V_{RCp} – horní hrudní sektor; V_{RCa} – spodní hrudní sektor; V_{Ab} – břišní sektor; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; %VT – procento dechového objemu.

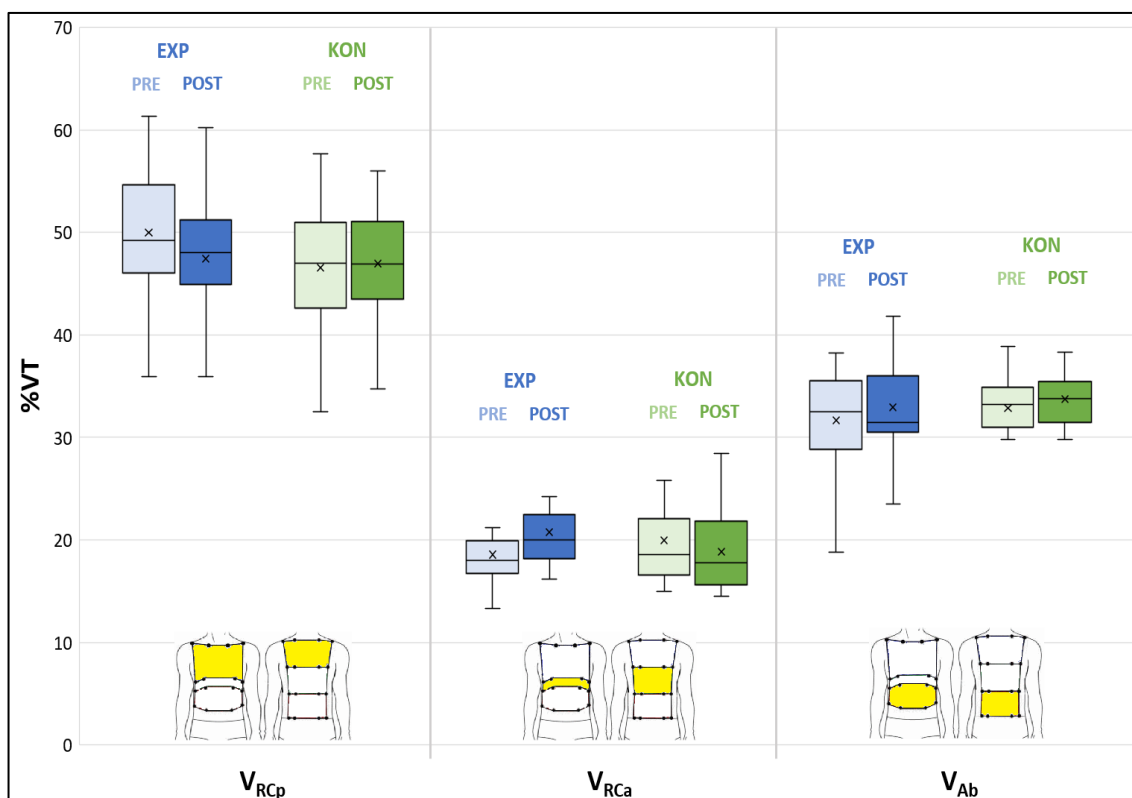
Obrázek 19 prezentuje hodnoty zapojení jednotlivých dechových sektorů u neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení prvního ventilačního prahu.

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k poklesu V_{RCp} o 4,7 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř beze změny (+0,6 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,69$, $p=0,409$, $\eta_p^2=0,011$). V_{RCa} v EXP skupině vzrostlo o 14,1 %, zatímco v KON skupině došlo k poklesu o 4 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=2,855$, $p=0,09$, $\eta_p^2=0,046$). V_{Ab} v EXP skupině vzrostlo o 4,9 %, zatímco v KON skupině došlo k nárůstu o 2,1 %. Statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=0,036$, $p=0,85$, $\eta_p^2=0,000$).

Celkově nebyly mezi skupinami zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly v žádném z hodnocených parametrů ventilačních sektorů.

Obrázek 19

Zapojení dechových sektorů neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT1



Poznámka: V_{RCp} – horní hrudní sektor; V_{RCa} – spodní hrudní sektor; V_{Ab} – břišní sektor; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; %VT – procento dechového objemu.

Tabulka 14 zobrazuje hodnoty času nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1.

U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k prodloužení T_I o 18,5 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř beze změny (-0,6 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=3,345$, $p=0,071$, $\eta_p^2=0,044$). T_E v EXP skupině vzrostlo o 7,5 %, zatímco v KON skupině došlo ke snížení o 4,4 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,024$, $p=0,114$, $\eta_p^2=0,034$).

U neaktivních jedinců (n=31; EXP n=15, KON n=16) došlo v EXP skupině k prodloužení T_I o 8,2 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř nezměněna (-0,4 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,082$, $p=0,302$, $\eta_p^2=0,018$). T_E v EXP skupině vzrostlo o 7,9 %, zatímco v KON skupině došlo k nárůstu o 2,1 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,533$, $p=0,468$, $\eta_p^2=0,009$).

Tabulka 14

Průměrný čas nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
T _I [s]	EXP	1,30 ± 0,25	1,51 ± 0,30	0,2	3,345	0,071	0,044
	KON	1,21 ± 0,24	1,19 ± 0,27	-0,02			
T _E [s]	EXP	1,48 ± 0,33	1,59 ± 0,17	0,11	1,024	0,114	0,034
	KON	1,39 ± 0,28	1,33 ± 0,28	-0,04			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
T _I [s]	EXP	1,20 ± 0,14	1,29 ± 0,20	0,08	1,082	0,302	0,018
	KON	1,15 ± 0,18	1,14 ± 0,20	-0,01			
T _E [s]	EXP	1,39 ± 0,19	1,49 ± 0,21	0,09	0,533	0,468	0,009
	KON	1,34 ± 0,22	1,36 ± 0,23	0,02			

Poznámka: T_I – čas nádechu; T_E – čas výdechu; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.6.2 Hodnoty dosažené při VT2

Obrázek 20 představuje hodnoty zapojení jednotlivých dechových sektorů u aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení druhého ventilačního prahu.

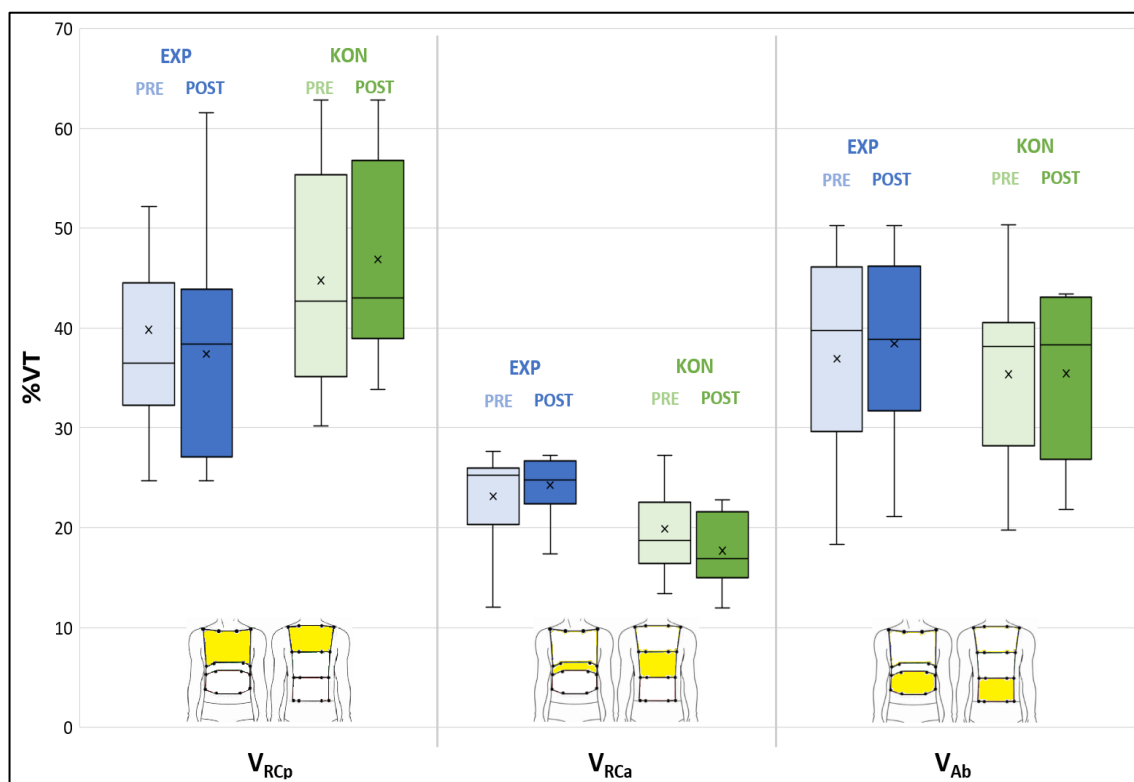
U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k minimální změně V_{RCp} (-2,2 %), zatímco v KON skupině se hodnota zvýšila o 4,4 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,260$, $p=0,611$, $\eta_p^2=0,003$). V_{RCa} v EXP skupině vzrostlo o 7,4 %, zatímco v KON skupině došlo k poklesu o 6,5 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=3,451$, $p=0,067$, $\eta_p^2=0,045$). V_{Ab} v EXP skupině zůstalo

téměř beze změny (-3,1 %), podobně jako v KON skupině (+1,6 %). Statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=0,012$, $p=0,912$, $\eta_p^2=0,000$).

Celkově nebyly mezi skupinami zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly v žádném z hodnocených parametrů ventilačních sektorů.

Obrázek 20

Zapojení dechových sektorů aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT2



Poznámka: V_{RCP} – horní hrudní sektor; V_{RCa} – spodní hrudní sektor; V_{Ab} – břišní sektor; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; %VT – procento dechového objemu.

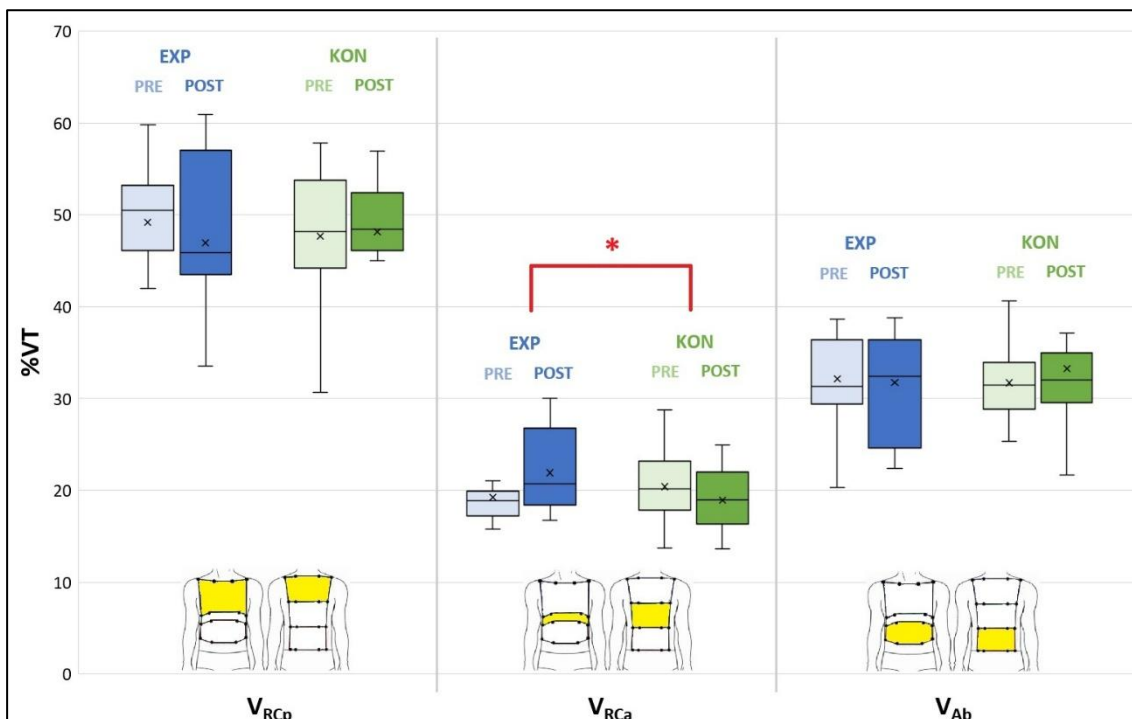
Obrázek 21 prezentuje hodnoty zapojení jednotlivých dechových sektorů u neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení druhého ventilačního prahu.

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k poklesu V_{RCP} o 5,4 %, zatímco v KON skupině se hodnota mírně zvýšila o 0,8 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,667$, $p=0,417$, $\eta_p^2=0,011$). V_{RCa} v EXP skupině vzrostlo o 15,4 %, zatímco v KON skupině došlo k poklesu o 5,8 %. Rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný ($F=4,67$, $p=0,034$, $\eta_p^2=0,074$). V_{Ab} v EXP skupině zůstalo téměř beze změny (-0,2 %), podobně jako v KON skupině (+4,5 %). Statistická analýza neprokázala významný rozdíl mezi skupinami ($F=0,498$, $p=0,483$, $\eta_p^2=0,008$).

Celkově byl statisticky významný rozdíl mezi skupinami zaznamenán pouze u V_{RCa} ($p=0,034$), zatímco ostatní parametry nevykazovaly signifikantní rozdíly mezi EXP a KON skupinou.

Obrázek 21

Zapojení dechových sektorů neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT2



Poznámka: V_{RCP} – horní hrudní sektor; V_{RCa} – spodní hrudní sektor; V_{Ab} – břišní sektor; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; %VT – procento dechového objemu; * – anova (skupina x čas) $p<0,05$.

Tabulka 15 zobrazuje hodnoty času nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2.

U aktivních jedinců ($n=38$; EXP $n=18$, KON $n=20$) došlo v EXP skupině k prodloužení T_I o 18,2 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř beze změny (+1,5 %). Rozdíl mezi skupinami byl na hranici statistické významnosti ($F=3,921$, $p=0,051$, $\eta_p^2=0,051$). T_E v EXP skupině vzrostlo o 15,8 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému nárůstu o 3 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=2,715$, $p=0,103$, $\eta_p^2=0,036$).

U neaktivních jedinců ($n=31$; EXP $n=15$, KON $n=16$) došlo v EXP skupině k prodloužení T_I o 2,7 %, zatímco v KON skupině zůstala hodnota téměř nezměněna (+1,2 %). Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,775$, $p=0,382$, $\eta_p^2=0,013$). T_E

v EXP skupině vzrostlo o 9,1 %, zatímco v KON skupině došlo k mírnému snížení o 2,1 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=0,835$, $p=0,238$, $\eta_p^2=0,031$).

