



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta

Katedra tělesné výchovy a sportu

Diplomová práce

**Změna ekonomiky dýchání při zátěži  
vlivem předchozí aplikace dechových  
cvičení vycházejících z Wim Hof metody  
do rozcvičení**

Vypracoval: Bc. David Marko

Vedoucí práce: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

České Budějovice, 2021



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**University of South Bohemia in České Budějovice**

Faculty of Education

Department of Sports Studies

Graduation thesis

**Change in breathing economics during  
exercise due to previous application of  
breathing exercises based on the Wim Hof  
method to warm up**

Author: Bc. David Marko  
Supervisor: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

České Budějovice, 2021

## **Bibliografická identifikace**

**Název diplomové práce:** Změna ekonomiky dýchání při zátěži vlivem předchozí aplikace dechových cvičení vycházejících z Wim Hof metody do rozcvičení

**Jméno a příjmení autora:** Bc. David Marko

**Studijní obor:** Učitelství tělesné výchovy pro střední školy (jednooborové)

**Pracoviště:** Katedra tělesné výchovy a sportu PF JU

**Vedoucí diplomové práce:** PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2021

### **Abstrakt:**

Wim Hofova metoda je v dnešní době celosvětový fenomén. Cílem práce je zjistit zda aplikací dechového cvičení, vycházejícího z WHM, dojde k ovlivnění dechové ekonomiky při následné spiroergometrii u adolescentních běžců a běžkyň (14 chlapců a 14 dívek). Běžci a běžkyně absolvovali dva identické zátěžové testy v rozmezí 3 dnů, kdy před jedním z testů bylo bezprostředně provedeno dechové cvičení obsahující tři kola řízené hyperventilace a následné maximální zádrže dechu. Spiroergometrický test se skládal ze 4 dvouminutových zátěžových fází 1, 2, 3, a 4  $W \cdot kg^{-1}$ . Po aplikaci dechového cvičení došlo k významnému ovlivnění kinetiky  $VO_2$  (5,09 %, 3,11 %, 1,55 % a 3,39 % nárůst v jednotlivých zátěžových fázích testu). K významnému nárůstu hodnot došlo také u parametru  $VO_2 \cdot HR^{-1}$  (7,89 %, 5,02 %, 6,78 % a 6,9 %). Menší hodnoty byly naopak naměřeny pro parametr RER, kde byla významnost prokázána u prvních třech fází (7,53 %, 2,94 %, 2,7 % a 0,85 %). Parametry  $V_E$ ,  $V_T$  a BF nebyly významně ovlivněny. Významné rozdíly nebyly naměřeny ani u změny zapojení dechových sektorů. Z výsledků práce vyplývá, že vlivem dechového cvičení, obsahující řízenou hyperventilaci a zádrže dechu, lze akcelarovat kinetiku spotřeby kyslíku, což může vést k usnadnění vytrvalostního výkonu.

**Klíčová slova:** Wim Hof metoda, spiroergometrie, kinetika  $VO_2$ , dechový stereotyp, běžci, adolescenti.

**Bibliographical identification**

**Title of the graduation thesis:** Change in breathing economics during exercise due to previous application of breathing exercises based on the Wim Hof method to warm up

**Author's first name and surname:** Bc. David Marko

**Field of study:** Physical Education

**Department:** Department of Sports studies

**Supervisor:** PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

**The year of presentation:** 2021

**Abstract:**

The Wim Hof method is a worldwide phenomenon nowadays. The aim of our work is to determine whether the application of breathing exercises based on WHM will affect the breathing economy in subsequent spiroergometry in adolescent runners (14 boys and 14 girls). Runners underwent two identical graded exercise tests within 3 days, while before one of the tests was performed breathing exercise containing three rounds of controlled hyperventilation and subsequent breath holds. The spiroergometric test consisted of 4 two-minute load phases 1, 2, 3, and 4  $W \cdot kg^{-1}$ . After the application of breathing exercises, there was a significant effect on the kinetics of  $VO_2$  (5.09%, 3.11%, 1.55% and 3.39% increase in individual phases of the test). There was also a significant increase of  $VO_2 \cdot HR^{-1}$  (7.89%, 5.02%, 6.78% and 6.9%). On the other hand, smaller values were measured for the RER, where significance was demonstrated in the first three phases (7.53%, 2.94%, 2.7% and 0.85%). The parameters  $V_E$ ,  $V_T$  and BF were not significantly affected. No significant differences were measured in the change in the involvement of the breathing sectors. The results of our work show that due to breathing exercises, including controlled hyperventilation and breath holding, the kinetics of oxygen consumption can be accelerated, which can lead to facilitated endurance performance.

**Keywords:** Wim Hof method, spiroergometry, breathing stereotype, runners, adolescents.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis studenta

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu PhDr. Petru Bahenskému, Ph.D. za mnoho cenných rad, připomínek, zapůjčený materiál a možnost využití laboratoře KTVS. Mé poděkování patří také atletům, kteří byli ochotni podstoupit obě testování. V neposlední řadě děkuji své rodině za neustálou podporu v průběhu celého studia.

## Obsah

1 Úvod.....	6
2 Metodologie.....	7
2.1 Cíl, úkoly a hypotézy.....	7
2.1.1 Cíl práce.....	7
2.1.2 Úkoly práce.....	7
2.1.3 Hypotézy.....	7
2.2 Použité metody výzkumu.....	7
2.3 Rešerše literatury.....	8
3 Přehled poznatků o zátěžové funkční diagnostice.....	11
3.1 Význam zátěžové funkční diagnostiky ve sportu.....	11
3.2 Adolescentní věk.....	12
3.3 Analýza dýchacího systému ve vztahu k zátěži a dechovým cvičení.....	13
3.3.1 Mechanika dýchání.....	15
3.3.2 Poruchy dechového stereotypu.....	18
3.3.3 Buteykova metoda.....	22
3.3.4 Wim Hofova metoda.....	26
3.3.5 Ukazatelé dechových funkcí.....	27
3.3.6 Změny dechových funkcí při fyzické aktivitě.....	31
3.3.7 Kinetika VO <sub>2</sub> .....	33
4 Projekt experimentu, jeho organizace a průběh.....	35
4.1 Organizační a přístrojové zabezpečení experimentu.....	35
4.2 Charakteristika souboru.....	43
4.3 Sběr dat.....	44
5 Výsledky.....	45
5.1 Dechové cvičení.....	45
5.2 Vitální kapacita plic.....	46
5.3 Zátěžové fáze.....	46
5.4 První zátěžová fáze (1 W·kg <sup>-1</sup> ).....	48
5.5 Druhá zátěžová fáze (2 W·kg <sup>-1</sup> ).....	49
5.6 Třetí zátěžová fáze (3 W·kg <sup>-1</sup> ).....	50
5.7 Čtvrtá zátěžová fáze (4 W·kg <sup>-1</sup> ).....	51
5.8 Zapojení dechových sektorů.....	52
6 Diskuse.....	54
7 Závěr.....	58
Referenční seznam literatury.....	60
Internetové zdroje.....	64
Seznam použitých zkratk.....	65
Seznam tabulek.....	66
Seznam obrázků.....	67

## 1 Úvod

Za čtyři roky práce v Laboratoři funkční zátěžové diagnostiky jsem se dostal do kontaktu s velkým množstvím zajímavých sportovců a lidí zajímajících se o své zdraví. Mezi tyto lidi bych jednoznačně zařadil tým potápěčů z Českých Budějovic (Legendy z Budějč). Poté co jim u nás v laboratoři byla při prvních testech naměřena vitální kapacita plic přes 10 litrů a při kyslíkovém testu vydrželi 7 minut bez dýchání, jsem byl velmi zvědavý na jejich tréninkové metody a praktiky. Zde jsem poprvé slyšel o Wim Hofově metodě a jejím využití v tréninku potápěčů. Od jednoho z členů potápěčského klubu mi byla propůjčena kniha *What Doesn't Kill Us*, napsaná investigativním novinářem Scottem Carneyem (2017), který se vydal za Wimem, aby jeho metody vyzkoušel, vyvrátil a mohl Wima označit za dalšího šarlatána, které odhaluje po celém světě. To se však u Wima nestalo, a sám Scott byl jedním ze členů výpravy, která se vydala pouze v šortkách na vrchol hory Kilimandžáro.