Tabulka 15

Průměrný čas nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
T _I [s]	EXP	1,09 ± 0,21	1,27 ± 0,24	0,18	3,921	0,051	0,051
	KON	0,94 ± 0,16	0,94 ± 0,14	0,01			
T _E [s]	EXP	1,17 ± 0,18	1,35 ± 0,26	0,17	2,715	0,103	0,036
	KON	1,03 ± 0,19	1,05 ± 0,17	0,02			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Parametr	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
T _I [s]	EXP	1,09 ± 0,15	1,12 ± 0,18	0,03	0,775	0,382	0,013
	KON	0,86 ± 0,15	0,87 ± 0,20	0,01			
T _E [s]	EXP	1,17 ± 0,20	1,28 ± 0,27	0,11	0,835	0,238	0,031
	KON	0,93 ± 0,15	0,91 ± 0,19	-0,02			

Poznámka: T_I – čas nádechu; T_E – čas výdechu; EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

5.7 Subjektivní ukazatelé dušnosti

Tabulka 16 uvádí hodnoty subjektivního vnímání dušnosti v jednotlivých zátěžových fázích zátěžového testu u aktivních a neaktivních jedinců v experimentální a kontrolní skupině. Jedinec byl zařazen do analýzy pouze pokud dokončil stejný zátěžový stupeň v obou testech. U neaktivních jedinců není v tabulce zařazen 5. zátěžový stupeň, jelikož žádný z participantů tento stupeň nedokončil.

U aktivních jedinců (n=38; EXP n=18, KON n=20) došlo v EXP skupině k nejvýraznějšímu poklesu hodnot ve 2. stupni zátěže (-34 %) a ve 3. stupni zátěže (-23 %), zatímco v KON skupině došlo v těchto stupních k nárůstu o 4 % a 7 %. Rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný ve 2. stupni ($F=7,375$, $p=0,008$, $\eta_p^2=0,092$) a 3. stupni ($F=6,336$, $p=0,014$, $\eta_p^2=0,080$). Ve 4. a 5. stupni došlo v EXP skupině k poklesu o 18 % a 4,2 %, zatímco v KON skupině hodnoty zůstaly téměř nezměněny. Rozdíly mezi skupinami zde nebyly statisticky významné ($p>0,05$). Ihned po ukončení zátěžového testu zůstaly hodnoty v obou skupinách stabilní, bez statisticky významného rozdílu mezi EXP a KON skupinou ($F=0,384$, $p=0,537$, $\eta_p^2=0,005$).

U neaktivních jedinců (n=31; EXP n=15, KON n=16) byl nejvýraznější pokles hodnot v EXP skupině zaznamenán v 1. stupni zátěže (-47 %), zatímco v KON skupině došlo naopak

k mírnému nárůstu o 12 %. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($F=1,562$, $p=0,216$, $\eta_p^2=0,026$). Ve 3. a 4. stupni zátěže došlo v EXP skupině k poklesu o 15 % a 21 %, zatímco v KON skupině zůstaly hodnoty stabilní nebo mírně vzrostly. Ve 4. stupni se rozdíl mezi skupinami přiblížil statistické významnosti ($F=3,520$, $p=0,073$, $\eta_p^2=0,138$). Ihned po ukončení zátěžového testu došlo v obou skupinách k podobnému poklesu hodnot (-6 % v EXP, -5,5 % v KON), bez významného rozdílu mezi skupinami ($F=0,021$, $p=0,885$, $\eta_p^2=0,000$).

Celkově byly mezi skupinami statisticky významné rozdíly zaznamenány pouze ve 2. a 3. stupni zátěže u aktivních jedinců, zatímco u neaktivních jedinců nebyl zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl.

Tabulka 16

Subjektivní ukazatel dušnosti v jednotlivých zátěžových fázích u aktivních a neaktivních jedinců

Aktivní jedinci (n=38)					ANOVA		
Zátěž. stup.	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
1. stupeň	EXP (n=18)	0,7 ± 0,8	0,5 ± 0,6	-0,2	0,011	0,916	0,000
	KON (n=20)	1,2 ± 0,7	1,0 ± 0,7	-0,2			
2. stupeň	EXP (n=18)	2,4 ± 0,9	1,5 ± 0,5	-0,9	7,375	0,008	0,092
	KON (n=20)	2,6 ± 0,8	2,7 ± 1,0	0,1			
3. stupeň	EXP (n=18)	4,7 ± 1,2	3,5 ± 1,2	-1,2	6,336	0,014	0,080
	KON (n=20)	4,1 ± 1,2	4,4 ± 1,6	0,3			
4. stupeň	EXP (n=15)	6,5 ± 1,4	5,1 ± 1,9	-1,1	2,211	0,141	0,032
	KON (n=20)	7,1 ± 1,6	7,1 ± 2,3	0			
5. stupeň	EXP (n=6)	8,3 ± 0,5	7,3 ± 1,7	-0,8	2,387	0,136	0,094
	KON (n=6)	8,0 ± 1,0	8,3 ± 1,0	0,3			
Konec	EXP (n=18)	8,8 ± 1,4	8,6 ± 1,1	-0,2	0,384	0,537	0,005
	KON (n=20)	9,0 ± 0,9	9,1 ± 1,1	0,1			
Neaktivní jedinci (n=31)					ANOVA		
Zátěž. stup.	Skupina	PRE	POST	MD	F	p	η _p ²
1. stupeň	EXP (n=15)	1,3 ± 1,1	0,4 ± 0,6	-0,9	1,562	0,216	0,026
	KON (n=16)	1,3 ± 1,2	1,4 ± 1,4	0,1			
2. stupeň	EXP (n=18)	2,9 ± 1,5	2,1 ± 1,1	-0,7	0,627	0,431	0,010
	KON (n=20)	2,6 ± 1,9	2,6 ± 2,0	-0,1			
3. stupeň	EXP (n=15)	5,7 ± 1,6	4,6 ± 1,0	-1,1	0,965	0,330	0,016
	KON (n=16)	5,7 ± 2,0	5,6 ± 2,5	-0,1			
4. stupeň	EXP (n=7)	8,1 ± 1,1	6,4 ± 1,5	-0,8	3,520	0,073	0,138
	KON (n=6)	7,8 ± 1,3	8,2 ± 1,6	0,2			
Konec	EXP (n=15)	9,2 ± 1,1	8,7 ± 1,5	-0,5	0,021	0,885	0,000
	KON (n=16)	9,1 ± 1,0	8,6 ± 1,5	-0,5			

Poznámka: EXP – experimentální skupina; KON – kontrolní skupina; PRE – hodnoty před intervencí; POST – hodnoty po intervenci; MD – průměrný rozdíl mezi hodnotami PRE a POST; ANOVA – (skupina x čas); F – poměr rozptylů; p – p-hodnota; η_p^2 – parciální eta kvadrát.

6 Diskuse

Šestitýdenní trénink BDM vedl u fyzicky aktivních jedinců ke zlepšení ventilačních parametrů při zátěži. Nejvýraznější efekt byl pozorován v ukazateli ventilační efektivity (VE/VCO_2 slope), který se u aktivní experimentální skupiny snížil v průměru o ~14 %, zatímco u kontrolní skupiny zůstal beze změny ($p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,10$). Tento pokles naznačuje zlepšenou ventilační efektivitu, což znamená nižší ventilační nároky na eliminaci jednotkového množství oxidu uhličitého, a tedy úspornější dechový vzorec. Obdobný efekt byl popsán i v předchozích studiích, např. Winkelmann et al. (2009) zjistili, že samotný vytrvalostní trénink snižuje VE/VCO_2 slope o ~10 %, kdežto přidání dechového cvičení vedlo až k 31% redukci tohoto ukazatele. Naše data tak potvrzují, že vědomá dechová intervence může výrazně zlepšit ventilační odpověď na zátěž nad rámec běžného tréninku. Hypotéza H1 byla potvrzena – šestitýdenní intervence BDM vedla k významnému snížení VE/VCO_2 slope u aktivních jedinců.

6.1 Ventilační parametry

Pravděpodobným mechanismem tohoto zlepšení je snížení „nadbytečné“ ventilace při zátěži vlivem pomalejšího, hlubšího dýchání. Snížení dechové frekvence a zvýšení dechového objemu vede k lepší alveolární ventilaci a rekrutmentu alveolů, čímž se snižuje podíl mrtvého prostoru na ventilaci (Bilo et al., 2012; Hamazaki et al., 2019; Russo et al., 2017). VE/VCO_2 slope vykazuje významnou korelaci se sklonem ventilace mrtvého prostoru k produkci CO_2 (VD/VCO_2). Tento vztah naznačuje, že snížená ventilace mrtvého prostoru přispívá k nižší hodnotě sklonu VE/VCO_2 (Farina et al., 2018; Hamazaki et al., 2019; Metra et al., 1992). V souladu s tím jsme u aktivních jedinců zaznamenali významné zpomalení dechu při submaximální zátěži a tendenci k vyššímu VT. Dechová frekvence u aktivní experimentální skupiny poklesla při dosažení VT1 o ~14,7 % ($p = 0,01$; $\eta_p^2 = 0,09$) a při VT2 v průměru o ~14 % ($p = 0,03$; $\eta_p^2 = 0,17$), zatímco aktivní kontrolní skupina vykazovala po 6 týdnech mírné zvýšení BF při VT1 (z ~24 na 25 $n \cdot \text{min}^{-1}$) a při VT2 téměř žádnou změnu (-1 %). Tyto výsledky ukazují, že trénink BDM dokáže u fyzicky aktivních osob zpomalit dýchání při zátěži. Hypotéza H2 byla potvrzena – šestitýdenní intervence BDM vedla k významnému snížení BF u aktivních jedinců při dosažení VT2.

Naše pozorování jsou v souladu s literaturou. Illi et al. (2012) ve své meta-analýze obdobně popsali, že různé formy respiračního tréninku vedou ke zpomalení dechu a zlepšení dechové efektivity při zátěži. Autoři to přisuzují lepší neuro-muskulární kontrole dýchání a zvýšené toleranci ke CO₂ – což koresponduje s principy BDM. V naší studii došlo po intervenci i k mírnému nárůstu VT u aktivních jedinců (o ~8–11 % při VT1 a VT2), zatímco kontrolní skupina vykázala spíše stagnaci či mírný pokles VT (-5 %; -1 %, při VT1, resp. VT2). Ačkoli změny dechového objemu nebyly statisticky významné, věcná významnost změny při dosažení VT2 dosáhla středního efektu ($\eta_p^2=0,09$). Naše výsledky jsou ve shodě se studií Bahenský et al. (2020), kde cílené dechové cvičení (na bázi jógy) vedlo u vytrvalostních běžců ke snížení BF o ~5,4–14,4 % a zvýšení VT o ~5,7–18,3 % (vše $p<0,01$). Tato zjištění naznačují, že cílená dechová cvičení (včetně BDM) mohou zlepšit mechaniku dýchání zvýšením dechového objemu a snížením dechové frekvence u fyzicky aktivních jedinců.

U neaktivních jedinců byly změny v parametrech VE/VCO₂ slope a VT v méně výrazné. Parametr VE/VCO₂ slope se u experimentální skupiny snížil o ~6,3 % avšak tento pokles nebyl statisticky významný vůči kontrolní skupině ($p=0,30$, $\eta_p^2=0,02$). Hypotéza H3 tak nebyla potvrzena – šestitýdenní intervence BDM nevedla k významnému snížení VE/VCO₂ slope u neaktivních jedinců. BF v neaktivní experimentální skupině sice také klesla (o ~6–12 % podle intenzity), avšak pokles byl statisticky významný oproti kontrolní skupině pouze při dosažení VT2 (-11,8 %; $p=0,03$; $\eta_p^2=0,05$). Hypotéza H4 byla potvrzena – šestitýdenní intervence BDM vedla k významnému snížení BF u neaktivních jedinců při dosažení VT2.

Dechový objem neaktivních jedinců rovněž vykazoval tendenci nárůstu (o ~7,8 % při VT1 a ~5,8 % při VT2), avšak tyto rozdíly opět nebyly statisticky ani věcně významné vůči kontrolní skupině ($p=0,45$; $p=0,54$). Zdánlivě tedy neaktivní jedinci profitovali z BDM méně než aktivní – jejich ventilace se sice zpomalila a prohloubila, avšak bez statisticky významného rozdílu oproti kontrolní skupině (s výjimkou BF při VT2).

Paradoxně přehledová studie autorů Illi et al. (2012) uvádí, že právě méně trénovaní mohou z dechového tréninku těžit více, protože mají větší prostor ke zlepšení dechové efektivity.

Naše odlišné zjištění (větší efekt u aktivních) naznačuje, že Buteyková metoda pravděpodobně nepůsobí jen jako fyzický trénink dechových svalů, ale především jako

nácvik dechové kontroly a psychofyziologické odolnosti. Aktivní jedinci možná dokázali naučenou techniku lépe aplikovat při zátěži – měli silnější dýchací svaly (Hackett, 2020) a větší funkční rezervu (Segizbaeva, 2021), takže mohli výrazněji zpomalit dech a prodloužit výdech. Naproti tomu neaktivní mohli při zátěži dříve sklouznout k povrchnímu rychlému dýchání vlivem slabší vytrvalosti dechových svalů (Callegaro et al., 2011) a menší odolnosti vůči stresu.

Efektivita samotného provádění dechových cvičení mohlo rovněž významně ovlivnit dosažené výsledky. BDM je založena na vědomém vnímání dechu a regulaci pocitu dušnosti (McKeown, 2015; Yakovleva et al., 2016), což naznačuje, že fyzicky aktivní jedinci mohli efektivněji internalizovat správný dechový vzor a rychleji optimalizovat provádění dechových cvičení ve srovnání s jedinci neaktivními. Tento předpoklad podporuje i odlišná dynamika nárůstu ranní kontrolní pauzy (KP) mezi oběma skupinami. KP funguje jako nástroj pro měření doby zádrže dechu po výdechu do prvního nutkání k nádechu a je považována za subjektivní indikátor schopnosti organismu tolerovat zvýšenou hladinu CO_2 (McKeown, 2004; McKeown, 2015; Yakovleva et al., 2016). Zatímco u aktivních jedinců byly významné rozdíly mezi experimentální a kontrolní skupinou v hodnotách KP patrné již ve třetím týdnu intervence, u neaktivních se signifikantní změny projeví až ve čtvrtém týdnu. Tento časový odstup může reflektovat nižší úroveň proprioceptivní kontroly dechu a horší subjektivní koordinaci dýchání u neaktivních jedinců, což by mohlo vést k opožděné adaptaci na dechový trénink ve srovnání s fyzicky aktivní populací. Celkově však platí, že pozitivní trend (pokles BF, nárůst VT a snížení VE/VCO_2 slope) se v naší studii projevil u obou skupin, avšak u neaktivních jedinců nebyla prokázána statistická významnost změn vůči kontrolní skupině (s výjimkou BF při dosažení VT2).

6.2 Ventilační prahy a VO_2max

Vliv samotné dechové intervence na posun ventilačních prahů se ukázal jako omezený. U aktivních jedinců došlo po BDM k prodloužení času do dosažení VT1 a VT2 v průměru o ~5–8 % (projevil se tedy trend posunu prahů k vyšší intenzitě zátěže), avšak rozdíly oproti kontrolní skupině nebyly statisticky významné ($p=0,60$, $p=0,27$; při VT1, resp. VT2). U neaktivních se žádný systematický posun VT1/VT2 neprokázal – hodnoty zůstaly prakticky stejné jako před intervencí. To naznačuje, že bez současného

aerobního tréninku BDM nepřinesla za 6 týdnů výraznější zlepšení metabolické výkonnosti. Mezi klíčové parametry ovlivňující ventilační prahy totiž patří svalová kapilarizace a mitochondriální hustota, které určují oxidativní kapacitu kosterních svalů a tím i schopnost zpracovávat laktát a využívat kyslík při vyšší intenzitě zátěže. Vyšší hustota mitochondrií a rozsáhlejší kapilární síť zajišťují efektivnější dodávku a využití kyslíku, což vede k oddálení přechodu do anaerobního metabolismu a posunu ventilačních prahů směrem k vyšším intenzitám (Poole & Jones, 2012). VO_2peak zůstalo v našem experimentu rovněž prakticky nezměněno. Aktivní skupina zaznamenala po BDM jen nepatrné zvýšení VO_2peak (~3–4 %), které nebylo významné oproti kontrolní skupině ($p=0,55$). U neaktivních jedinců byla změna minimální (0,8 %). Tento výsledek je v souladu s očekáváním: VO_2peak bývá primárně limitována centrálními faktory jako je srdeční výkon (Lundby et al., 2017; Wagner, 2000), difuzí kyslíku ve svalové tkáni (Wagner, 1996, 2000), kapilarizací svalů (Noakes, 2003) a množstvím červených krvinek (Lundby et al., 2017), takže samotná optimalizace dýchání pravděpodobně nemá tak dramatický efekt jako klasický vytrvalostní trénink.

Naproti tomu některé studie naopak uvádějí zlepšení VO_2max po dechových intervencích (Chaudhary et al., 2021; Fahrizal, 2017; Kusumaningtyas & Handari, 2024; Obhaliya & Mehta, 2022). Kusumaningtyas & Handari (2024) prokázali u skupiny studentů fyzioterapie, že aplikace BDM vedla po čtyřech týdnech k významnému zvýšení VO_2max oproti kontrolní skupině (~4,2 %, $p=0,03$). Podobně Chaudhary et al. (2021) zjistili u trénovaných fotbalistů nárůst VO_2max v průměru o 15,5 % po 6 týdnech dechového cvičení BDM, zatímco u kontrolní skupiny nedošlo ke změně. Uvedené studie je však nutné interpretovat s opatrností, neboť maximální spotřeba kyslíku nebyla stanovena přímou analýzou výdechových plynů, ale byla odvozena na základě prediktivních rovnic z výsledků Harvard Step Testu a Yo-Yo testu. V naší práci se samotná BDM neukázala jako dostatečný stimul ke zvýšení VO_2peak , což koresponduje s tím, že limitace výkonu ležela jinde než v dýchání.

6.3 Subjektivní vnímání dušnosti

Zajímavým zjištěním je vliv BDM na subjektivní pocit dušnosti (vnímanou námahu při dýchání), hodnocený pomocí Borgovy modifikované škály dyspnoe (dušnosti). Aktivní jedinci v experimentální skupině udávali při zátěžovém testu po intervenci nižší

subjektivní dušnost než před ní – a to především v druhém ($\sim 34\%$, $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,09$) a třetím zátěžovém stupni ($\sim 23\%$, $p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,08$). To naznačuje, že nácvik pomalého dýchání zvýšil toleranci vůči nepříjemným dechovým vjemům při zátěži. Jedinci po BDM nepociťovali tak brzy „dechovou krizi“ ani nutkání zrychlit dýchání, díky čemuž mohli dále pokračovat v zátěži bez subjektivního limitu dechu. Tento efekt je velmi cenný, neboť psychické limity a pocit dušnosti často předcházejí fyziologickým limitům výkonu (Tong et al., 2004). Dyspnoe je přitom komplexní vjem, který zahrnuje nejen senzorické složky spojené s mechanikou dýchání, ale i afektivní a kognitivní komponenty ovlivněné emocemi, pozorností a anticipací (Lansing et al., 2009). U neaktivních jedinců byl také pozorován pokles subjektivního vnímání dušnosti ($\sim 23\%$), avšak bez statistické či věcné významnosti.

Naše výsledky jsou v souladu s poznatky z klinických studií: např. McHugh et al. (2003) prokázali, že aplikace Buteykovy metody u astmatiků vedla ke zmírnění dechových potíží a zlepšení kvality života pacientů. Podobně u zdravých sportovců zaznamenali Chaudhary et al. (2021) pokles úzkosti o $\sim 12\%$ po dechové intervenci BDM, spolu se zlepšením objektivních výkonů. Metaanalýza zaměřená na dechová cvičení v podmínkách regulované hypoxie rovněž dospěla k závěru, že respirační trénink obecně snižuje vnímanou námahu a zlepšuje fyzickou výkonnost při zhoršených dýchacích podmínkách (Álvarez-Herms et al., 2019).

Z neurofyziologického hlediska je dechová frekvence při zátěži běžně řízena převážně centrálními neurogenními podněty – signály z motorické kůry a limbického systému – a rychlou zpětnou vazbou z periferních receptorů (svalová propriocepce), zatímco pomalejší chemoreflexní vlivy hrají menší roli (Nicolò et al., 2016, 2017, 2018; Nicolò & Sacchetti, 2023). To znamená, že emoční stav a vůlí ovlivněný dech mohou významně modifikovat ventilaci při námaze. Vysoká psychická tenze nebo stres typicky zvyšují centrální podnět k ventilaci a vyvolávají tachypnoe (tzv. „bojová nebo úniková“ reakce) (Bernardi et al., 2000). Nácvik pomalého, kontrolovaného dýchání tomuto centrálnímu zrychlování dechu brání – působí jako vědomá protiváha (Mason et al., 2013). BDM učí jedince uvolnit se a vědomě zpomalit dech, čímž snižuje vliv stresu na ventilaci. Nicolò et al. (2017) dále uvádějí, že rychlé zvýšení ventilace na začátku zátěže je z velké části dáno centrálním příkazem, nikoli bezprostřední metabolickou potřebou.

Navíc existuje úzký vztah mezi dechovou frekvencí a vnímanou námahou. Bylo opakovaně prokázáno, že dechová frekvence silně koreluje se subjektivně vnímanou námahou (Cochrane-Snyman et al., 2019; Nicolò et al., 2018). Lze spekulovat, že pomalejší dýchání může do jisté míry „ošálit“ mozek, aby vnímal danou zátěž jako méně namáhavou. Nižší dechová frekvence tak může vést k nižšímu subjektivnímu vjemu námahy na dané intenzitě, což se může projevit i zlepšením výkonu nebo pozitivnějším psychickým nastavením.

6.4 Mechanismy působení BDM

Pozorované změny lze vysvětlit působením BDM na více úrovních regulace dýchání. Jak bylo zmíněno výše, BDM dokáže do jisté míry utlumit centrální příkaz ke zrychlenému dýchání (např. tím, že jedinec zůstane mentálně klidnější a soustředí se na dech), čímž se nástup hyperventilace oddálí (Bowler et al., 1998). Zároveň pomalé hluboké dýchání aktivuje parasympatikus: specificky dráždí vaguální receptory a některé interoceptivní oblasti mozku, které navozují relaxační odpověď. Studie ukazují, že pomalá dechová cvičení zvyšují variabilitu srdeční frekvence a posouvají autonomní rovnováhu směrem k vagové (parasympatické) dominanci (Russo et al., 2017; Sevoz-Couche & Laborde, 2022).

Dalším klíčovým mechanismem je zvýšení tolerance k CO_2 . BDM záměrně vede k mírné hyperkapnii (zvýšení hladiny CO_2) tím, že omezuje ventilaci. Vyšší pCO_2 v arteriální krvi posouvá chemický spouštěč dýchání – trvá déle, než vysoká koncentrace CO_2 vyvolá reflexní zrychlení ventilace (Bernardi et al., 2000). Jedinec tak snese větší kumulaci metabolických plynů, aniž by pocítil akutní dušnost. Navíc zvýšené CO_2 a s tím spojené mírné snížení pH posouvá disociační křivku hemoglobinu (Bohrův efekt) a usnadňuje uvolňování O_2 do pracujících svalů (Benner et al., 2018; Wang et al., 2008). Chaudhary et al. (2021) i další autoři zmiňují, že tato optimalizace hemoglobinové křivky může zlepšit svalové zásobení kyslíkem a výkon při nižší ventilaci. V naší studii jsme skutečně nepozorovali žádný negativní vliv pomalejšího dýchání na okysličení – naopak aktivní jedinci dokázali udržet daný výkon s nižší BF a menší dušností. To naznačuje, že dodávka O_2 nebyla zpomaleným dýcháním omezena, pravděpodobně díky uvedeným adaptacím a zvýšenému VT. Tento pozitivní efekt na ventilační efektivitu při zátěži se přitom neprojevuje u všech dechových metod. Například Marko et al. (2022) provedli

kontrolovanou studii, která zkoumala vliv dechové intervence založené na Wim Hofově metodě na ventilační odpověď při zátěžovém testu u dospívajících sportovců. Po čtyřtýdenním každodenním tréninku Wim Hofovy dechové techniky však autoři nezaznamenali žádné statisticky významné změny v hodnocených ventilačních parametrech (frekvence dýchání, dechový objem, minutová ventilace). Tyto výsledky ostře kontrastují s nálezy prezentovanými v této disertační práci, kde šestitýdenní trénink Buteykovy metody u fyzicky aktivních mladých dospělých vedl k významnému zlepšení ventilace při zátěži – konkrétně byl pozorován pokles hodnot VE/VCO_2 slope a snížení dechové frekvence u fyzicky aktivní populace.

Rozdílné závěry obou studií mohou pramenit z několika faktorů. V první řadě se liší charakter použitých dechových technik: Wim Hofova metoda je založena na opakované hyperventilaci následované zádržemi dechu, zatímco Buteykova metoda klade důraz na snižování ventilace a zlepšování tolerance ke zvýšené hladině CO_2 . Dalším rozdílem je délka intervence – Marko et al. (2022) aplikovali dechová cvičení po dobu 4 týdnů, zatímco v této práci trval trénink 6 týdnů. Svoji roli může hrát i odlišné složení a výchozí úroveň zkoumaných souborů – dospívající vytrvalostní běžci ve studii Marko et al. (2022) patrně disponovali již poměrně efektivní ventilací při zátěži, zatímco u mladých dospělých v našem experimentu mohl být větší prostor pro zlepšení ventilační ekonomiky.

Ačkoli Buteykova technika není zaměřena na posilování respiračních svalů tak intenzivně jako trénink dechových svalů s pomůckami (RMT – Respiratory Muscle Training), opakované lokalizované nádechy a výdechy nosem mohou zvýšit zapojení bránice a mezižeberních svalů do dýchání (Sinderby et al., 1998; Trevisan et al., 2015). Z praktického hlediska tyto poznatky naznačují, že kombinace obou přístupů by mohla být prospěšná. Sportovci i pacienti mohou profitovat jak z posílení dechových svalů, tak z nácviku ekonomičtějšího dýchání. RMT se jeví vhodné pro jedince s oslabenými dýchacími svaly nebo při vysokých nárocích na ventilaci (vytrvalci, pacienti s dechovou insuficiencí), kde prokazatelně zvyšuje maximální inspirační tlak (MIP), maximální expirační tlak (MEP) a zlepšuje vytrvalost výkonu (Fabero-Garrido et al., 2024; Illi et al., 2012). BDM je naopak přínosná pro jedince se sklonem k hyperventilaci či neekonomickému dýchání (např. astmatici, úzkostní pacienti, ale i sportovci v předstartovním stresu, či sportovci s vysokými nároky na přesnost a kontrolu dechu,

jako je střelba, biatlon nebo lukostřelba), neboť je učí dýchat klidněji a účinněji. Naše výsledky naznačují, že zařazení BDM do tréninku může vést k lepšímu hospodaření s dechem a zvýšení komfortu při zátěži. Současné důkazy dovolují doporučit RMT jako součást kondiční přípravy či rehabilitace pro zlepšení fyzické výkonnosti (např. u vytrvalostních sportovců či kardiaků v rekonvalescenci) (Fabero-Garrido et al., 2024), zatímco BDM lze doporučit k optimalizaci dechového vzoru a snížení nadměrné ventilace (což může zvýšit ekonomiku dýchání a snížit riziko dušnosti).

Je však nutné zdůraznit, že účinky intervence mohou být individuálně variabilní. U neaktivní populace zahrnuté v této studii se ukázalo, že samotná BDM nebyla dostatečná k dosažení statisticky významného zlepšení. Možným řešením by mohlo být její kombinování s pohybovým tréninkem nebo RMT, což by mohlo přispět k optimalizaci adaptačních procesů. Naopak u dobře trénovaných sportovců může být přínos RMT limitován, pokud jejich dýchací svaly již nejsou slabinou výkonu (Illi et al., 2012). Volba intervence by se tak měla řídit konkrétní potřebou: posílit slabý článek vs. zkoordinovat dýchání. Pro komplexní rozvoj dechové kondice lze uvažovat o aplikaci obou metod současně – posílené dýchací svaly poskytnou rezervu a BDM zajistí, že tato rezerva bude využívána efektivně. Tato kombinace by mohla sportovcům umožnit dosahovat vysoké intenzity s menší dechovou námahou a pacientům zlepšit toleranci zátěže v každodenním životě.