Wim Hofova metoda (WHM) je současný fenomén, který po celém světě provozují miliony lidí. WHM je ovšem poměrně nová metoda, která je v odborné literatuře zmiňována pouze zřídka, a proto jsem se rozhodl na toto téma zpracovat svou diplomovou práci. Wim Hof je Holanďan, zakladatel WHM a muž, držící v současné době 26 světových rekordů (doběhl půlmaraton bos na sněhu/ledu, vylezl v rekordním čase horu Kilimandžáro pouze v kraťasech, uběhl maraton v africké poušti bez vody, vydržel hodinu v přímém styku s ledem, atd.).

Jeho metoda je založena na třech pilířích: dechových cvičeních, vědomém otužování a meditaci. Podle Wima se aplikací jeho metody může člověk dostat k velkému množství benefitů, a to jak mentálních, tak fyzických. Mezi fyzické benefity jeho metody řadí např.: lepší spánek, zlepšení výkonnosti, zlepšení regenerace, úlevu od autoimunitních onemocnění, úlevu od artritidy, zlepšení metabolismu, zlepšení imunitního systému, více energie a další. Mezi psychické potom např.: zlepšení mentálního zdraví, úlevu od stresu, zlepšení tolerance na chlad či prevenci proti syndromu vyhoření.

V diplomové práci zjišťujeme, zda dechové cvičení z WHM aplikované před zátěží pozitivně ovlivní následný výkon sportovce. Výzkumný soubor sportovců tvořilo 28 adolescentních běžců na střední a dlouhé tratě, členů atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice.



## **2 Metodologie**

### **2.1 Cíl, úkoly a hypotézy**

#### **2.1.1 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je zjištění změny ekonomiky dýchání při zátěži vlivem předchozí aplikace dechových cvičení vycházejících z Wim Hofovy metody do rozcvičení.

#### **2.1.2 Úkoly práce**

- Provedení obsahové analýzy,
- teoretický rozbor poznatků zátěžové funkční diagnostiky a dechových cvičení,
- vytvoření projektu experimentu a jeho organizace,
- vybrání účastníků experimentu,
- vysvětlení techniky dechových cvičení,
- provedení obou testů na bicyklovém ergometru v rozmezí 2–3 dnů,
- vyhodnocení a statistické ověření získaných dat,
- zpracování výsledků do grafické podoby,
- vytvoření závěrů.

#### **2.1.3 Hypotézy**

H1: Předpokládáme, že maximální zádrže dechu s následnými předpokládanými kontrakcemi sleziny budou mít významný pozitivní vliv na kinetiku spotřeby kyslíku.

H2: Předpokládáme, že vlivem hlubokých nádechů s následnými zádržemi dechu dojde k významnému zlepšení ventilačních parametrů při zátěži.

H3: Předpokládáme, že vlivem dechového cvičení před zátěží dojde ke zlepšení neuromechanického spojení bránice, a tím k významné změně dechového vzoru při zátěži.

### **2.2 Použité metody výzkumu**

Metoda obsahové analýzy byla použita pro vypracování teoretické části této diplomové práce, ve které jsou shromážděny poznatky, týkající se zvoleného tématu. Metoda se zabývá systematickým a kvantitativním popisem zjevného obsahu. Použitá odborná literatura, vědecké články a internetové zdroje byly odcitovány a zařazeny do seznamu literatury.

Metoda měření byla v této práci využita v Laboratoři funkční zátěžové diagnostiky katedry tělovýchovy a sportu Jihočeské univerzity. Tato metoda je určena pro měření týkající se biomedicínských vlastností měřeného jedince. Mezi použité přístroje patřily následující: Tanita BC 418 MA, Cortex MetaControl 3000, Dynamometr MD03, Ergometr LODE Excalibur Sport, Cortex MetaLyzer 3B. Zátěžový protokol stupňovaného charakteru na bicyklovém ergometru obsahoval dvouminutové zátěžové fáze 1, 2, 3, a 4  $W \cdot kg^{-1}$ .

Komparativní metoda byla využita pro porovnání naměřených hodnot testů bez zařazení dechového cvičení a s použitím dechového cvičení. Díky této metodě bylo možné potvrzení či vyvrácení stanovených hypotéz a následné vyhodnocení závěrů práce.

Pro ověření hypotéz se využívají tzv. testy významnosti (Olecká & Ivanová, 2010). V této diplomové práci byly využity testy věcné a statické významnosti. Pro zjištění věcné významnosti bylo použito Cohenovo  $d$ , které je možno využít jako nástroj pro hodnocení velikosti efektu mezi dvěma nezávislými proměnnými (Blahuš, 2000). Pro hodnocení velikosti efektu je běžně využíván následující koeficient  $d$  (Hendl, 2004).

- $d = 0,20$  až  $0,50$  – značí malý efekt,
- $d = 0,50$  až  $0,80$  – značí střední efekt,
- $d \geq 0,80$  – značí velký efekt.

Statistická významnost byla určena pomocí dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu. Významnost byla zjišťována na hladinách  $\alpha = 0,05$ , případně  $\alpha = 0,01$ . Mezi statisticky porovnané hodnoty patřily následující parametry: FVC,  $VO_2$ ,  $VO_2 \cdot HR^{-1}$ , RER,  $V_E$ ,  $V_T$ , BF a hodnoty získané svalovým dynamometrem MD03.

### 2.3 Rešerše literatury

Velkým zdrojem informací a podkladů pro mou práci byla kniha zpracovaná kolektivem autorů Chaitow, L., Bradley, D., & Gilbert, C. (2014). *Recognizing and Treating Breathing Disorders*. Amsterdam: Elsevier Health Sciences. Tato kniha představuje nejen multidisciplinární pohled na problematiku dechových vzorů, ale také konkrétní dechové techniky pro jejich zlepšení. Jedna z těchto technik je Buteyková technika, která má svůj základ na stejném pilíři jako technika Wim Hofa, a to na redukci dýchání, zádržích dechu a zvýšení hodnot  $CO_2$  v lidském těle.

Fyziologické podklady pro experiment byly čerpány z populární publikace vytvořené kolektivem autorů Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Praha: UK FTVS. Kniha se snaží přehledně představit aktuální poznatky a vývojové trendy ve fyziologii a jí příbuzných oborech. Zdařile jsou v ní zpracovány především regulační mechanismy před, v průběhu i po skončení pohybové zátěže.

Pro část zabývající se anatomii dýchacích cest bylo využito aktuální publikace Dylevský, I. (2019). *Somatologie: pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka*. Praha: Grada Publishing. Kvalita učebnice se blíží běžnému evropskému standardu a její velkou předností je až 200 obrázků a ilustrací.

Pro doplnění a upřesnění dechové techniky bylo využito knihy Bursová, M. (2005). *Kompenzační cvičení*. Praha: Grada Publishing. Kromě dechové techniky, publikace obsahuje více než devadesát uvolňovacích, protahovacích i posilovacích kompenzačních cvičení, které využívají váhy vlastního těla či základních cvičebních pomůcek.

Pro interpretaci ventilačních a jiných spiroergometrických parametrů byla použita publikace Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum. Kniha obsahuje metodologické základy zátěžové diagnostiky a praktické uplatnění zátěžových testů, a to u sportovců různých zaměření.

Publikace od autorů Kolář, P., & Červenková, R. (2018). *Labyrint pohybu*. Praha: Vyšehrad, je kolekce rozhovorů s uznávaným renomovaným fyzioterapeutem prof. Kolářem. Kniha obsahuje nejnovější poznatky a osobní názory profesora na problematiku nejen poruch dechového stereotypu, ale dalších onemocnění či následků špatného dýchání.

Publikace Várnay, F., Homolka, P., Mífková, L., & Dobšák, P. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Praha: Grada Publishing, sloužila pro doplnění dechové práce a kinetiky spotřeby kyslíku. Kniha obsahuje 71 tabulek, 225 grafů a obrázků a velmi názorně ukazuje průběh zátěžových testů v klinické praxi.

Odborný článek zpracovaný kolektivem autorů Bahenský, P., Marko, D., Grosicki, J. G., & Malátová, R. (2020). Warm-up breathing exercises accelerate VO<sub>2</sub>

kinetics and reduce subjective strain during incremental cycling exercise in adolescents. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(6), 3361–3367, sloužil jako pilotní studie této diplomové práce. Výsledky této práce podpořily závěry na větším počtu probandů.