Po intervenci aktivní jedinci vykazovali schopnost udržet větší dechový objem (+ ~5,3 % EXP, vs. 0,2 % v KON; $p=0,62$) i v závěru zátěžového testu, což může svědčit o posunu jejich dechové výdrže. Lze spekulovat, že u nich došlo k pozdějšímu nástupu únavy dechových svalů. Během fyzické aktivity s vysokou intenzitou si práce dýchacích svalů vyžaduje přibližně 14–21 % srdečního výdeje, čímž může potenciálně „soutěžit“ o krevní zásobení (tj. přísun kyslíku a živin) s kosterními svaly zapojenými do lokomoce (Dempsey et al., 2006). Mechanismus této konkurence v krevním zásobení je vysvětlován prostřednictvím tzv. metaboreflexu dýchacích svalů, kdy únavová aktivita inspiračních svalů vede k akumulaci metabolitů, které stimulují nemyelinizovaná aferentní vlákna. Tato stimulace následně vyvolává sympaticky zprostředkovanou vazokonstrikci v kosterních svalech dolních končetin (McConnell & Lomax, 2006), což urychluje svalovou únavu, omezuje fyzický výkon (McConnell & Lomax, 2006) a zvyšuje subjektivní vnímání námahy (Rodrigues & McConnell, 2024). Respirační svalový

metaboreflex (reflexní omezení průtoku krve do končetin při únavě dechových svalů) tak mohl být posunut. Álvarez-Herms et al. (2019) ve svém přehledu konstatují, že dechový trénink obecně snižuje únavu dechových svalů a oddaluje aktivaci metaboreflexu, což vede k lepšímu prokrvení pracujících svalů a nižší percepci námahy. Zlepšená koordinace dýchacích svalů a ekonomičtější dechový vzor pak přispívají k tomu, že ventilace je dostatečná i při nižší BF.

6.5 Zapojení dechových sektorů

Naše měření ukázala také určitý posun v mechanice dýchání: po intervenci se mírně zvýšil podíl bráničního dýchání (dolní hrudní sektor, V_{RCa}) na úkor horního hrudního dýchání (V_{RCp}), avšak pouze u neaktivních probandů při vyšších intenzitách (u neaktivních došlo při VT2 k významnému zvýšení V_{RCa} o $\sim 15\%$, $p=0,03$). U aktivní skupiny se po intervenci objevil jen mírný posun směrem k bráničnímu dýchání: v experimentální skupině mírně kleslo zapojení horního hrudního sektoru (-2% při VT1, $-2,2\%$ při VT2) a naopak se zvýšil podíl dolního hrudního ($+2,5\%$, při VT1, $+7,4\%$ při VT2) a břišního sektoru při VT1 ($+4,5\%$). Tyto změny však nebyly statisticky ani věcně významné, což naznačuje, že u trénovaných jedinců nebyl efekt BDM na mechaniku dýchání výrazný.

Jelikož snížení podílu horního hrudního dýchání však nebylo statisticky významné, hypotéza H5 a H6 nebyla potvrzena – šestitýdenní intervence BDM nevedla k významnému snížení horního hrudního dýchání jak u aktivních, tak neaktivních jedinců při dosažení VT2.

Ačkoli většina těchto změn nebyla statisticky průkazná u aktivních, trend naznačil směřování k diaphragmatickému způsobu dýchání. Literatura uvádí, že dýchání nosem a zapojení bránice zlepšuje ventilaci: při submaximálním cvičení s výlučně nosním dýcháním dochází k nižší BF, menší VE, vyššímu CO_2 na konci výdechu a nižším ventilačním ekvivalentům O_2 i CO_2 (Dallam et al., 2018). To vše znamená efektivnější využití dechové práce. Někteří netrénovaní jedinci zpočátku udávají s nosním dýcháním omezení výkonu (nižší dosažené VO_{2max}), avšak po adaptaci tato omezení mizí. Dallam et al. (2018) ukázali, že rekreační běžci po několikaměsíčním tréninku nosního dýchání dosáhli stejného VO_{2max} a výkonu jako při dýchání ústy, avšak s nižší ventilací a lepší ekonomikou dechu. Autoři i další odborníci zdůrazňují, že adaptace na pomalé nosní

dýchání je možná a přináší výhody v podobě zlepšené ventilace bez ztráty výkonu (Cavaggioni et al., 2021; Rappel et al., 2023). Naše výsledky tomu nasvědčují – aktivní jedinci se díky BDM zřejmě naučili využít nosní, klidnější dýchání i při intenzivní zátěži, aniž by strádali na výkonu, a získali tak výhodu nižší dušnosti. Nicméně jedná se pouze o naši spekulaci, jelikož nebylo přímo měřeno zastoupení nosního a ústního dýchání.

Dalším přínosem posunu k bráničnímu dýchání je omezení zapojení pomocných dýchacích svalů v oblasti šíje a ramen. Například studie Correâ & Bérzin (2008) ukázala, že u dětí s tzv. syndromem ústního dýchání došlo po tříměsíčním programu nasodiaphragmatického dýchání a posturálních cvičení k významnému snížení aktivity pomocných krčních svalů při nádechu – elektromyografická aktivita *m. sternocleidomastoideus* klesla z 11,3 % na 3,6 % maxima, u šíjových svalů z 22,4 % na 11,7 % a u horní části trapézu z 8,9 % na 3,1 %. Po terapii se tak aktivita těchto svalů při dýchání přiblížila klidovým hodnotám. Toto snížení nadbytečného zapojení pomocných svalů přispívá k efektivnějšímu a méně namáhavému dýchání. Podobně i u našich účastníků mohl posun k bráničnímu dýchání odlehčit pomocným dýchacím svalům a snížit pocit dechové námahy.

6.6 Praktický význam a doporučení

U aktivní populace měla šestitýdenní Buteykova intervence jasný přínos – subjektům umožnila zvládat danou zátěž s pomalejším dýcháním a lepší ventilací (efektivněji, s menším „dechovým stresem“). U neaktivních byly efekty statisticky nevýznamné, ale naznačily podobný trend. Naše zjištění doplňují rostoucí důkazy o tom, že vědomá regulace dechu může zlepšit respirační funkce jak u fyzicky aktivní, tak u neaktivní populace (zde se mohou objevit významné změny po delší dechové intervenci BDM). Výhodou BDM je její nenáročnost a bezpečnost – lze ji proto považovat za slibný nástroj ke zkvalitnění ventilace při zátěži. Využití může najít ve sportovní praxi (např. jako součást kondiční přípravy vytrvalců, u nichž je hospodaření s dechem limitujícím faktorem výkonu) i v klinické oblasti pro zlepšení tolerance zátěže u osob s dechovými obtížemi. Z praktického hlediska je též relevantní zjištění, že téměř polovina elitních vytrvalostních sportovců může mít dysfunkční dechový vzor – v nedávné studii vykazovalo až 45 % sledovaných atletů neoptimální (hrudní či povrchní) dýchání, přičemž sportovci s diaphragmatickým dýcháním měli signifikantně lepší hodnoty plicních funkcí

(spirometrie, difuzní kapacity) než ti s hrudním dýcháním (Sikora et al., 2024). To naznačuje potřebnost rutinního hodnocení dechového stereotypu a zařazení dechových cvičení u sportovců (Sikora et al., 2024), což naše výsledky podporují.

Z praktického hlediska může vyvstat úvaha, zda by nestačilo sportovci před zátěží jednoduše říci „dýchej méně“ (případně jej nechat dýchat podle metronomu) a dosáhl by podobného efektu i bez šestitýdenního nácviku. Je zde však několik důvodů, proč takový přístup sám o sobě pravděpodobně nefunguje. S rostoucí intenzitou zátěže se dechový objem totiž zastavuje na cca 50–60 % vitální kapacity, a další zvýšení minutové ventilace je zajištěno už převážně růstem dechové frekvence. Tyto ventilatorní adjustace probíhají automaticky – každý jedinec si rozvine určitý „dechový styl“, kterým vhodně kombinuje frekvenci a hloubku dechu tak, aby alveolární ventilace odpovídala perfuzi plic. Vědomé zasahování do dýchání během běhu a jiných aktivit proto obvykle nepřináší zlepšení výkonu – naopak, ve většině případů vědomá manipulace s dechem narušuje precizně regulovanou ventilatorní odpověď na zátěž (Katch et al., 2010). To potvrzuje fakt, že zlepšení pozorovaná u BDM jsou pravděpodobně výsledkem komplexních adaptací a nácviku, nikoli pouhého akutního „přemáhání“ dechu během výkonu.

6.7 Limitace studie

Naše studie se však neobešla bez určitých limitací:

Adherence a provedení cvičení: Individuální rozdíly v adherenci k intervenci a psychologickém nastavení účastníků mohly ovlivnit míru přínosu dechových cvičení. Adherence byla sice průběžně monitorována (denními záznamy přes WhatsApp), nicméně samotná dechová cvičení probíhala samostatně v domácích podmínkách bez přímého odborného dohledu. Tato forma mohla vést k variabilitě v kvalitě provedení technik, míře soustředění a důslednosti, a tím i k rozdílnému fyziologickému efektu. Absence standardizovaného dohledu tedy představuje potenciální zdroj zkreslení, který je třeba při interpretaci výsledků zohlednit.

Monitoring pohybové aktivity: Fyzická aktivita účastníků byla monitorována pouze dotazníkově, což s sebou nese riziko subjektivního zkreslení údajů (např. nadhodnocení či podhodnocení objemu pohybu). Přesnější by bylo doplnit objektivní měření (monitor aktivity, akcelerometr apod.).

Přestože bylo účastníkům výslovně řečeno neměnit charakter, objem ani intenzitu pohybové aktivity po dobu intervence, nelze s jistotou vyloučit menší individuální odchylky. Je však důležité zdůraznit, že aktivní skupinu tvořili vrcholový sportovci, ale rekreačně aktivní jedinci se stabilním tréninkovým režimem, což snižuje pravděpodobnost výrazných výkonnostních výkyvů během šesti týdnů trvání studie.

Cílová populace a míra fyzické zdatnosti: Výsledky této studie je vhodné vztahovat primárně na populaci, která byla zkoumána – tedy mladé zdravé dospělé osoby s různou úrovní pohybové aktivity. Úroveň fyzické zdatnosti účastníků nebyla objektivně ověřena prostřednictvím laboratorního testování (např. $VO_2\max$), ale byla stanovena pomocí standardizovaného dotazníku GLTEQ. Tento způsob klasifikace sice umožňuje základní rozlišení aktivní a neaktivní skupiny, avšak nepostihuje přesně individuální výkonnostní rozdíly. U osob s výrazně odlišnou trénovaností – například u elitních sportovců, seniorů či dětí – se mohou adaptační reakce na dechovou intervenci lišit. Je proto vhodné interpretovat získaná data s ohledem na složení vzorku a zobecnění výsledků směřovat zejména k podobné cílové skupině.

Měření OEP při maximu: Při maximálních intenzitách (v závěru Bruceova protokolu) nastala technická komplikace analýzy dat z optoelektronické pletysmografie. Vysoký sklon běhátko vedl k předklonu účastníků, což znemožnilo validní analýzu dechových pohybů. V hodnocení dechových sektorů jsme se proto soustředili na submaximální úroveň zátěže (do dosažení VT2).

Zaslepení a placebo efekt: Studie neprobíhala za zaslepených podmínek – účastníci věděli, zda provádějí dechovou intervenci či nikoli. To mohlo ovlivnit jejich subjektivní vnímání i motivaci (placebo efekt či naopak menší snaha u kontrolní skupiny). Budoucí studie by mohly zahrnout i kontrolní cvičení (placebo dechová cvičení) k lepšímu oddělení specifického účinku BDM.

Nedostatek dat o nosním dýchání: Nebyl přímo měřen poměr nosního a ústního dýchání, což omezuje možnost detailnější analýzy změn dechového vzoru (pouze předpokládáme zvýšení podílu nosního dýchání na základě literatury a nepřímých ukazatelů). V budoucích výzkumech by bylo přínosné monitorovat, do jaké míry účastníci dýchají při zátěži nosem vs. ústy.

Nutriční status: Nebyl systematicky sledován nutriční příjem a hydratace účastníků v průběhu intervence (byl pouze monitorován nutriční příjem v den zátěžového testování).

6.8 Budoucí výzkum

Pro budoucí výzkum by bylo vhodné zvážit prodloužení intervenčního období a začlenění objektivního monitorování adherence k dechovým cvičením, například využitím dechových senzorů. Dále by bylo zajímavé prozkoumat účinky BDM u různých věkových skupin a pohlaví, neboť nedávný výzkum ukazuje, že metabolický náklad ventilace při zátěži se liší dle věku a pohlaví (Kipp et al., 2024). Například u starších osob či dětí může být výchozí dechová efektivita a síla dechových svalů odlišná, což by mohlo modifikovat odezvu na trénink BDM.

Celkově však výsledky naznačují, že systematický nácvik optimalizace dechového vzoru představuje efektivní cestu ke zvýšení ventilační účinnosti a odolnosti vůči subjektivním pocitům dušnosti. BDM umožňuje organismu lépe tolerovat pocit dušnosti při zátěži díky kombinaci fyziologických adaptací (zvýšená tolerance CO_2 , snížení dechové frekvence, posun ventilace k bráničnímu typu) a psychické přípravy (větší kontrola dechu). Tato komplexní intervence tak může přispět k lepší výkonnosti i komfortu jedince při cvičení.

7 Závěr

Tato disertační práce shrnuje vliv šestitýdenního tréninku Buteykovy dechové metody na ventilaci při zátěži a zapojení dechových sektorů u mladých dospělých s odlišnou úrovní pohybové aktivity. Hlavním zjištěním je, že cílený dechový trénink dokáže zlepšit ekonomiku dýchání a subjektivní pocit dušnosti, zejména u fyzicky aktivních jedinců. U těchto fyzicky aktivních osob vedla BDM k významnému zefektivnění ventilace: VE/VCO_2 slope se v experimentální skupině aktivních jedinců snížil zhruba o 14 % oproti kontrolní skupině ($p < 0,01$; středně velký efekt, $\eta_p^2 = 0,10$). Tento pokles znamená, že po intervenci dokázali jedinci vygenerovat stejný výkon s hospodárnějším dýcháním. Zároveň došlo u aktivní skupiny k výraznému zpomalení dechové frekvence při zátěži – přibližně o 14–15 % při dosažení obou ventilačních prahů ($p \approx 0,01–0,03$). Pokles frekvence byl kompenzován tendencí k vyššímu dechovému objemu (nádech byl hlubší), i když nárůst VT (~8–11 %) nebyl statisticky významný, tak změna VT při dosažení VT2 dosahovala středního efektu ($\eta_p^2 = 0,09$). Subjektivně vnímaná dušnost se u aktivních jedinců po aplikaci BDM snížila: v submaximálních intenzitách zatížení udávali účastníci experimentální skupiny zřetelně nižší pocit dušnosti (o 23–34 % nižší skóre oproti stavu před intervencí; zlepšení významné při $p < 0,05$). Tyto výsledky potvrzují, že u fyzicky aktivní populace může dechová intervence BDM vést k významným adaptačním změnám – jedinci dýchají při zátěži pomaleji, hlouběji a efektivněji, což jim umožňuje lépe využít kapacitu plic bez předčasného pocitu „dechového limitu“.

U fyzicky neaktivních osob byl zaznamenán podobný trend zlepšení, avšak změny nebyly statisticky průkazné. Po šestitýdenním nácviku BDM u nich došlo rovněž ke snížení dechové frekvence při zátěži (průměrně o 6–12 %) a mírnému nárůstu dechového objemu (~6–8 %), nicméně ve srovnání s neaktivní kontrolní skupinou se tyto rozdíly neprojevyly jako významné (s výjimkou BF při dosažení VT2, $p = 0,03$). Subjektivní vnímání dušnosti kleslo i u neaktivních (~23 %), avšak variabilita byla větší a efekt nevykázal statistickou významnost. Tyto výsledky naznačují, že u neaktivní populace samotná krátkodobá dechová intervence nemusí stačit k vyvolání statisticky průkazných změn – účastníci s nižší fyzickou zdatností zřejmě potřebují delší dobu nebo intenzivnější trénink, případně kombinaci s aerobním cvičením, aby se pozitivní účinky plně projevyly.

Přesto i u neaktivních jedinců bylo patrné zpomalení a prohloubení dýchání, což lze považovat za první krok k lepší efektivnější ventilaci.

Celkový vliv BDM na změny v zapojení jednotlivých dechových sektorů byl omezený. Statisticky významná změna v mechanice dýchání byla zaznamenána pouze u neaktivní skupiny ve spodním hrudním sektoru během VT2.

Důležité je zmínit, že Buteykovy metoda sama o sobě neovlivnila vrcholový příjem kyslíku ani výrazně neposunula ventilační prahy. Hodnota $VO_2\text{peak}$ zůstala po intervenci v podstatě stejná jako před ní (nárůst ~3–4 % u aktivních, ~1 % u neaktivních; rozdíly vůči kontrolní skupině byly statisticky nevýznamné). Také čas do dosažení prvního a druhého ventilačního prahu (VT1, VT2) se u aktivní skupiny prodloužil jen nepatrně (~5–8 %) a u neaktivních nedošlo k žádné systematické změně. Statisticky významný posun prahů mezi experimentálními a kontrolními skupinami prokázán nebyl. Tyto údaje odhalují, že samotný dechový trénink BDM nezvyšuje celkovou výkonnost kardiovaskulárního systému – limitujícím faktorem $VO_2\text{peak}$ jsou převážně oběhové a metabolické funkce, které BDM ovlivňuje jen nepřímo. Z pohledu kinantropologie to potvrzuje, že optimalizace dechového vzoru zlepšuje účinnost dýchání, ale nemusí stačit k rozvoji maximální vytrvalosti.

Získaná data přinášejí poznatky pro oblast kinantropologie a sportovní praxi. Prokázali jsme, že i u zdravých, mladých jedinců lze cíleným dechovým cvičením navodit měřitelné fyziologické adaptace: pomalejší dechovou frekvenci, lepší ventilační efektivitu a subjektivně nižší vnímanou dušnost. Tyto změny dohromady zlepšují ventilační rezervu při zátěži – jedinec není tak brzy limitován dechem a může efektivněji využít svůj výkonový potenciál. Pro sportovce, zejména vytrvalce, to znamená možnost zařadit dechový trénink jako doplněk kondiční přípravy s cílem oddálit nástup dechové tísně a zefektivnit využití kyslíku při výkonu. V kontextu rekreační a zdravotní tělesné výchovy či rehabilitace mohou být dechové techniky typu BDM využity ke zlepšení tolerance zátěže u osob se sníženou zdatností nebo dýchacími obtížemi (např. astmatiky), a to bezpečně a bez nároků na speciální vybavení. Naše výsledky také rozšiřují teoretické poznatky – podporují koncept, že vědomá regulace dechu může ovlivnit funkční odezvu organismu na zátěž nad rámec autonomní kontroly. Tím se otevírá prostor pro další výzkum integrace dechových cvičení do tréninkových programů a prohloubení poznání o jejich dlouhodobém efektu na výkon i zdraví.

Závěrem lze konstatovat, že Buteyková dechová metoda může představovat nástroj ke zkvalitnění dýchání při fyzické zátěži. V této práci bylo bezpečně a ověřeně doloženo zlepšení ventilačních parametrů a snížení subjektivní dušnosti u aktivní populace po relativně krátké intervenci. Tyto poznatky mají praktický význam pro trenéry, fyzioterapeuty i lékaře v oblasti sportovní medicíny – ukazují, že zařazením dechových cvičení lze zlepšit ventilační efektivitu a subjektivní vnímání dušnosti fyzicky aktivních jedinců.

Referenční seznam literatury

- Ali-Ahmad, D., Bonville, C. A., Rosenberg, H. F., & Domachowske, J. B. (2003). Replication of respiratory syncytial virus is inhibited in target cells generating nitric oxide in situ. *Front Biosci*, 8, a48–a53.
- Aliverti, A., Dellacà, R., Pelosi, P., Chiumello, D., Gattinoni, L., & Pedotti, A. (2001). Compartmental analysis of breathing in the supine and prone positions by optoelectronic plethysmography. *Annals of Biomedical Engineering*, 29, 60–70.
- Aliverti, A., & Pedotti, A. (2002). Opto-electronic plethysmography. In A. Aliverti, V. Brusasco, P. T. Macklem, & A. Pedotti (Eds.), *Mechanics of Breathing: Pathophysiology, Diagnosis and Treatment* (pp. 47–59). Springer.
- Alotaibi, M. M., Motl, R. W., & Lein Jr, D. H. (2024). Reliability and Validity of the Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire Health Contribution Score in its Use with Adults with ADHD. *Perceptual and Motor Skills*, 131(5), 1603–1621.
- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Corbi, F., Odriozola-Martínez, A., & Burtcher, M. (2019). Putative role of respiratory muscle training to improve endurance performance in hypoxia: A review. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01970>
- Arena, R., Myers, J., Hsu, L., Peberdy, M. A., Pinkstaff, S., Bensimhon, D., Chase, P., Vicenzi, M., & Guazzi, M. (2007). The Minute Ventilation/Carbon Dioxide Production Slope is Prognostically Superior to the Oxygen Uptake Efficiency Slope. *Journal of Cardiac Failure*, 13(6), 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2007.03.004>
- Arnal, J., Flores, P., Rami, J., Murris-Espin, M., Bremont, F., Pasto I Aguililla, M., Serrano, E., & Didier, A. (1999). Nasal nitric oxide concentration in paranasal sinus inflammatory diseases. *European Respiratory Journal*, 13(2), 307–312.
- Arora, R. D., & Subramanian, V. H. (2019). To Study the Effect of Buteyko Breathing Technique in Patients with Obstructive Airway Disease. *International Journal of Health Sciences & Research*, 9, 50–64.
- Ayoub, J., Cohendy, R., Dauzat, M., Targhetta, R., De La Coussaye, J.-E., Bourgeois, J.-M., Ramonatxo, M., Prefaut, C., & Pourcelot, L. (1997). Non-invasive quantification of diaphragm kinetics using m-mode sonography. *Canadian Journal of Anaesthesia*, 44, 739–744.

- Bahensky, P., Bunc, V., Marko, D., & Malatova, R. (2020). Dynamics of ventilation parameters at different load intensities and the options to influence it by a breathing exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(8), 1101–1109. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.10793-X>
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu.
- Benner, A., Patel, A. K., Singh, K., & Dua, A. (2018). *Physiology, Bohr Effect*. StatPearls Publishing.
- Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Cochrane, K. C., Jenkins, N. D. M., Zuniga, J. M., Buckner, S. L., Goldsmith, J. A., Schmidt, R. J., Johnson, G. O., & Cramer, J. T. (2015). Factors underlying the perception of effort during constant heart rate running above and below the critical heart rate. *European Journal of Applied Physiology*, 115(10), 2231–2241. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3204-y>
- Bernardi, L., Wdowczyk-Szulc, J., Valenti, C., Castoldi, S., Passino, C., Spadacini, G., & Sleight, P. (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology*, 35(6), 1462–1469.
- Biederer, J., Hintze, C., Fabel, M., & Dinkel, J. (2010). Magnetic resonance imaging and computed tomography of respiratory mechanics. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 32(6), 1388–1397.
- Bilo, G., Revera, M., Bussotti, M., Bonacina, D., Styczkiewicz, K., Caldara, G., Giglio, A., Faini, A., Giuliano, A., Lombardi, C., Kawecka-Jaszcz, K., Mancina, G., Agostoni, P., & Parati, G. (2012). Effects of Slow Deep Breathing at High Altitude on Oxygen Saturation, Pulmonary and Systemic Hemodynamics. *PLoS ONE*, 7(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049074>
- Borison, H. L., Hurst, J. H., McCarthy, L. E., & Rosenstein, R. (1977). Arterial hydrogen ion versus CO₂ on depth and rate of breathing in decerebrate cats. *Respiration Physiology*, 30(3), 311–325.
- Boulding, R., Stacey, R., Niven, R., & Fowler, S. J. (2016). Dysfunctional breathing: a review of the literature and proposal for classification. *European Respiratory Review*, 25(141), 287–294.

- Bowler, S. D., Green, A., & Mitchell, C. A. (1998). Buteyko breathing techniques in asthma: a blinded randomised controlled trial. *Medical Journal of Australia*, 169(11–12), 575–578.
- Brunelli, A. (2016). Ventilatory efficiency slope: An additional prognosticator after lung cancer surgery. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 50(4), 780–781. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw127>
- Burgos-Vargas, R., Castelazo-Duarte, G., Orozco, J. A., Garduno-Espinosa, J., Clark, P., & Sanabria, L. (1993). Chest expansion in healthy adolescents and patients with the seronegative enthesopathy and arthropathy syndrome or juvenile ankylosing spondylitis. *The Journal of Rheumatology*, 20(11), 1957–1960.
- Bursová, M. (2005). *Kompenzační cvičení*. Grada.
- Cala, S. J., Kenyon, C. M., Ferrigno, G., Carnevali, P., Aliverti, A., Pedotti, A., Macklem, P. T., & Rochester, D. F. (1996). Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2680–2689.
- Callegaro, C. C., Ribeiro, J. P., Tan, C. O., & Taylor, J. A. (2011). Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 177(1), 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2011.03.001>
- Cappo, B. M., & Holmes, D. S. (1984). The utility of prolonged respiratory exhalation for reducing physiological and psychological arousal in non-threatening and threatening situations. *Journal of Psychosomatic Research*, 28(4), 265–273.
- Cavaggioni, L., Trecroci, A., Formenti, D., Courtney, R., Dascanio, G., Scurati, R., Ongaro, L., & Alberti, G. (2021). Effects of a nasal breathing protocol on physical fitness and pulmonary function in young basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 62(10), 1368–1374.
- Chaudhary, S., Khanna, S., Kumar Maurya, U., & Shenoy, S. (2021). Effects of Buteyko Breathing Technique on Physiological and Psychological Parameters among University Football Players. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 8, 1790–1800.
- Clark, J. M., Sinclair, R. D., & Lenox, J. B. (1980). Chemical and nonchemical components of ventilation during hypercapnic exercise in man. *Journal of Applied Physiology*, 48(6), 1065–1076.

- CliftonSmith, T., & Rowley, J. (2011). Breathing pattern disorders and physiotherapy: inspiration for our profession. *Physical Therapy Reviews*, 16(1), 75–86.
- Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., Smith, C. M., Hill, E. C., & Jenkins, N. D. M. (2019). Treadmill running using an RPE-clamp model: mediators of perception and implications for exercise prescription. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 2083–2094.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.
- Cohn, M. A., Rao, A. S., Broudy, M., Birch, S., Watson, H., Atkins, N., Davis, B., Stott, F. D., & Sackner, M. (1982). The respiratory inductive plethysmograph: a new non-invasive monitor of respiration. *Bulletin Europeen de Physiopathologie Respiratoire*, 18(4), 643–658.
- Corrêa, E. C. R., & Bérzin, F. (2008). Mouth Breathing Syndrome: cervical muscles recruitment during nasal inspiration before and after respiratory and postural exercises on Swiss Ball. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 72(9), 1335–1343.
- Costa, V. A. B., Midgley, A. W., Carroll, S., Astorino, T. A., de Paula, T., Farinatti, P., & Cunha, F. A. (2021). Is a verification phase useful for confirming maximal oxygen uptake in apparently healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 16(2), e0247057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247057>
- Courtney, R. (2009). The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy. *International Journal of Osteopathic Medicine*, 12(3), 78–85.
- Dallam, G. M., McClaran, S. R., Cox, D. G., & Foust, C. P. (2018). Effect of nasal versus oral breathing on Vo2max and physiological economy in recreational runners following an extended period spent using nasally restricted breathing. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 6(2), 22–29.
- De Morree, H. M., Klein, C., & Marcora, S. M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49(9), 1242–1253.
- Dempsey, J. A., Romer, L., Rodman, J., Miller, J., & Smith, C. (2006). Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 151(2–3), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2005.12.015>

- Dylevský, I. (2009). *Speciální kineziologie. 1. vydání. Praha: Grada*. ISBN 978-80-247.
- Dylevský, I. (2019). *Somatologie: pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka, 3., přepracované a doplněné vydání*. Grada Publishing as.
- Elkafrawy, L. S., Saleh, N. M. H., Ahmad, M. A. S. A., & Mohamed, H. N. A. E. A. (2024). Effect of Buteyko Breathing Exercise on Pulmonary Functions Tests and Quality of Life in Asthmatic Elderly Patients. *International Journal of Nursing Didactics*, 14(7), 1–12.
- Emeriaud, G., Eberhard, A., Benchetrit, G., Debillon, T., & Baconnier, P. (2008). Calibration of respiratory inductance plethysmograph in preterm infants with different respiratory conditions. *Pediatric Pulmonology*, 43(11), 1135–1141.
- Fabero-Garrido, R., del Corral, T., Plaza-Manzano, G., Sanz-Ayan, P., Izquierdo-García, J., & López-De-Uralde-Villanueva, I. (2024). Effects of Respiratory Muscle Training on Exercise Capacity, Quality of Life, and Respiratory and Pulmonary Function in People With Ischemic Heart Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*, 104(3). <https://doi.org/10.1093/ptj/pzad164>
- Fahrizal, D. (2017). *Pengaruh Buteyko Breathing Technique Dalam Meningkatkan Daya Tahan Kardiorespirasi* [Dissertation thesis].
- Farina, S., Bruno, N., Agalbato, C., Contini, M., Cassandro, R., Elia, D., Harari, S., & Agostoni, P. (2018). Physiological insights of exercise hyperventilation in arterial and chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *International Journal of Cardiology*, 259, 178–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.11.023>
- Ferneini, E. M., Goupil, M. T., McNulty, M. A., & Niekrash, C. E. (2021). *Applied head and neck anatomy for the facial cosmetic surgeon*. Springer.
- Ferretti, G., Fagoni, N., Taboni, A., Bruseghini, P., & Vinetti, G. (2017). The physiology of submaximal exercise: The steady state concept. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 246, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2017.08.005>
- Ferretti, G., Fagoni, N., Taboni, A., Vinetti, G., & di Prampero, P. E. (2022). A century of exercise physiology: key concepts on coupling respiratory oxygen flow to muscle energy demand during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 122(6), 1317–1365. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04901-x>
- Fitzgerald, R. S., & Cherniack, N. S. (2011). Historical perspectives on the control of breathing. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 915–932.