Při vybírání testového protokolu vhodného k porovnání ventilačních parametrů a zapojení dechových sektorů byl zvolen protokol použit ve studiích Bahenský, P., Bunc, V., Marko, D., & Malátová, R. (2020). Dynamics of ventilation parameters at different load intensities and the options to influence it by a breathing exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1101–1109 a Bahenský, P., Marko, D., Grosicki, J. G., & Malátová, R. (2020). Warm-up breathing exercises accelerate VO<sub>2</sub> kinetics and reduce subjective strain during incremental cycling exercise in adolescents. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(6), 3361–3367.

Pro měření zapojení jednotlivých dechových sektorů byl použit svalový dynamometr MD03, využívaný například ve studiích Bahenský, P., Hermann, T., & Malátová, R. (2019). Breathing pattern during load and its change due to interventional program of breathing exercise. In: Cacek, J. *Proceedings of the 12th International Conference on Kinanthropology, Sport and Quality of Life 7.–9. 11. 2019*, 133–139. Brno: Masarykova univerzita či Malátová, R., Bahenský, P., Mareš, M., & Marko, D. (2019). Influence of the intervention program according to Pulmonary Rehabilitation principles on breathing functions of healthy individuals. In J. Cacek, Z. Sajdlová, & K. Šimková (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Kinanthropology, Sport and Quality of Life 7.–9. 11. 2019*, 103–111. Brno: Masarykova univerzita.

## 3 Přehled poznatků o zátěžové funkční diagnostice

### 3.1 Význam zátěžové funkční diagnostiky ve sportu

Hlavním významem zátěžové funkční diagnostiky ve sportu je vyšetřování zdatnosti a výkonnosti jedince. Jedna z možných definicí zdatnosti je připravenost či způsobilost organismu konat fyzickou činnost se současným odoláváním aktuálních vlivů okolí. Dle Beunena (2001) patří fyzická zdatnost do zdatnosti obecné a představuje schopnost řešit určené úkoly, které jsou spojeny s pohybovým výkonem bez zjevné únavy. Výkonnost je možné charakterizovat jako schopnost podávat objektivně měřitelný výkon, který jedinec vykonává v určité pohybové oblasti či sportovním odvětví. Rozdíl mezi zdatností a výkonností jedince je tedy v užší a méně obecné oblasti. S výkonností je také spjatý termín sportovní výkonost, ten představuje dispozici podávat určitý výkon či opakovaně podávat určitý výkon se stabilní úrovní (Heller, 2018).

V zátěžové diagnostice se využívá celá řada postupů a metod. Mezi tyto postupy a metody patří především laboratorní zátěžové testy. Jeden z nejvíce využívaných testů, je test  $VO_{2max}$ , který se využívá pro stanovení maximální spotřeby kyslíku. Tento test je možné aplikovat na řadě ergometrů, např. běžeckém, bicyklovém či ergometru horních končetin. Hodnotu  $VO_{2max}$  lze také určit nepřímou. K tomuto určení se využívají různé varianty step testů či známý a hojně využívaný test  $W_{170}$ . Pro nepřímé stanovení  $VO_{2max}$  mimo laboratorní podmínky, slouží např. Cooperův 12-ti minutový test, Balkeho 15-ti minutový test či test chůze na 2 km (Heller, 2018).

Důležitý je výběr vhodného testu, který se řídí především podle cíle konkrétního testování. Při výběru je nutné zohlednit potřebu přesnosti a spolehlivosti výsledků. Pokud se podle výsledků testu bude vyhodnocovat a následně řídit další tréninkový proces, využívá se přesného standardizovaného testu. Pokud je však účelem testování jen orientační představa o stavu fyzické zdatnosti, například v početnější skupině, je možné využít i metody, které spotřebu kyslíku určují nepřímou. V tomto případě však nelze výsledky použít pro složitější výzkumné analýzy (Heller, 2018).

Ve standardizovaných zátěžových testech se převážně využívá testování se zatížením velkých svalových skupin. Důležité také je, aby daná práce nevyžadovala přílišné nároky na techniku pohybu a pohybové dovednosti (Heller, 2018).

## 3.2 Adolescentní věk

Adolescentní věk je termín označující poslední vývojové stádium mezi dětstvím a dospělostí. V tomto stádiu dochází k postupnému vyrovnání pubertálních disproporcí a nesrovnalostí, a také k dokončování růstu a vývoje. Tyto procesy však v adolescentním věku zcela nekončí. Proces týkající se růstu a tělesného vývoje je sice téměř ukončen a ke změnám dochází pouze v potencionálním tloušťnutí z důvodu nedostatečného pohybu a nadměrného energetického příjmu, avšak proces vývoje ve společenském utváření nadále pokračuje (Dovalil et al., 2012).

Na konci tohoto období dochází k dovršení plného rozvoje a výkonnosti všech orgánů těla (srdce, plíce, svaly, zesílení kostí, šlach aj.). V minulých obdobích docházelo pouze k přestavbě organismu, v období adolescence však dochází k jeho úplnému dobudování. Dochází k pokračování vývoje abstraktního myšlení, schopnosti logického uvažování a využití analýzy i syntézy (Dovalil et al., 2012).

Změny je možno pozorovat i v chování, u některých jedinců dochází ke zmírnění vznětlivosti a dřívějších nestálostí. Dochází k dotváření osobnosti, kdy stupeň duševního vývoje je již téměř shodný se stupněm vývoje dospělého jedince. Adolescentní věk může být z tohoto důvodu problémový, jelikož se daný jedinec snaží konat nezávisle, což může vést k nežádoucím projevům chování a odmítání autorit rodičů, učitelů, trenérů. Nezřídka se objevují problémy týkající se kouření či alkoholu (Dovalil et al., 2012).

Konec období je charakteristický plným tělesným rozvojem, což představuje počátek doby nejvyšší pohybové výkonnosti. Tréninkové dávky je možné zvyšovat cca od 16. roku života a od 18 let přichází doba maximální trénovatelnosti. Tělo je připraveno na anaerobní zatížení a naskytují se výrazné možnosti v tréninku síly, vytrvalosti a zdokonalení techniky a taktiky. S taktikou jsou spojeny i psychické stavy před a při soutěži, které se musí jedinec naučit ovládat. Často se větší problémovost pozoruje u chlapců, u kterých může dojít k projevům odmítání, vzdoru či hrubosti. Nicméně, snaha jednat podle své vůle napomáhá k hledání činnosti, ve které by se jedinec uplatnil. Mezi takové činnosti sport jednoznačně patří, a je nutné si uvědomit, že toto období je svým způsobem poslední možnost pro ovlivnění, jelikož u dospělého člověka je možnost „předělání“ nízká. Nezbytnou součástí vývoje v tomto věku je tedy vedení k samostatnosti a přijímání zodpovědnosti za své činy (Dovalil et al., 2012).

### 3.3 Analýza dýchacího systému ve vztahu k zátěži a dechovým cvičení

Stálý přívod kyslíku je naprosto nezbytný faktor pro látkové výměny v organismu. Důležitý je však i odvod oxidu uhličitého a vody, které vznikají při všech chemických procesech. Tento transport má na starosti krev (Dylevský, 2019). Řízení ventilace probíhá v několika respiračních centrech. Z dnešního pohledu se respirační centra neberou jako samostatné jednotky s ohraničenou lokalizací, ale jako funkční celky vzájemně se ovlivňujících skupin neuronů. Mezi tyto centra patří respirační centrum v prodloužené míše, které je rozmístěno bilaterálně. V tomto místě se tvoří základní dechový vzor (šablona). Dechový vzor v sobě obsahuje kombinaci trvání inspira a expira, objemů a průtoků, které tvoří ventilaci. Respirační centrum v prodloužené míše obsahuje dvě skupiny respiračních neuronů, dorzální a ventrální. Dorzální skupina, také označována jako inspirační centrum, v sobě zahrnuje pouze inspirační neurony, které vysílají axony k motoneuronům inervující inspirační svaly (bránice, zevní mezižeberní svaly). V průběhu dýchání za klidného stavu jsou aktivní pouze zmiňované inspirační neurony, jelikož nádech je děj aktivní, kdežto výdech děj pasivní (z důvodu elasticity plic). Do inspiračního centra vede tok informací z několika zdrojů (chemoreceptory, plicní receptory), které ovlivňují následnou inspirační činnost. Informace se dostávají dále do mozkového kmene a zajišťují aktivaci dalších mechanismů řídících dýchání. Ventrální respirační skupina, také nazývána jako expirační centrum, není aktivní během klidového dýchání. K její aktivaci dochází pouze v případě usilovného vdechu a výdechu a má za následek zvýšení plicní ventilace (Várnay et al., 2020).