- Frerichs, I., Hinz, J., Herrmann, P., Weisser, G., Hahn, G., Dudykevych, T., Quintel, M., & Hellige, G. (2002). Detection of local lung air content by electrical impedance tomography compared with electron beam CT. *Journal of Applied Physiology*, 93(2), 660–666.
- Fung, M.-L., & John, W. M. S. (1994). Electrical stimulation of pneumotaxic center: activation of fibers and neurons. *Respiration Physiology*, 96(1), 71–82.
- Gierada, D. S., Curtin, J. J., Erickson, S. J., Prost, R. W., Strandt, J. A., & Goodman, L. R. (1995). Diaphragmatic motion: fast gradient-recalled-echo MR imaging in healthy subjects. *Radiology*, 194(3), 879–884.
- Gilbert, C., Chaitow, L., & Bradley, D. (2014). *Recognizing and Treating Breathing Disorders: A Multidisciplinary Approach*. Elsevier Health Sciences.
- Girardi, M., Nicolò, A., Bazzucchi, I., Felici, F., & Sacchetti, M. (2021). The effect of pedalling cadence on respiratory frequency: passive vs. active exercise of different intensities. *European Journal of Applied Physiology*, 121, 583–596.
- Godin, G. (2011). The Godin-Shephard leisure-time physical activity questionnaire. *The Health & Fitness Journal of Canada*, 4(1), 18–22.
- Gopakumar, G., & Mathew, P. (2022). Effectiveness of Buteyko Breathing Technique on Test Anxiety among College Students: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Health Sciences and Research*, 12(4), 196–215. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20220424>
- Green, A. L., Wang, S., Purvis, S., Owen, S. L. F., Bain, P. G., Stein, J. F., Guz, A., Aziz, T. Z., & Paterson, D. J. (2007). Identifying cardiorespiratory neurocircuitry involved in central command during exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 578(2), 605–612.
- Grippo, A., Carrai, R., Chiti, L., Bruni, G. I., Scano, G., & Duranti, R. (2010). Effect of limb muscle fatigue on perception of respiratory effort in healthy subjects. *Journal of Applied Physiology*, 109(2), 367–376.
- Guazzi, M., Adams, V., Conraads, V., Halle, M., Mezzani, A., Vanhees, L., Arena, R., Fletcher, G. F., Forman, D. E., & Kitzman, D. W. (2012). Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation*, 126(18), 2261–2274.

- Gudjonsdottir, M., & Van Oosten, M. (2015). Effect of Buteyko breathing retraining method on resting ventilation and asthma control in asthma patients. *European Respiratory Journal*, 46(suppl 59), PA2282. <https://doi.org/10.1183/13993003.congress-2015.PA2282>
- Hackett, D. A. (2020). Lung function and respiratory muscle adaptations of endurance- and strength-trained males. *Sports*, 8(12), 160.
- Hagberg, J. M., Coyle, E. F., Carroll, J. E., Miller, J. M., Martin, W. H., & Brooke, M. H. (1982). Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *Journal of Applied Physiology*, 52(4), 991–994.
- Hall, J. (2016). *Breathe: Simple Breathing Techniques for a Calmer, Happier Life*. Quadrille.
- Hamazaki, N., Masuda, T., Kamiya, K., Matsuzawa, R., Nozaki, K., Maekawa, E., Noda, C., Yamaoka-Tojo, M., & Ako, J. (2019). Respiratory muscle weakness increases dead-space ventilation ratio aggravating ventilation–perfusion mismatch during exercise in patients with chronic heart failure. *Respirology*, 24(2), 154–161. <https://doi.org/10.1111/resp.13432>
- Hans Rudolph, Inc. (n. d.). (2012, December 1). *Hans Rudolph 7600 series V2 full face mask and headgear: Data sheet. Sleep Tight*. <https://shorturl.at/OlhgD>
- Harper, C. J., Shahgholi, L., Cieslak, K., Hellyer, N. J., Strommen, J. A., & Boon, A. J. (2013). Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with B-mode ultrasound. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(12), 927–931.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Houssein, A., Ge, D., Gastinger, S., Dumond, R., & Prioux, J. (2021). A novel algorithm for minute ventilation estimation in remote health monitoring with magnetometer plethysmography. *Computers in Biology and Medicine*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2020.104189>
- Hrušková, J., Jakubík, J., Hendrych, M., Paštěka, R., Svačinová, J., Budinskaya, K., Kujalová, V., Vejtasová, V., & Nováková, Z. (2021). *Fyziologie–teorie k praktickým cvičením*. Masarykova univerzita.

- Illi, S. K., Held, U., Ne Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports*, 42, 707–724.
- Jones, A. Y. M., Dean, E., & Chow, C. C. S. (2003). Comparison of the oxygen cost of breathing exercises and spontaneous breathing in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. *Physical Therapy*, 83(5), 424–431.
- Katch, V. L., McArdle, W. D., & Katch, F. I. (2010). *Essentials of Exercise Physiology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Kenyon, C. M., Cala, S. J., Yan, S., Aliverti, A., Scano, G., Duranti, R., Pedotti, A., & Macklem, P. T. (1997). Human respiratory muscle actions and control during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 83(4), 1242–1255.
- Kinnett-Hopkins, D., Grover, S. A., Yeh, E. A., & Motl, R. W. (2016). Physical activity in pediatric onset multiple sclerosis: validating a questionnaire for clinical practice and research. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 10, 26–29.
- Kipp, S., Arn, S. R., Leahy, M. G., Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2024). The metabolic cost of breathing for exercise ventilations: effects of age and sex. *Journal of Applied Physiology*, 137(2), 329–342. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00282.2023>
- Kusumaningtyas, M., & Handari, H. K. (2024). Buteyko Breathing Technique Effectively Improves Cardiorespiratory Endurance in Students. *Indonesian Journal of Medicine*, 03, 364–368. <https://doi.org/10.26911/theijmed.2024.09.03.10>
- Lansing, R. W., Gracely, R. H., & Banzett, R. B. (2009). The multiple dimensions of dyspnea: review and hypotheses. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 167(1), 53–60.
- Layton, A. M., Garber, C. E., Thomashow, B. M., Gerardo, R. E., Emmert-Aronson, B. O., Armstrong, H. F., Basner, R. C., Jellen, P., & Bartels, M. N. (2011). Exercise ventilatory kinematics in endurance trained and untrained men and women. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 178(2), 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2011.06.009>
- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., & Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1777–1782.

- Lucia, A., Rabadán, M., Hoyos, J., Hernández-Capilla, M., Pérez, M., San Juan, A. F., Earnest, C. P., & Chicharro, J. L. (2006). Frequency of the V̇O₂max plateau phenomenon in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 27(12), 984–992.
- Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO₂max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220(2), 218–228.
- Mahler, D. A., & Horowitz, M. B. (1994). Perception of breathlessness during exercise in patients with respiratory disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1078–1081.
- Malátová, R. (2019). *Význam dechového stereotypu a možnosti jeho ovlivnění* [Habilitation thesis].
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106, 857–864.
- Marey, E. J. (1864). Etudes graphiques des mouvements respiratoires. *CR Séances Mém Soc Biol*, 1, 175–181.
- Marko, D., Bahenský, P., Bunc, V., Grosicki, G. J., & Vondrasek, J. D. (2022). Does Wim Hof Method Improve Breathing Economy during Exercise? *Journal of Clinical Medicine*, 11(8), 2218. <https://doi.org/10.3390/jcm11082218>
- Mason, H., Vandoni, M., Debarbieri, G., Codrons, E., Ugargol, V., & Bernardi, L. (2013). Cardiovascular and respiratory effect of yogic slow breathing in the yoga beginner: what is the best approach? *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2013(1), 743504.
- Massaroni, C., Carraro, E., Vianello, A., Miccinilli, S., Morrone, M., Levai, I. K., Schena, E., Saccomandi, P., Sterzi, S., Dickinson, J. W., Winter, S., & Silvestri, S. (2017). Optoelectronic Plethysmography in Clinical Practice and Research: A Review. *Respiration*, 93(5), 339–354. <https://doi.org/10.1159/000462916>
- Massaroni, C., Senesi, G., Schena, E., Saccomandi, P., Silvestri, S., Silvatti, A. P., Levai, I. K., & Barros, R. M. L. (2017). Assessment of breathing volumes and kinematics by motion capture systems: Comparison of protocols. *2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 1–6.
- Massaroni, C., Silvatti, A. P., Levai, I. K., Dickinson, J., Winter, S., Schena, E., & Silvestri, S. (2018). Comparison of marker models for the analysis of the volume variation

- and thoracoabdominal motion pattern in untrained and trained participants. *Journal of Biomechanics*, 76, 247–252.
- McConnell, A. K., & Lomax, M. (2006). The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 577(1), 445–457. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.117614>
- McHugh, P., Aitcheson, F., Duncan, B., & Houghton, F. (2003). Buteyko Breathing Technique for asthma: an effective intervention. *The Medical Journal of New Zealand*, 116.
- McKeown, P. (2004). *Close Your Mouth*. Buteyko Books.
- McKeown, P. (2015). *The oxygen advantage*. Little, Brown Book Group.
- Mead, J., Peterson, N., Grimby, G., & Mead, J. (1967). Pulmonary ventilation measured from body surface movements. *Science*, 156(3780), 1383–1384.
- Metra, M., Cas, D., Panina, G., & Visioli, O. (1992). Exercise Hyperventilation Chronic Congestive Heart Failure, and Its Relation to Functional Capacity and Hemodynamics. *Am J Cardiol*, 70, 622–628.
- Michaelis, A. R. (1966). EJ Marey—physiologist and first cinematographer. *Medical History*, 10(2), 201–203.
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., Crapo, R., Enright, P., Van Der Grinten, C. P. M., & Gustafsson, P. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319–338.
- Mistry, P. B., Palkar, A., & Kumar, A. (2021). The Effect of Buteyko Breathing Exercise on Peak Expiratory Flow Rate in Carpenters. *International Journal of Health Sciences and Research*, 11(6), 47–51. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20210608>
- Mohamed, E. M. H., Elmetwaly, A. A. M., & Ibrahim, A. M. (2018). Buteyko Breathing Technique: A Golden Cure for Asthma. *Article in Journal of Nursing Research*, 6(6), 616–624. <https://doi.org/10.12691/ajnr-6-6-32>
- Moll, J. M., & Wright, V. (1972). An objective clinical study of chest expansion. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 31(1), 1.
- Morris, J. F. (1976). Spirometry in the evaluation of pulmonary function. *Western Journal of Medicine*, 125(2), 110.
- Morse, W. (1934). *Chinese Medicine*. Hoeber.

- Morton, A. R., King, K., Papalia, S., Goodman, C., Turley, K. R., & Wilmore, J. H. (1995). Comparison of maximal oxygen consumption with oral and nasal breathing. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(3), 51–55.
- Mufarika, M., Mayangsari, M., Haris, M., & Andrian, W. (2019). Effect Of Breathing Exercise With Buteyko Methods Improveing Forced Expiratory Volume In One Second (FEV1) Score With Moderate Persistent Asthma. *Jurnal Keperawatan Muhammadiyah*, 4(2), 2019.
- Nattie, E., & Li, A. (2012). Central chemoreceptors: Locations and functions. *Comprehensive Physiology*, 2(1), 221–254. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100083>
- Neumannová, K., & Kolek, V. (2018). *Asthma bronchiale a chronická obstrukční plicní nemoc: možnosti komplexní léčby z pohledu fyzioterapeuta*. Mladá fronta.
- Nicolò, A., Girardi, M., Bazzucchi, I., Felici, F., & Sacchetti, M. (2018). Respiratory frequency and tidal volume during exercise: differential control and unbalanced interdependence. *Physiological Reports*, 6(21). <https://doi.org/10.14814/phy2.13908>
- Nicolò, A., Girardi, M., & Sacchetti, M. (2017). Control of the depth and rate of breathing: metabolic vs. non-metabolic inputs. *The Journal of Physiology*, 595(19), 6363.
- Nicolò, A., Marcora, S. M., & Sacchetti, M. (2016). Respiratory frequency is strongly associated with perceived exertion during time trials of different duration. *Journal of Sports Sciences*, 34(13), 1199–1206.
- Nicolò, A., & Sacchetti, M. (2023). Differential control of respiratory frequency and tidal volume during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 123(2), 215–242. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05077-0>
- Niérat, M.-C., Laveneziana, P., Dubé, B.-P., Shirkovskiy, P., Ing, R.-K., & Similowski, T. (2019). Physiological validation of an airborne ultrasound based surface motion camera for a contactless characterization of breathing pattern in humans. *Frontiers in Physiology*, 10, 680.
- Noakes, T. (2003). *Lore of running*. Human kinetics.
- Noh, D. K., Lee, J. J., & You, J. H. (2014). Diaphragm Breathing Movement Measurement using Ultrasound and Radiographic Imaging: A Concurrent Validity. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 24(1), 947–952. <https://doi.org/10.3233/BME-130889>

- Obhaliya, Y. C., & Mehta, B. M. (2022). Immediate Effect of Buteyko Breathing Technique on VO 2max in College Students. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, 10(6).
- Ohashi, S., Izumizaki, M., Atsumi, T., & Homma, I. (2013). CO2 homeostasis is maintained in conscious humans by regulation of tidal volume, but not of respiratory rhythm. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 186(2), 155–163.
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Mora-Rodriguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PloS One*, 11(9), e0163389.
- Perry, S. F., Similowski, T., Klein, W., & Codd, J. R. (2010). The evolutionary origin of the mammalian diaphragm. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 171(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2010.01.004>
- Peterman, J. E., Grim, A. P., Kaminsky, L. A., Whaley, M. H., Fleenor, B. S., & Harber, M. P. (2020). Methodological considerations for calculating ventilatory efficiency in healthy adults. *European Journal of Preventive Cardiology*, 27(14), 1566–1567. <https://doi.org/10.1177/2047487319865726>
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 933–996. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100072>
- Prasanna, K., Sowmiya, K., & Dhileeban, C. (2015). Effect of Buteyko breathing exercise in newly diagnosed asthmatic patients. *International Journal of Medicine and Public Health*, 5(1), 77. <https://doi.org/10.4103/2230-8598.151267>
- Presti, D. Lo, Massaroni, C., Zaltieri, M., Sabbadini, R., Carnevale, A., Di Tocco, J., Longo, U. G., Caponero, M. A., D'Amato, R., & Schena, E. (2020). A Magnetic Resonance-compatible wearable device based on functionalized fiber optic sensor for respiratory monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14418–14425.
- Rahi, A. A., Jaber, A. M., & Abd-Ali, D. K. (2019). Effect of Buteyko Method on Lungs Functions among Asthmatic Patients in Al-Najaf City. *Kufa Journal for Nursing Sciences*, 9(2).
- Rappelt, L., Held, S., Wiedenmann, T., Deutsch, J.-P., Hochstrate, J., Wicker, P., & Donath, L. (2023). Restricted nasal-only breathing during self-selected low intensity training does not affect training intensity distribution. *Frontiers in Physiology*, 14, 1134778.

- Rodrigues, G. D., & McConnell, A. K. (2024). The misuse of respiratory resistive loading during aerobic exercises: revisiting mechanisms of “standalone” inspiratory muscle training. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 327(6), L815–L817. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00396.2023>
- Romagnoli, I., Lanini, B., Binazzi, B., Bianchi, R., Coli, C., Stendardi, L., Gigliotti, F., & Scano, G. (2008). Optoelectronic Plethysmography has Improved our Knowledge of Respiratory Physiology and Pathophysiology. *Sensors*, 8(12), 7951–7972. <https://doi.org/10.3390/s8127951>
- Rosa, R. G., Rutzen, W., Madeira, L., Ascoli, A. M., Dexheimer Neto, F. L., Maccari, J. G., Oliveira, R. P. de, & Teixeira, C. (2015). Use of thoracic electrical impedance tomography as an auxiliary tool for alveolar recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome: case report and brief literature review. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 27(4). <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20150068>
- Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O'Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, 13(4), 298–309. <https://doi.org/10.1183/20734735.009817>
- Schena, E., Massaroni, C., Saccomandi, P., & Cecchini, S. (2015). Flow measurement in mechanical ventilation: A review. *Medical Engineering & Physics*, 37(3), 257–264.
- Segizbaeva, M. O. (2021). The effect of endurance and power training on ventilatory function and respiratory muscle strength. *Integrative Physiology*, 2(2), 165–172. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>
- Sevoz-Couche, C., & Laborde, S. (2022). Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 135, 104576. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104576>
- Sheel, A. W., & Romer, L. M. (2011). Ventilation and respiratory mechanics. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 1093–1142.
- Sikora, M., Mikołajczyk, R., Łakomy, O., Karpiński, J., Żebrowska, A., Kostorz-Nosal, S., & Jastrzębski, D. (2024). Influence of the breathing pattern on the pulmonary function of endurance-trained athletes. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51758-5>

- Sinderby, C., Beck, J., Spahija, J., Weinberg, J., & Grassino, A. (1998). Voluntary activation of the human diaphragm in health and disease. *Journal of Applied Physiology*, 85(6), 2146–2158.
- Smith, M. D., Russell, A., & Hodges, P. W. (2006). Disorders of breathing and continence have a stronger association with back pain than obesity and physical activity. *Australian Journal of Physiotherapy*, 52(1), 11–16.
- Strang, A., Ryan, L., Rahman, T., Balasubramanian, S., Hossain, J., Heinle, R., & Shaffer, T. H. (2018). Measures of respiratory inductance plethysmography (RIP) in children with neuromuscular disease. *Pediatric Pulmonology*, 53(9), 1260–1268. <https://doi.org/10.1002/ppul.24134>
- Sun, X. G., Hansen, J. E., Garatachea, N., Storer, T. W., & Wasserman, K. (2002). Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(11), 1443–1448. <https://doi.org/10.1164/rccm.2202033>
- Swathi, G., Kumar, T. S., & Raghunadh, N. (2021). Effectiveness of Buteyko Breathing Technique versus Nadi Shuddhi Pranayama to Improve Pulmonary Function in Subjects with Bronchial Asthma. *International Journal of Science and Healthcare Research*, 6(4), 124–135. <https://doi.org/10.52403/ijshr.20211019>
- Swift, A. C., Campbell, I. T., & Mckown, T. (1988). Oronasal obstruction, lung volumes, and arterial oxygenation. *The Lancet*, 331(8577), 73–75.
- Tanaka, Y., Morikawa, T., & Honda, Y. (1988). An assessment of nasal functions in control of breathing. *Journal of Applied Physiology*, 65(4), 1520–1524.
- Tayebi, S., Gutierrez, A., Mohout, I., Smets, E., Wise, R., Stiens, J., & Malbrain, M. L. N. G. (2021). A concise overview of non-invasive intra-abdominal pressure measurement techniques: from bench to bedside. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 35, 51–70.
- The Buteyko Breathing Association. (2024, September 29). *History of Buteyko Breathing Technique (BBT)*. <https://www.buteykobreathing.org/>
- Thornton, J. M., Guz, A., Murphy, K., Griffith, A. R., Pedersen, D. L., Kardos, A., Leff, A., Adams, L., Casadei, B., & Paterson, D. J. (2001). Identification of higher brain centres that may encode the cardiorespiratory response to exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 533(3), 823–836.

- Tong, T. K., Fu, F. H., Quach, B., & Lu, K. (2004). Reduced sensations of intensity of breathlessness enhances maintenance of intense intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 92(3), 275–284. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1094-5>
- Trevisan, M. E., Bouffleur, J., Soares, J. C., Haygert, C. J. P., Ries, L. G. K., & Corrêa, E. C. R. (2015). Diaphragmatic amplitude and accessory inspiratory muscle activity in nasal and mouth-breathing adults: a cross-sectional study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(3), 463–468.
- Tsukada, S., Masaoka, Y., Yoshikawa, A., Okamoto, K., Homma, I., & Izumizaki, M. (2017). Coupling of dyspnea perception and occurrence of tachypnea during exercise. *The Journal of Physiological Sciences*, 67, 173–180.
- Vagedes, J., Helmert, E., Kuderer, S., Vagedes, K., Wildhaber, J., & Andrasik, F. (2021). The Buteyko breathing technique in children with asthma: a randomized controlled pilot study. *Complementary Therapies in Medicine*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102582>
- Vaish, H., & Sharma, D. (2020). Effect of Buteyko Breathing Technique on Cardiorespiratory Parameters in Obese Young Adults: A Pretest Post Test Quasi-Experimental Pilot Study. *International Journal of Scientific Research in Research Paper. Multidisciplinary Studies E*, 6(7), 29–31.
- Van Oosten, M. (2017). *Effect of the Buteyko Method on Resting Ventilation and Asthma Control in Asthma Patients* [Dissertation thesis].
- Várnay, F., Homolka, P., Mířková, L., & Dobšák, P. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Grada Publishing.
- Véle, F. (1997). *Kineziologie pro klinickou praxi*. Grada Publishing.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Triton.
- Vieira, D. S. R., Hoffman, M., Pereira, D. A. G., Britto, R. R., & Parreira, V. F. (2013). Optoelectronic plethysmography: intra-rater and inter-rater reliability in healthy subjects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 189(3), 473–476.
- Voduc, N., Webb, K. A., D' Arsigny, C., McBride, I., & O' Donnell, D. E. (2004). McArdle's Disease Presenting as Unexplained Dyspnea in a Young Woman. *Canadian Respiratory Journal*, 11(2), 163–167.

- Wagner, P. D. (1996). Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annual Review of Physiology*, 58, 21–50.
- Wagner, P. D. (2000). New ideas on limitations to VO₂max. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(1), 10–14.
- Wang, Z., Su, F., Bruhn, A., Yang, X., & Vincent, J.-L. (2008). Acute hypercapnia improves indices of tissue oxygenation more than dobutamine in septic shock. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177(2), 178–183.
- Ward, S. A. (2019). Exercise physiology: exercise hyperpnea. *Current Opinion in Physiology*, 10, 166–172.
- Welch, J. F., Kipp, S., & Sheel, A. W. (2019). Respiratory muscles during exercise: mechanics, energetics, and fatigue. *Current Opinion in Physiology*, 10, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2019.04.023>
- Werner, H., Jenni, O. G., & Stein, J. (2017). *Basic Sleep Concepts, Science, Deprivation and Mechanisms in Childhood*. Elsevier.
- Whipp, B. J. (2010). The peak versus maximum oxygen uptake issue. *Milan: CPX International Inc*, 1–9.
- Winkelmann, E. R., Chiappa, G. R., Lima, C. O. C., Viecili, P. R. N., Stein, R., & Ribeiro, J. P. (2009). Addition of inspiratory muscle training to aerobic training improves cardiorespiratory responses to exercise in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. *American Heart Journal*, 158(5), 768.e1-768.e7. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.09.005>
- Yakovleva, S., Buteyko, K., & Novozhilov, A. (2016). *Breathe To Heal: Break Free From Asthma*. Lightning Source Inc.
- Yang, X., Sun, H., Deng, M., Chen, Y., Li, C., Yu, P., Zhang, R., Liu, M., Dai, H., & Wang, C. (2022). Characteristics of Diaphragmatic and Chest Wall Motion in People with Normal Pulmonary Function: A Study with Free-Breathing Dynamic MRI. *Journal of Clinical Medicine*, 11(24), 7276.

Seznam obrázků

Obrázek 1. Zjednodušené schéma regulace dýchání

Obrázek 2. Svalové skupiny podílející se na dýchání

Obrázek 3. Dechové sektory

Obrázek 4. Respirační indukční pletysmografie

Obrázek 5. Elektrická impedanční tomografie

Obrázek 6. Optoelektronická pletysmografie

Obrázek 7. Průběh náboru a experimentální mortalita

Obrázek 8. Rozmístění 32 markerů na hrudníku a zádech

Obrázek 9. Rozmístění infračervených kamer OEP systému

Obrázek 10. Design testového protokolu

Obrázek 11. Zátěžový protokol

Obrázek 12. Anketa plnění intervenčního cvičení

Obrázek 13. Denní rozpis cvičení

Obrázek 14. Kontrolní pauza

Obrázek 15. Redukované dýchání

Obrázek 16. Hodnoty kontrolní pauzy v průběhu intervence u aktivních jedinců

Obrázek 17. Hodnoty kontrolní pauzy v průběhu intervence u neaktivních jedinců

Obrázek 18. Zapojení dechových sektorů aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT1

Obrázek 19. Zapojení dechových sektorů neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT1

Obrázek 20. Zapojení dechových sektorů aktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT2

Obrázek 21. Zapojení dechových sektorů neaktivních jedinců experimentální a kontrolní skupiny před a po intervenci při dosažení VT2

Seznam tabulek

Tabulka 1. Primární a pomocné dýchací svaly

Tabulka 2. Ventilační třídy dle VE/VCO₂ slope

Tabulka 3. Publikované studie zaměřené na vliv BDM u astmatické populace ve vědeckých databázích WoS a Scopus za posledních 10 let

Tabulka 4. Publikované studie zaměřené na vliv BDM u zdravé populace ve vědeckých databázích WoS a Scopus.

Tabulka 5. Popisné charakteristiky základních antropometrických údajů a pohybové skóre výzkumného souboru

Tabulka 6. Výsledné hodnoty dotazníku pohybové aktivity na začátku a konci studie u aktivní a neaktivní populace

Tabulka 7. Čas dosažení VT1, VT2 a celkový čas zátěže u aktivní a neaktivních jedinců před a po intervenci

Tabulka 8. Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Tabulka 9. Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Tabulka 10. Ventilační parametry u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VO₂peak

Tabulka 11. Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Tabulka 12. Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Tabulka 13. Parametry spotřeby kyslíku a efektivity dýchání u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VO₂peak

Tabulka 14. Průměrný čas nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT1

Tabulka 15. Průměrný čas nádechu a výdechu u aktivních a neaktivních jedinců před a po intervenci při dosažení VT2

Tabulka 16. Subjektivní ukazatel dušnosti v jednotlivých zátěžových fázích u aktivních a neaktivních jedinců

Poznámkový aparát

ANOVA – *Analysis of Variance*, analýza rozptylu (statistický test)

ART-ANOVA – *Aligned Rank Transform ANOVA*, neparametrická dvoufaktorová analýza rozptylu

BDM – Buteykova dechová metoda (Buteyko Breathing Method)

BF – *breathing frequency*, dechová frekvence (počet dechů za minutu)

BHT – *breath-hold time*, zádrž dechu (doba, po kterou je možné zadržet dech)

CO₂ – oxid uhličitý

CPET – *Cardio-Pulmonary Exercise Test*, spiroergometrické vyšetření (zátěžový test vyšetřující kardiopulmonální funkce)

EXP – experimentální skupina (skupina s dechovou intervencí)

GLTEQ – *Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire*, dotazník volnočasových pohybových aktivit (použit pro rozdělení na aktivní/neaktivní jedince)

KON – kontrolní skupina (skupina bez dechové intervence)

KP – kontrolní pauza (indikátor BDM: doba zadržení dechu po výdechu do prvního nutkání k nádechu)

MD – mean difference, průměrný rozdíl (mezi hodnotami před a po intervenci)

O₂ – kyslík

OEP – optoelektronická pletysmografie (metoda snímání dechových pohybů hrudníku a břicha pomocí kamer a reflexních markerů)

PaCO₂ – arteriální parciální tlak oxidu uhličitého (tlak CO₂ v arteriální krvi)

PaO₂ – arteriální parciální tlak kyslíku (tlak O₂ v arteriální krvi)

PEF/PEFR – *Peak Expiratory Flow (Rate)*, vrcholový výdechový průtok (maximální rychlost proudu vzduchu při výdechu)

PETCO₂ – *End-tidal CO₂ pressure*, parciální tlak CO₂ na konci výdechu (měřený např. během zátěžového testu)

PETO₂ – *End-tidal O₂ pressure*, parciální tlak O₂ na konci výdechu

RMT – *Respiratory Muscle Training*, respirační svalový trénink

RPE – *Rating of Perceived Exertion*, subjektivní stupnice námahy (Borgova škála, typicky 6–20)

V_{Ab} – *Volume of Abdomen compartment* – objem břišního sektoru

V_{RCa} – *Volume of Rib Cage Abdominal Compartment* – objem dolního hrudního sektoru (část hrudního koše odpovídající bráničnímu dýchání)

V_{RCp} – *Volume of Rib Cage Pulmonary Compartment* – objem horního hrudního (plicního) sektoru (část hrudního koše odpovídající převážně nádechu hrudními svaly)

VE – *minute ventilation*, minutová ventilace (objem ventilovaného vzduchu za minutu)

VE/VCO_2 slope – sklon ventilace k produkci CO_2 (ukazatel ventilační efektivity; poměr zvýšení ventilace ke zvýšení produkce CO_2)

VCO_2 – objem produkovaného oxidu uhličitého za minutu (v textu jako VCO_2 , souvisí s metabolismem při zátěži)

VO_{2max} – maximální spotřeba kyslíku (maximální objem O_2 využitý za minutu; ukazatel aerobní kapacity)

VO_{2peak} – dosažená špičková hodnota spotřeby kyslíku (pokud není splněno kritérium VO_{2max})

VT – dechový objem (*tidal volume*, objem vzduchu na jeden dech) – *Pozor*: v textu je **$VT1/VT2$** použito také ve významu první/druhý ventilační práh.