Mezi další centra spolupracující na respiraci jsou centra v *pons Varoli*. Jejich funkce je jak inspirační, tak expirační, avšak není nutná pro spontánní vznik dechového rytmu. Jejich význam je především v ovlivnění respiračního centra v prodloužené míše. Ovlivňují především trvání vdechu a výdechu, a tím celkovou dechovou frekvenci a zároveň plynulé střídání vdechu a výdechu. Centra v *pons Varoli* se rozdělují na pneumotaxické a apneustické. Pneumotaxické centrum je umístěno v horní části *pons Varoli*. Jeho příkazy jsou nadřazené tlumivému působení vagu a zároveň dokáže tlumit apneustické centrum. Z pneumotaxického centra vycházejí signály, které inhibují inspirační neurony v dorzální i ventrální respirační skupině. Jeho funkce je tedy řízení okamžiku, kdy je ukončena inspirace, čímž reguluje respirační frekvenci a objem. Pokud

je toto centrum hyperaktivní, dochází ke zkrácení délky nádechu a tím ke zvýšení dechové frekvence. Naopak, při hypoaktivitě dochází k prodloužení doby nádechu s limitovaným krátkým nádechem. Apneustické centrum se nachází naopak v dolní části pontu, kde stimulací inspiračních neuronů v dorzální respirační skupině prodloužené míchy podporuje inspiraci a navyšuje hloubku inspirace. V chvíli kdy by apneustické centrum nefungovalo správně a stimulace by nebyla dostačující, došlo by k mělkému a nepravidelnému dýchání. Pro shrnutí jednotlivých funkcí lze konstatovat, že respirační centra prodloužené míchy vytváří základní dechový vzor, kdežto centra v *pons Varoli* poté modulují charakter dýchání (Várnay et al., 2020).

Z funkčního hlediska lze dýchání rozdělit do třech fází. První fáze představuje zevní dýchání (ventilaci), a zajišťuje výměnu plynů mezi atmosférou a krví. Tato výměna je prováděna výhradně v plicích. Kyslík přivedený dýchacími cestami difunduje ze sklípků do krve plicních vlásečnic přes kapilární bariéru, která představuje stěnu plicního sklípku, stěnu vlásečnice, vrstvu krevní plazmy a membránu červené krvinky. Proces ventilace je rozdělen na dvě části, nádech (inspirace) a výdech (expirace). Ventilace je realizována díky činnosti dýchacích svalů, pružnosti hrudníku a plic (Dylevský, 2019).

Druhá fáze dýchání je označována jako rozvod (transport). Krev obstarává transport dýchacích plynů (kyslíku, oxidu uhličitého a dusíku) mezi vnitřním povrchem plicních sklípků a buněk. Tento transport funguje oboustranně, kdy je do tkání přiváděn především kyslík a zpět je odváděn vedlejší produkt, a to oxid uhličitý a voda. Oxid se poté pomocí difundace v plicích dostává zpět do vydechovaného vzduchu. Transport je ovlivněn řadou faktorů např. složením vdechovaného vzduchu, funkcí horních a dolních dýchacích cest, nebo složením krve a funkcí oběhového aparátu. Oběhový systém a dýchací systém je tedy jeden funkční prvek, kdy při poruše jednoho, dojde k ovlivnění funkcí druhého (Dylevský, 2019).

Třetí fází je označováno vnitřní nebo také tkáňové dýchání. Při této fázi dochází k výměně plynů mezi krví a tkáňovými buňkami. Studium nitrobuněčné oxidace se zabývá obor biochemie. Proces oxidace v buňce je nezbytný pro uvolnění chemické energie obsažené v živinách, přijímaných v potravě (Dylevský, 2019).

Dýchací cesty se skládají z následujících částí: nosní dutiny, nosohltanu, hrtanu, průdušnici, průdušek a párových plic. Nosní dutina je počátečním prvkem dýchacích



cest a mezi její funkce se řadí predehřívání vzduchu, zachycování nečistot, zvlhčování vzduchu, antimikrobiální působení, rozpouštění pachových látek či její rezonanční vlastnosti pro tvorbu hlasu. Na nosní dutinu poté navazuje nosohltan. Nosohltan je nálevkovitého tvaru a převádí vzduch z nosní dutiny do ústní části hltanu. V tomto místě se kříží dýchací a trávicí cesty. Odtud putují dýchací plyny do hrtanové části hltanu. Důležitou částí nosohltanu je také pravá a levá Eustachova trubice, která spojuje nosohltan a dutinu středouší. Ta má za úkol vyrovnání tlaku ve středouší s tlakem atmosférickým. Dalším prvkem v dýchací soustavě je hrtan, který je tvořen převážně hrtanovými chrupavkami. Chrupavky hrtanu jsou spojeny drobnými klouby, které zajišťují pohyblivost hrtanu. Na prstencovou chrupavku poté navazuje průdušnice. Průdušnici lze charakterizovat jako trubici, která je přibližně 12 cm dlouhá a 2 cm široká. Tato trubice vede hrudníkem a přibližně u horního okraje pátého obratle je rozvětvena na dvě průdušky. Pravá průduška je v téměř v totožném úhlu jako průdušnice, z toho důvodu vdechnuté předměty často končí právě v ní. Levá průduška pokračuje pod ostřejším úhlem a je delší. Průdušky poté vstupují do svého plicního křídla (Merkunová & Orel, 2008).

Plíce jsou párový orgán jehlancovitého tvaru. Jsou chráněny dvěma vrstvami. První vrstva je samostatná blána zvaná poplicnice, která je umístěna na povrchu plicních křídel. Druhá vrstva je pohrudnice, ta leží na vnitřní stěně hrudníku. Prostor mezi těmito blanami je označován jako pleurální dutina, která obsahuje malé množství vazké tekutiny umožňující tření blan. Každá plíce je dále dělena na jednotlivé laloky, pravá plíce je rozdělena hlubokými zářezy na tři laloky, levá plíce je dělena pouze na laloky dva. Laloky jsou poté děleny na samostatné segmenty a ty na lalůčky. Do každého lalůčku vstupuje koncová průdušinka, která se rozděluje v respirační průdušinky, přecházející v alveolární chodbičky končící plicními váčky. Ty se poté vyklenují v četné plicní sklípky (Dylevský, 2019).

### **3.3.1 Mechanika dýchání**

Hrudník je svou stavbou a tvarem uzpůsoben k realizaci dýchání. Díky jeho zakřivení, pružnosti a pohyblivému spojení žeber je možno za pomoci dechových svalů prostor kolem plic zvětšovat a zmenšovat. Fáze vdechu a výdechu se pravidelně střídají. Vdech je aktivní děj, u kterého dochází ke zvětšení rozměru hrudníku a nasátí vzduchu do plic. Tento děj je závislý na činnosti inspiračních svalů. Mezi tyto svaly

řadíme bránici, zevní mezižební svaly, prsní svaly a některé svaly krku a zad. Bránice je nejvýznamnější vdechový sval, který zároveň odděluje hrudní a břišní dutinu. Její začátek je na páteři a upíná se na žebra. Pohyb bránice je možné přirovnat k pohybu pístu, jelikož svým smrštěním stahuje žebra, oploštěná klenba se posouvá kaudálním směrem a dochází ke stlačení břišních útrob. Samotná bránice stojí až za 80 % plicní ventilace. Plíce se však neroztahují tím, že by byli připojené k hrudní stěně, ale díky podtlaku v pleurální dutině, který způsobuje, že pružné plíce, ve kterých je atmosférický tlak vyšší než v dutině, mají tendenci se rozpínat do zvětšujícího se prostoru pleurální dutiny (Dylevský, 2019).

Výdech je pasivní děj, který využívá především pružnost plic a hrudní stěny a samotnou hmotnost hrudníku. Mezi výdechové svaly se řadí břišní svaly a vnitřní mezižební svaly, které se do výdechu zapojují až v závěru expirace či při usilovném výdechu. Při výdechu dochází k automatickému vracení žeber a bránice do původní polohy, což způsobí zmenšení hrudní dutiny ve všech směrech a stlačení plic. Pro dýchání v klidovém stavu je u zdravého jedince využívána především bránice, mezižební svaly a pružnost hrudníku a plic. Se zvyšující se intenzitou fyzické aktivity stoupá i hloubka dýchání a dochází k zapojení dalších svalů tzv. pomocných dýchacích svalů. Mezi tyto svaly řadíme zádové svaly, krční svaly a svaly pažního pletence, které jsou upnuty na hrudník (Dylevský, 2019).

Nádech je možné pozorovat nejdříve v břišní části, kdy při zapojení bránice dochází ke stlačení útrob, zvýšení nitrobřišního tlaku a k mírnému vyklenutí břišní stěny. K pohybu dochází také u žeber, která se rozvíjí a páteř se natahuje. V průběhu nádechu se postupně pohyb bránice směrem dolů zpomaluje z důvodu rostoucího tlaku v břišní dutině. Nádech se poté přesouvá výše do oblasti dolního hrudníku a nakonec putuje až do horní dýchací části, při které dochází ke zvednutí horních žeber a roztažení hrudníku. Proces výdechu funguje obdobným způsobem, kdy opět dochází k zapojení nejdříve dolní dýchací části, poté střední a nakonec horní (Véle, 2006).

Pro správnou techniku dýchání se často využívají cvičení zaměřená na nácvik dýchání s koncentrací na hluboký vdech a výdech. Taková cvičení se pravidelně zařazují do hodin jógy a dalších tělovýchovných aktivit. Benefity z nich však mohou čerpat lidé nejenom při domácím cvičení, ale také sportovci, jelikož korigují dechovou vlnu, zvyšují dechovou kapacitu organismu, a tím i vitální kapacitu plic (Bursová, 2005).

Fyziologicky správná dechová vlna je prováděna odspodu směrem nahoru. Od spodu nezačíná pouze fáze nádechu, ale i fáze výdechu, která plynule navazuje. Dech by neměl být slyšet, měl by být pomalý, hluboký a rytmický. V józe je takovýto dech označován jako tzv. plný jógový dech. Dechovou vlnu je možno rozdělit do tří částí, a to spodní (brániční či abdominální), střední (hrudní či kostální) a horní (podklíčkové či klavikulární). Způsob, jakým každý jedinec dýchá, je velmi individuální a ovlivněný nejen jeho konstitucí, ale také způsobem života, pohlavím či věkem. U dětí a mužů se vyskytuje vyšší podíl bráničního dýchání než u žen. U správného dýchání jsou zapojeny všechny dechové sektory, s dominancí sektoru bráničního. Toto smíšené dýchání, u kterého brániční sektor zaujímá nejúčinnější složku dechové funkce, by mělo být prováděno v klidu u každého zdravého jedince. Pokud v klidu převládá dýchání hrudní, můžeme ho označit jako patologické (Bursová, 2005).

U dechových cvičení, procvičujících nácvik dechové vlny, je důležité, aby jedinec vědomě kontroloval dostatečně dlouhý výdech a dýchal výhradně nosem. Tím jak jedinec výdech dostatečně prodlouží, dochází k jeho zdokonalování a zabezpečí se efektivnější vyprazdňování plic. Pokud bychom neprovedli dostatečně dlouhý výdech, došlo by k nežádoucímu snížení dechového objemu a zvýšení dechové frekvence, což má za následek mělké, povrchní a neekonomické dýchání. Kvalitním výdechem dochází i ke snížení nervosvalové dráždivosti u většiny kosterních svalů, a tím k svalové relaxaci. Z toho důvodu je takovýto výdech výrazně doporučován i při protahovacích cvičeních. Dlouhodobé dýchání ústy není fyziologické, avšak v průběhu intenzivního výkonu je nezbytné. Hlasitý výdech může mít své místo i mimo intenzivní aktivitu, a to při kontrole nácviku správnosti dýchání, při kterém je velmi častou chybou zadržování dechu (Bursová, 2005).

Dle Koláře a Červenkové (2018) je pro správný nádech nutné, aby se všechny svaly, které jsou upnuty na trup a pánev uvolnily tak, aby se mohly kontrolovaně rozšířit. K tomuto stavu se dokáže dostat pouze malé množství lidí. Často dochází k tomu, že svaly, které by měly být při nádechu zapojeny, nejsou vůbec v procesu dýchání aktivovány a naopak svaly, které mají být řízeně relaxovány, jsou aktivní. Tento jev je možné vidět u prsních svalů, které je nutno uvolnit za účelem rozšíření hrudníku. Pokud k tomu nedojde, prsní svaly tak brání ve správném pohybu dalším svalům a dochází k rozboření celé biomechaniky dýchání.

Správná funkce dýchání je nezbytná i pro správnou funkci posturální, jelikož dechový stereotyp úzce souvisí se stabilizační funkcí těla. Lze říci, že dýchání a postura jsou spojené nádoby, které od sebe nelze oddělit. Ve chvíli, kdy dochází k špatnému dechovému stereotypu, dochází zároveň k chybné stabilizaci trupu a tím k přetížení páteře a ostatních kloubů (Kolář & Červenková, 2018).

Zvýšením nitrobřišního tlaku dojde ke zpevnění trupu a vytvoření pevného rámu, který umožní pohyb končetin. Zpevnění trupu je tedy zásadní při výkonu každého pohybu, od sáhnutí na věšák pro kabát, podání ruky, či zvednutí palce u nohy. Tělo by jednoduše nedrželo pevně. Zvýšení nitrobřišního tlaku je možné zaznamenat při stabilizaci během silového výkonu, a to díky známému hekání. Důvodem je uzavření hrtanové příklopky a vytvoření odporu, díky kterému dochází ke zpevnění trupu i v průběhu dýchání. Nezbytnou podmínkou pro tento děj je dostatečná mobilita vnitřních orgánů. Pokud je tato mobilita ovlivněna například jizvou po operaci, změní se stabilizační funkce celého těla. Důležité je však zmínit, že změnou, dokonce i kontrolou dechového stereotypu, lze ovlivnit řadu obtíží, a to i obtíží psychických (Kolář & Červenková, 2018).

### **3.3.2 Poruchy dechového stereotypu**

Poruchy dechového stereotypu (PDS) mohou být definovány jako neadekvátní způsob dýchání, které je aplikováno dostatečně dlouho, aby způsobilo změny v organismu. Lum (1987) definuje PDS jako opakované či chronické změny v dechovém vzoru, které nejsou možné přiřadit k specifické lékařské diagnóze. PDS nemusí být pouze rizikovým faktorem pro vytvoření dysfunkce, jelikož tento vztah může fungovat i obráceně, tedy PDS může být výsledkem již vytvořené dysfunkce (Bradley & Esformes, 2014). Dle Vidotta et al. (2019) je dysfunkční dýchání respirační stav, který je charakterizovaný nepravidelnými dechovými vzory. Mezi příznaky takových dysfunkcí může patřit dušnost jedince a jeho nutnost se nadechnout, či nerespirační příznaky, které mohou tvořit závratě či bušení srdce. S dysfunkčním dýcháním je možné se setkat u všech věkových kategorií. Poruchy dechových stereotypů jsou zkoumány již desítky let, avšak často zůstávají stále nepochopeny z důvodu malého počtu kvalitních klinických hodnocení. To poté může vést k záměně diagnózy dysfunkčního dýchání za jiné běžné kardiopulmonální choroby. Příčinou této záměny jsou totiž podobnosti