$VT1$ – první ventilační práh (aerobní práh; hranice intenzity, při níž začíná stoupat ventilace vlivem nárazníkové produkce CO_2)

$VT2$ – druhý ventilační práh (anaerobní práh; hranice intenzity, při níž dochází k dalšímu výraznému vzestupu ventilace vlivem acidózy)

η_p^2 – parciální eta kvadrát (*partial eta squared*; míra velikosti účinku v ANOVA)

Přílohy

Příloha 1. Dotazník pohybové aktivity

Dotazník pohybové aktivity

Během **obvyklého** 7denního období (týdne) kolikrát průměrně provádíte následující druhy cvičení déle než 15 minut ve svém volném čase (napište na každý řádek odpovídající číslo).

Testovaná osoba vyplňuje zelené pole			
	Počet za týden		Celkem
a) NÁROČNÁ FYZICKÁ AKTIVITA (Vysoká tepová frekvence) (např. běh, box, hokej, fotbal, squash, basketbal, běh na lyžích, jízda na kole na dlouhé vzdálenosti)		x9	
b) STŘEDNÍ FYZICKÁ AKTIVITA (Není vyčerpávající) (např. rychlá chůze, baseball, lehká jízda na kole, volejbal, badminton, lehké plavání, alpské lyžování)		x5	
c) LEHKÁ FYZICKÁ AKTIVITA (Minimální nároky) (např. jóga, lukostřelba, rybaření z břehu řeky, bowling, golf, lehká dlouhá chůze)		x3	
Výsledná hodnota			

Godinova škála	Interpretace
24 a více	Aktivní
14-23	Středně
Méně než 14	Neaktivní

Příklad

Náročná = 3 times/wk

Střední = 6 times/wk

Lehká = 14 times/wk

Total leisure activity score = $(1 \times 3) + (1 \times 5) + (0 \times 9) = 3 + 5 + 0 = 8$

Datum:

Jméno:

Věk:

Primární sport:

Počet tréninkových jednotek týdně (běžný týden):

Průměrná délka tréninkové jednotky:

Výsledný status pohybové aktivity: AKTIVNÍ/STŘEDNĚ/NEAKTIVNÍ

Příloha 2. Prezence dechových cvičení (snímek 1.–3.)

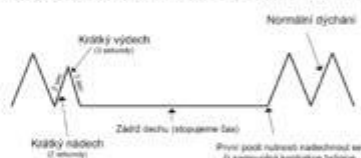
Cvičení

- Délka 6 týdnů
- Celková doba cvičení 40-50 min/den
- Všechna cvičení prováděna nosem!!



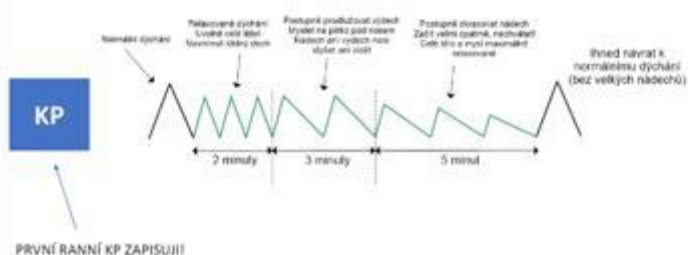
REDUKOVANÉ DÝCHÁNÍ

- Vždy začíná a končí Kontrolní pauzou (KP)
- **KONTROLNÍ PAUZA**
 - KP je indikátor citlivosti na vzestup CO_2
 - KP je zádrž dechu po krátkém výdechu – zádrž není maximální!!!



REDUKOVANÉ DÝCHÁNÍ

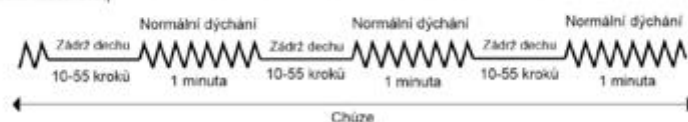
- Posad se vzpřímeně
- Přilož ruku na oblast pupíku a hrudníku
- Cílem tohoto cvičení je snížit množství vdechovaného vzduchu po dobu deseti minut



Příloha 3. *Prezentace dechových cvičení (snímek 4.–5.)*

ZÁDRŽE DECHU PŘI CHŮZI

- Toto cvičení zahrnuje pět zádrží dechu při chůzi (Obrázek 3.)
- Začínáš chůzi po dobu minimálně jedné minuty, dýcháš přirozeně
- Délka zádrže se odvíjí od našeho pocitu nutnosti se nadechnout – v průběhu zádrže bychom se měli dostat do pocitu středně náročného pocitu se nadechnout
- Po celou dobu zádrže musíš být relaxovaný – NE v křeči!!
- Cvičení provádíme 2x denně (příklad: 10:00; 16:00)
- Zádrž dechu je vždy po krátkém **výdechu** (2-3 sec)
- Začínáme velmi snadno !! Např. i 2sec, pokud potom nejsme schopni dýchat „přirozeně“ (musíme se zhluboka nadechnout).



Tipy

- Blízký člověk mě může upozornit, pokud uvidí, že dýchám ústy
- Zdravé dýchání je neviditelné + neslyšitelné
- Nevím jak dýchat méně při redukovaném dýchání
 - 1. Lehni si, polož si knihu na břicho a pozoruj, zdali se kniha hýbe
 - Pohyb by měl být minimální
 - Vyzkoušej cvičení – po výdechu zastav pohyb knihy na 1-2 sekundy
 - 2. BLOKOVÁNÍ NOSU
 - a) ZABLOKUJ SI JEDNU NOSNÍ DÍRKU – POKROČILÉ – DÝCHÁŠ O 50% MÉNĚ!
 - Střídej nosní dírku, kterou blokuješ
 - Dech by neměl být slyšitelný
 - b) LEHCE ZATLAČ NA OBE NOSNÍ DÍRKY
 - Omezím proudění vzduchu
 - Neustále se musím cítit relaxovaný – NE TENZE!!!!!!!
 - c) ČÁSTEČNĚ ZABLOKUJTE PRSTY SVÉ NOSNÍ DÍRKY
 - Polštářky prstů

Příloha 4. PDF dechových cvičení (str. 1)

Dýchej nosem, jez ústy!

Délka intervence: 6 týdnů

Frekvence tréninků: 7 dní/týden

Všechna cvičení jsou prováděna pomocí dýchání nosem, ne ústy!

Denní rutina:

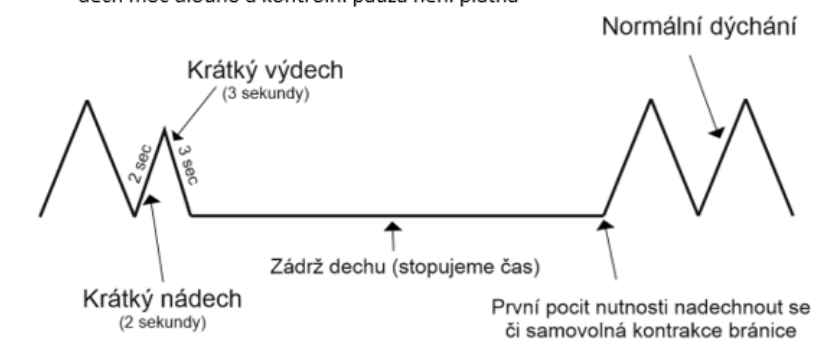
- Redukované dýchání – ihned po probuzení
- Zadrž dechu při chůzi - dopoledne
- Redukované dýchání – okolo poledne
- Zadrž dechu při chůzi - odpoledne
- Redukované dýchání – večer

Redukované dýchání

Redukované dýchání vždy začínáme kontrolní pauzou

Kontrolní pauza (KP) – jak dlouho jsme schopni zadržet dech po výdechu bez velkého nutkání nádechu, první ranní KP vždy zapiš do záznamového archu

- Posadíme se vzpřímeně, krátce se nadechneme (2 sec), krátce vydechneme (3 sec) a poté zadržíme dech se současným držením nosu palcem a ukazovákem ruky
- zadrž dechu **NEJÍ** maximální, jde o délku, dokud nemáme pocit, že se musíme nadechnout nebo neucítíme samovolnou kontrakci dýchacích svalů (krk, hrudník, břicho).
- jakmile se dostaví nutkání nádechu či kontrakce bránice, čas stopni a ihned pokračuj v normálním dýchání (po zadrži by se měla vrátit dechová šablona ihned do stejné podoby jako před zadrží)
- Pokud nejsme schopni kontrolovat naše dýchání po zadrži jako před ní, drželi jsme dech moc dlouho a kontrolní pauza není platná

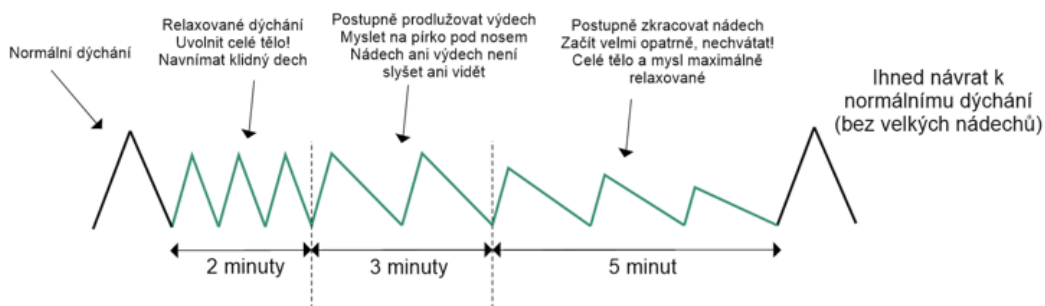


Obrázek 1. Kontrolní pauza

Dýchej nosem, jez ústy!

Redukované dýchání (Obrázek 2.)

- Posad se vzpřímeně
- Přilož ruce na oblast spodních žebér – tam se snažíme dýchat (horní hrudník by měl vykazovat při dýchání minimální pohyb)
- Cílem tohoto cvičení je snížit množství vdechovaného vzduchu po dobu deseti minut
- **0-2 minuta:** Snaž se vyrelaxovat, navnímej klidný dech, uvolni obličej, ramena oblast břicha
- **3-5 minuta:** Posutpně prodlužuj délku výdechu, představ si, že máš pod nosem pírkó | a tvým úkolem je postupně vydechovat tak, aby se ti pírkó nerozechvělo
- **6-10 minuta:** Postupně zkracuj délku a množství nádechu, jedná se opradu o nepatrné zmenšení, postupem času (týdnů), se dostaneš ke kratšímu nádechu. Pokud v této fázi budeš nucen udělat větší nádech, na 20 sec přestán s redukovaným dýcháním a poté opět začni.



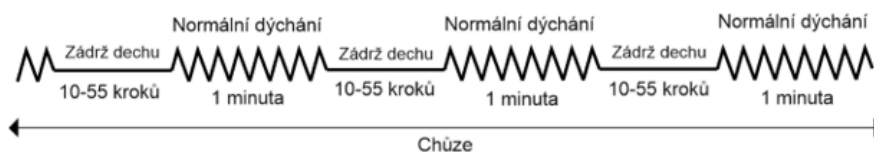
Obrázek 2. Redukované dýchání

- V průběhu cvičení bychom měli cítit **lehkou** potřebu nedostatku vzduchu, to je cílem, proto je nutné abychom byli po celou dobu cvičení co nejvíce zrelaxovaní. Naše tělo a mozek by mělo dostat podnět, že je to v pořádku se takto cítit a postupně si na to zvykne

Dýchej nosem, jez ústy!

Zádrže dechu při chůzi

- Toto cvičení zahrnuje pět zádrží dechu při chůzi (Obrázek 3.)
- Začínáš chůzi po dobu minimálně jedné minuty, dýcháš přirozeně nosem
- Délka zádrže se odvíjí od našeho pocitu nutnosti se nadechnout – v průběhu zádrže bychom se měli dostat do pocitu středně náročného pocitu se nadechnout
- Po celou dobu zádrže musíš být relaxovaný – NE v křeči!
- Cvičení provádíme 2x denně (příklad: 10:00; 16:00)
- Zádrž dechu je vždy po krátkém **výdechu** (2-3 sec)
- Po zádrži by se naše dýchání mělo dostat do normálu během prvních pár nádechů (nesmí dojít k okamžitému předýchávání – hyperventilaci) – je nutné bojovat s pocitem, že musíme dýchat nadměrně, nesmíš to začít „dodýchávat“. Pokud budeš mít velké nutkání se po zádrži nadechnout, proved' 5 krátkých, rychlých nádechů a výdechů a ihned se vrať do normální relaxovaného dýchání
- chůze probíhá jak při zádrži dechu, tak při normálním dýchání – NEZASTAVUJEME



Obrázek 3. Zádrž dechu při chůzi

Poznámka: pokud je naše kontrolní pauza kratší než 10 sekund, první týden neprovádíme zádrže dechu při chůzi, pouze se soustředíme na kontrolované dýchání nosem po dobu 6 minut