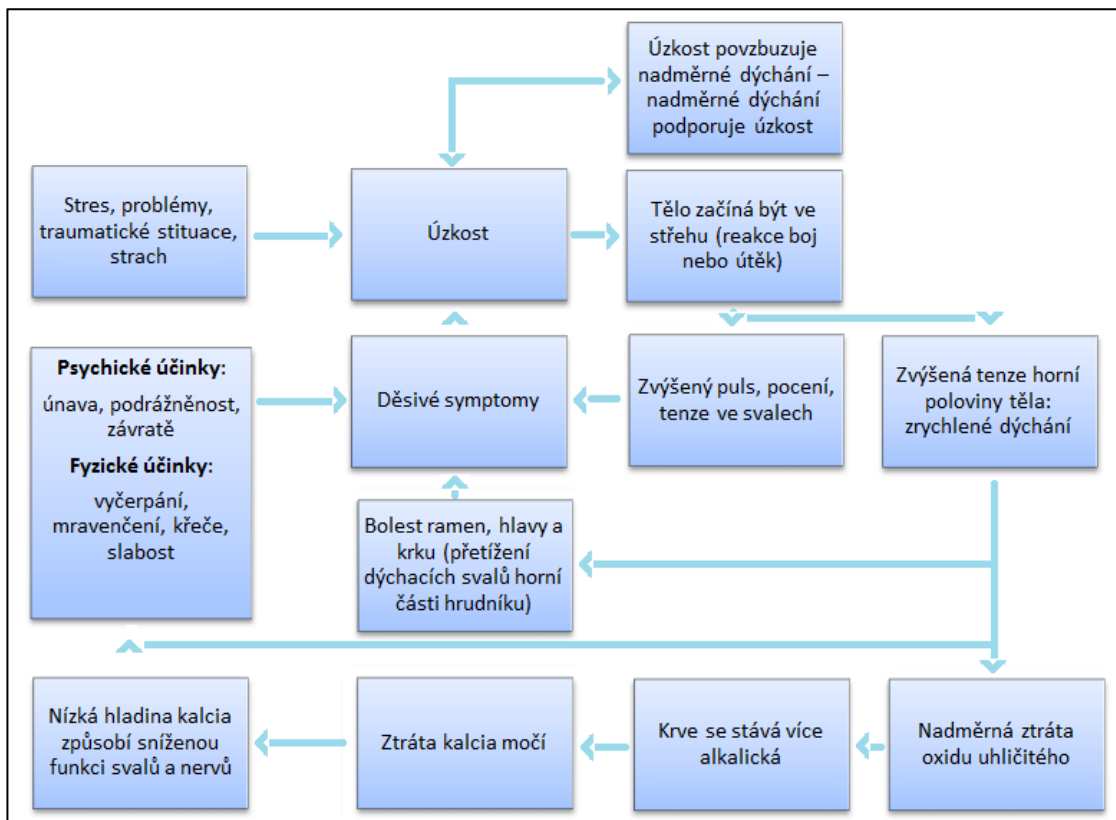
přidružených příznaků (závratě, dušnost a tachykardie). Ke snížení míry chybné diagnózy je nezbytné holistické, vícerozměrné hodnocení.

Ke správnému dýchání neodmyslitelně patří správná postura a stabilita osového aparátu. Pokud nejsou posturální svaly ve vzájemné rovnováze, může dojít ke změně dechového vzoru z důvodu komprese hrudního koše a inhibice pohyblivosti žeber. V tomto stavu dojde k ovlivnění stability trupu, aktivity bránice a příčného břišního svalu. Je nutné si uvědomit fakt, že dýchání není jen automatická činnost, kterou se nemusíme zabývat (Elphinston, 2014). Dle Koláře a Červenkové (2018) nestačí pouze fakt, že dýcháme. Naše dýchání musí být správné, neboť má vliv na obrovské množství dalších faktorů. Z dýchání lze číst jako z učebnice. Lze z něj vyčíst například úzkost, dlouhodobý stres či bolest. Pokud dojde u jedince k nějaké interní poruše v břišní dutině, i to ovlivní způsob, jakým dýchá. Tento jev je možné pozorovat například u jedince, který trpí ledvinovou kolikou. Při vyšetření na magnetické rezonanci vidíme, jak probíhá dynamický proces vnitřních orgánů během dýchání. Právě zmíněné ledviny se dýcháním pohybují natolik, že míra, kterou za den urazí, často převyšuje míru, kterou nachodíme. U ledvinové koliky se tedy jedinec snaží o co nej povrchnější dýchání, právě z důvodu toho, aby nedošlo k pohybu ledvin.

Dále však Kolář a Červenková (2018) dodávají, že problematika správného dechu není jednoduchá. I sebelepší písemné instrukce či obrázky často nepomohou jedinci s představou, jak má správné dýchání vypadat. To, jak má člověk správně dýchat, si musí každý prožít. Jako první věc je nutné si uvědomit, že dýcháme, poté to, jakým způsobem, a až ve třetím kroku je možné dostat instrukce, jak dech správně ovládnout a řídit. Z východní kultury je známa řada technik, při kterých se jedinec soustředí právě na prožitek dechu. Často se na tento pocit soustředí také bojové techniky z tohoto prostředí. U lidí, praktikujících tyto techniky, je korekce dechového stereotypu výrazně jednodušší. Je tedy jednoznačné, že prožitek má v rehabilitaci významnou roli.

Jedna z možných poruch dechového stereotypu je akutní a chronická hyperventilace. V západní literatuře jsou první zmínky o hyperventilaci datované do období americké občanské války. Hyperventilaci popisoval ve své studii chirurg Da Costa (1871), kde participovalo 300 vojáků, kteří trpěli symptomy dušnosti, závratěmi, bolestí na hrudi, bolestí hlavy a přerušovaným spánkem. Tyto symptomy se pomalu

zlepšovaly v momentě, kdy se vojáci dostali z první linie. Da Costa však nebyl schopen určit hyperventilaci jako primární příčinu těchto symptomů. S výzkumem pokračovali fyziologové Haldane a Poulton (1908), kteří zjistili spojitost mezi otupělostí, mravenčením v prstech a závratěmi s „předýcháváním“. O rok později byl objeven Vernonem (1909) další symptom, a to svalový hypertonus. Všechny tyto symptomy doprovázela alkalóza způsobená právě hyperventilací. Roku 1937 byl Kerreem a jeho kolegy definován pojem hyperventilační syndrom (HVS) a poukázal na možné symptomy v různých tělesných systémech (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).



**Obrázek 1. Vývojový diagram stres–úzkost–dýchání zobrazující několik možných účinků a vlivů poruch dýchacího vzorce (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014, s. 3).**

Přesná definice hyperventilace spočívá v dýchání překračující metabolické požadavky, což za má následek snížení koncentrace oxidu uhličitého v krvi pod normální hodnotu. Snižování hodnoty  $\text{CO}_2$  v krvi zvyšuje pH a vytváří mnoho fyziologických změn. Jednou z těchto změn je konstriktce hladkého svalstva a snížení prahu bolesti. Zvýšení pH v krvi zlepšuje funkci svalů, které je možné vidět například u krátkodobých cyklických sprintů. V průběhu hyperventilace se hemoglobin úzce váže na kyslík, čímž snižuje uvolnění kyslíku do tkání, zejména do periférií. Toto může způsobit zvýšení svalového laktátu. Zjištění, že dochází ke konstriktci hladkého svalstva,

při zvýšení pH, může potencionálně vysvětlovat zvýšený svalový tonus u jednotlivců s poruchou dýchacího vzoru (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014). Snížením  $p\text{CO}_2$  kontrolovanou hyperventilací lze zvýšit výkonnost a vnímání úrovně energie (Buijze & Hopman, 2014).

Dle De Groota (2011) je u dospělých hyperventilace poměrně běžná. V průměrné populaci se vyskytuje zhruba u 6 % lidí (Lum, 1975). Rice (1950) uvádí hodnotu 10 %. Nejčastější výskyt hyperventilace byl monitorován u 13–15 letých chlapců a dívek (Herman, Stickler, & Lucas, 1981).

Existují však situace, ve kterých je nadměrné dýchání, jinak spadající do PDS, akceptovatelné:

- bezprostředně před akcí, závodem, či jinou stresovou situací dochází ke stimulaci předýchávání či hyperventilace, jelikož zvýšené pH zvyšuje fyziologickou připravenost na zátěž,
- v podmínkách kdy je systém příliš acidózní z důvodu jaterní či ledvinové choroby, závažné chronické obstrukční plicní nemoci či při toxémii v průběhu pokročilého stádia těhotenství je hyperventilace vhodná pro snížení nadměrné hladiny kyselin,
- v menstruačním cyklu ve fázi luteální, kdy je zvýšená hladina progesteronu, který stimuluje respiraci,
- jak již bylo zmíněno, hyperventilace zvyšuje pH. Jedním z následků zvýšeného pH je kontrakce hladké svaloviny, včetně krevních cév. Tento děj může znamenat záchranu života ve chvíli, kdy nastane krvácení do mozku, jelikož hypokapnie (snížená hladina oxidu uhličitého) podporuje mozkovou ischemii,
- při zátěži vyšší intenzity dochází ke zvýšení hladiny kyseliny mléčné a kyseliny pyrohroznové. Snížení kyselosti je možné zvýšením respirace (hyperventilací),
- jedinci, kteří jsou aklimatizováni na život v minimální nadmořské výšce (Mexico city, Johannesburg, Denver), jsou při přechodu do výšky okolo 2000 m n. m. nuceni hyperventilovat z důvodu nízkého obsahu kyslíku ve vzduchu (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

U osob s těžkou obezitou či diabetem se může vyskytovat naopak hypoventilace. Ta spočívá v mělkém dýchání, nedostačující k dodávce nutných plynů a nadměrnému množství oxidu uhličitého v těle (hyperkapnie). Mělké dýchání bylo

zjištěno i u skupiny studentů Tělesné výchovy a sportu, kteří se pravidelně věnují nějaké sportovní aktivitě (Malátová, Bahenský, & Mareš 2016; Malátová et al., 2017). U hypoventilace nastává na rozdíl od hyperventilace acidóza (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Co je však nutné si uvědomit, je fakt, že všechny poruchy dechového stereotypu jsou pouze poruchy, nikoliv nemoci. Jak již bylo zmíněno, PDS je možné přirovnat kupříkladu ke špatné postuře. Pokud má jedinec potenciál stát či sedět vzpřímeně, a přesto se hrbí, jeho stav také nenazýváme nemocí, i přestože může zásadně ovlivnit např. svaly, vazy, klouby či prostor a polohu pro uložení orgánů v hrudním a břišním sektoru. V obou případech se tedy jedná o funkční poruchu, která má za následek další symptomy. Symptomy, vyvolané PDS, mohou spočívat ve změně biochemie těla, která má za následek hluboký vliv na emoce, oběh, trávicí funkce a muskuloskeletální struktury zapojené do procesu dýchání (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Dle Malátové et al. (2019) lze i šestitýdenním intervenčním programem založeným na plicní rehabilitaci pozitivně ovlivnit dechový stereotyp a zvýšit podíl bráničního dýchání. Ve studii Bahenského et al. (2019) byl dechový stereotyp kladně ovlivněn po aplikaci dvouměsíčního dechového programu založeného na jógových cvičeních s úkolem aktivace bránice a rozlišování jednotlivých dechových sektorů.

### **3.3.3 Buteyková metoda**

Dech lze zastavit buď s otevřeným, nebo se zavřeným hrdlem. Přitisknutí zadní části jazyka proti patru utěsňuje průchod vzduchu a zablokuje veškerý pohyb vzduchu. Držení dechu s otevřeným hrdlem je obvykle těžší, protože vyžaduje pozastavení veškerého pohybu souvisejícího s dýcháním, ale zdá se, že účinněji rozšiřuje vědomou kontrolu. V každém případě je zastavení dechu v repertoáru každého (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Ovšem vměšování se do abstraktního mechanismu často ohrožuje citění těch, kteří to nejvíce potřebují. Přerušené dýchání může vyvolat latentní obavy. Krátký čas zádrže dechu je jedním z indikátorů tendence k hyperventilaci. Zadržetí dechu po nádechu je jednodušší, než po výdechu. Ovšem zádrž dechu po vydechnutí má své velké výhody. Při zadržetí dechu po nádechu dochází k napětí a tlaku u vdechových svalů, a tím vytváří dočasnou hyperinflaci, která zabraňuje relaxaci a řádnému



vyprázdnění plic. Pauza po výdechu je více uvolňující a trénováním je možné zvýšit toleranci na CO<sub>2</sub> (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Buteykova metoda je systém dechových cvičení, které učí cvičence kontrolovat jeho tendence k „předýchávání“ a hyperventilaci. Dechová cvičení jsou založena na teoriích ukrajinského lékaře Dr. Konstantina Buteyko. Tento ukrajinský doktor věřil, že nedostatek oxidu uhličitého je hlavní příčinou mnoha chronických onemocnění. Buteyko tvrdil, že zvýšení oxidu uhličitého v těle může údajně benefitovat až 150 nemocem (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Buteykova metoda byla použita u pacientů s astmatem, u kterých bylo prokázáno, že po naučení dechových cvičení mohli pacienti omezit jejich léky, určené pro zmírnění astmatu, bez žádného omezení jejich dechových funkcí. Na toto téma bylo publikováno minimálně 6 článků, a proto v roce 2008 zdravotní a vládní úřady v Austrálii a Britská Thoracic Society odsouhlasily a doporučily tuto metodu pro pacienty s astmatem (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Techniky této dechové metody podporují kontrolu nad dechem, a to převážně u astmatiků a jiných souvisejících dechovým symptomů, jako součást každodenního života. Dechové techniky jsou prováděny denně a obsahují zádrže dechu. Typická tréninková jednotka této metody je zobrazena v Tabulce 1 (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

**Tabulka 1. Tréninková jednotka Buteykovi metody podle Chaitow, Bradley, & Gilbert (2014), s. 242.**

Postup	Popis
Krok 1: počáteční kontrolní pauza	Po mírném nádechu pacient vydechne nosem a zadrží dech do té doby, dokud nemá první jasnou potřebu se znovu nadechnout nebo nedošlo k samovolné kontrakci bránice.
Krok 2: tři až pět minut dýchání se sníženým objemem	Pacient postupně snižuje objem dýchání do té doby, dokud necítí lehký nedostatek kyslíku. Pacient zůstává uvolněný po celou dobu tohoto kroku.
Krok 3: Maximální pauza. Maximální pauza může být nahrazena kontrolní pauzou, je-li maximální pauza kontraindikována výskytem onemocnění ledvin, epilepsie, hypertenze nebo jiného závažného chronického onemocnění.	Maximální pauza začíná mírným nádechem a výdechem. Poté se pacient snaží zadržet dech co možná nejdéle, až do bodu velkého nepohodlí.
Krok 2 a 3 je poté opakován až 5x	
Finální kontrolní pauza	Stejný postup jako u kroku 1

Redukce objemu dýchání je jedna z hlavních částí Buteykovy metody. V průběhu tohoto procesu se pacienti snaží snížit minutový objem a tím zvýšit alveolární CO<sub>2</sub>. Je velice důležité, aby pacienti zůstali uvolnění v průběhu tohoto kroku, z důvodu přirozené reakce těla, která se naopak na obranu snaží dechový objem zvýšit. U pacientů trpících úzkostmi bylo zjištěno, že při snaze snížení dechového objemu naopak došlo k jeho zvýšení (Conrad et al., 2007). U těchto pacientů musí být zvoleny jiné dechové techniky, pro zvýšení CO<sub>2</sub> (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Snížení dechového objemu má i další benefity, kromě zvýšení CO<sub>2</sub>. Při správné technice dochází k redukci hyperinflace plic. Hyperinflace je stav, při kterém dochází ke zvýšení reziduálního objemu plic z důvodu neúplného výdechu. Tento děj je běžný u pacientů s astmatem, chronickou obstrukcí plic a dalších stavů spojených s chronickým zvýšením dechového objemu, např. úzkostmi. Problematika dušnosti, disfunkce bránice a narušení neuromechanických aspektů kontroly dechu, může být způsobena dynamickou hyperinflací (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

U Buteykovy metody se shledáváme s dvěma typy zádrží dechů. Kontrolní pauzou a maximální pauzou. Kontrolní pauza se využívá na začátku a na konci dechového cvičení a maximální pro trénování délky zádrže dechu a jako léčebný nástroj pro kontrolu příznaků. Kontrolní pauza je nezbytnou částí této dechové metody a mnozí provozovatelé této metody věří, že představuje úroveň zdraví a stupeň hypokapnie (pokles koncentrace oxidu uhličitého v krvi). Poslední studie naznačují, že kontrolní pauza neudává přesnou indikaci poklesu CO<sub>2</sub>, ale funguje jako dobrá indikace prahu dušnosti a ventilačního výkonu (Courney & Cohen, 2008). Delší kontrolní pauza na konci cvičení je znakem zvýšení tolerance dušnosti. U jedinců s hyperventilací, prohloubeným dýcháním nebo hyperinflací je tento efekt velice žádoucí. Provozovatelé Buteykovy metody zjišťují, že délka kontrolní pauzy se tréninkem postupně zvyšuje po týdnech, měsících či dokonce letech (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

U maximální pauzy je zádrž dechu držena do maximální tolerance a využívá se k prodloužení doby zádrže. Využívá se také k uvolnění nosních cest a zmírnění příznaků akutního bronchospasmu. Hladina oxidu uhličitého se na okamžik zvýší, což umožňuje tělu zvrátit výměnu plynu oxidu uhličitého, tak, že tělo re absorbuje oxid uhličitý. Výzkumy na atletech ukazují, že maximální zádrže dechu zařazené do tréninkové rutiny mají za důsledek zvýšení produkce endogenních antioxidantů a zvýšení anaerobního

prahu (Joulia et al., 2003). Zádrže dechu po maximální dobu také způsobují kontrakce sleziny s následným zvýšením hladin hematokritu a hemoglobinu a možnými účinky stimulace imunitního systému (Schagatay et al., 2005). Možné výhody maximálních zádrží dechu jsou využívány například také u léčby nemalobuněčných karcinomů plic (Rosenzweig et al., 200).

Důvodem zvýšení hematokritu a hemoglobinu je ten, že slezina funguje jako zásobárna krve (Rösch, 1965). Až 100 mL krve bohaté na erytrocyty je vyloučeno do krevního oběhu a tím dochází k nárůstu hematokritu o 1–2 %.

Oxid uhličitý je stěžejní pro lidské zdraví a hypokapnie může vést k několika patofyzikálním procesům v několika orgánových soustavách (Laffey & Kavanagh, 2002). Oxid uhličitý je spojený s několika klíčovými fyziologickými reakcemi, jako je např. udržení pH. Chronická hypokapnie se dle dostupné anglické literatury vyskytuje u 5–10 % populace. Jedinci s astmatem, panickou poruchou, spánkovou apnoe, kardiovaskulárními nemocemi a dalšími chronickými nemocemi mají větší tendence k hyperventilaci, než zdraví jedinci. U těchto jedinců však není hyperventilace konzistentní, dochází k ní často v průběhu fyzického či psychického stresu, je tedy možné, že i pacienti s normálním klidovým  $\text{CO}_2$  mají nerozpoznané tendence k epizodické hyperventilaci, která destabilizuje biochemické aspekty dýchací homeostázy (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Jeden z aspektů Buteykovy teorie oxidu uhličitého mluví o tom, že astma není nemoc, ale obranný mechanismus našeho těla proti hyperventilaci a udržení tak hladiny krevního  $\text{CO}_2$ . Toto vysvětlení astmatu, které přisuzuje astma jako obranný prvek proti hyperventilaci, je však zjevným zjednodušením. Umírněná verze této teorie říká, že hyperventilace a hyperpnoea zhoršuje astma. Tato teorie je podložena důkazy, které potvrzují, že hyperventilace a hyperpnoea mohou přispět k bronchokonstrikci (Bruton & Holgate, 2005).

Opakované zádrže dechu mají významný vliv na respirační motorickou plasticitu. Vytváří adaptivní účinky, které jsou salutogenní a zvyšují homeostatickou kapacitu těla. Mezi příznivé účinky zadržného dechu patří zlepšení tónu svalů horních cest dýchacích, zvýšením aktivity bloudivého a podjazykového nervu. Zlepšení také dochází u metabolismu kyslíku, snížení zánětu a zvýšení stresové tolerance. Je tedy důležité zmínit, že nízkoobjemové dýchání a náhlé hluboké dýchání, metody vyskytující

se u Buteykovy metody, mohou vyvolat bronchodilataci. Další možnost vyvolání bronchodilatace jsou hluboké nádechy, následované maximální zádrží dechu. U astmatiků je důležitým psychofyzikálním aspektem benefitujícím ze zadržování dechu zvýšení odolnosti pocitu dušnosti (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

Při dynamické hyperinflaci jsou dýchací svaly, včetně bránice a pomocných dýchacích svalů, hypertonické. Tyto zkrácené a částečně stahované dýchací svaly jsou slabé a neúčinné v reakci na signály k dýchání vysílané motorickou kůrou na počátku inspirace. Tato skutečnost často vede k hrudnímu dýchání. Při snížení objemu vzduchu v plicích, bránice zvětší své zakřivení, funkční délku a sílu, což zlepšuje neuromechanické spojení a zvětšuje svobodu a snadnost dýchání (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014).

#### **3.3.4 Wim Hofova metoda**

Wim Hofova metoda byla založena Nizozemcem Wimem Hofem. Wim je držitelem téměř 20 světových rekordů. Tyto rekordy jsou spojené s výkony v extrémních podmínkách, např. dosažení vrcholu Kilimandžára pouze v kraťasech, maratonský závod za polárním kruhem bos, maratonský závod v Namibijské poušti bez pití, nebo výdrž v boxu plném ledu po dobu 112 minut (Hof, 2016). Jeho metoda byla zkoumána v několika odborných člancích (Wimhofmethod, 2020). Hyper-oxidační dechové techniky, jako je právě tato, se osvědčily při zlepšování výkonnosti jednotlivců (Langiewicz, 2019).

Tato metoda je založena na třech pilířích, a to dechových cvičeních, koncentraci a postupném vystavování chladu. Existují různé metody, které se jednotlivými složkami zabývají, ale neexistuje žádná metoda s interaktivním základem mezi těmito pilíři. Zdá se, že právě tato interakce pilířů poskytuje důkaz o pozitivním účinku na tělo, jak ukazuje několik vědeckých studií (Hof, 2016). Wim tvrdí, že díky kombinaci těchto pilířů je možné se vyhnout chorobám a nemocem (Houtman, 2018). Wim prokázal své tvrzení o záměrném ovládnutí imunitního systému v experimentu Matthijse Koxe, studenta doktorského studia pod vedením profesora Pickkerse z Radboud University. Testovací tým testoval Wimovu krev před a po 80 minutové ledové koupeli, při které prováděl své dechové a meditační techniky. Vzorky krve byly poté vystaveny molekulám endotoxinu, látky obsažené v buněčných stěnách bakterie, která aktivuje imunitní odpověď v lidském těle. Po Wimově proceduře měly jeho buňky

více utlumenou reakci imunitního systému a vykazovaly velmi nízké hladiny proteinů spojených s aktivací imunitního systému, ve srovnání s buňkami před procedurou (Houtman, 2018). Zdá se, že tato procedura, kterou používá tento konkrétní jedinec, vyvolává kontrolovanou stresovou reakci. Tato reakce je charakterizována aktivací sympatického nervového systému a následným uvolňováním katecholaminu/kortizolu, který, jak se zdá, zeslabuje vrozenou imunitní odpověď (Kox et al., 2012).

Ke zlomu na lékařské půdě díky WHM došlo v roce 2014, kdy skupina 24 turistů zdolala nejvyšší horu Afriky, Kilimandžáro, v rekordním čase 48 hodin, namísto běžných 4–7 dnů. Během výstupu se této skupině podařilo potlačit a zvrátit symptomy akutní horské nemoci, a to právě díky WHM. Skupina se skládala z ne-elitních sportovců s malou či žádnou zkušeností s horolezectvím (Carney, 2018).

Dechová technika učená Wimem se skládá z 30–50 hlubokých nádechů (řízené hyperventilace), každý nádech vytvoří dechovou vlnu, která začíná břišním a následuje do hrudního dýchání. Po dokončení hlubokých nádechů následuje expirace a zadržení dechu po maximální dobu. Při potřebě dýchat následuje nádech a další zadržení dechu po dobu 15 vteřin. Tato procedura se poté opakuje ještě 2x (Hof, 2016).

### **3.3.5 Ukazatelé dechových funkcí**

Ukazatele dechových funkcí lze rozdělit na ukazatele ventilační a respirační. Ventilační parametry se dále řadí na dynamické a statické. Mezi ventilační parametry dynamické se řadí:

- **minutová ventilace** ( $V_E$ ) je objem vzduchu prodýchaného za minutu. V klidu tento objem činí zhruba  $7\text{--}10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , avšak se zvyšující se zátěží stoupá. U žen se při maximální zátěži může objem vyšplhat až na  $80\text{--}80\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , muži jsou schopni při maximální zátěži „prodýchat“  $100\text{--}130\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Vysoce trénovaní sportovci se dokáží dostat k hodnotám až  $150\text{--}200\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . K mírnému zvýšení může dojít již před začátkem fyzické aktivity, a to v rámci předstartovních stavů. Minutová ventilace je závislá nejen na dechové frekvenci, ale také na dechovém objemu. S minutovou ventilací souvisí také ventilační poměr kyslíku ( $VEqO_2$ ), který znázorňuje poměr mezi  $V/VO_2$ . Tento poměr představuje množství vzduchu, které je nutné pro získání 1 litru kyslíku. U zdravého jedince je tento poměr při submaximální intenzitě zatížení cca  $25 : 1$  (pro získání 1 litru kyslíku je nutné 25 litrů vzduchu). Pro děti platí spíše poměr větší cca  $32 : 1$ . S trénovaností se tento

ekvivalent snižuje, jelikož dochází ke zvýšení utilizaci kyslíku (Bartůňková et al., 2013),

- **dechová frekvence** (BF) je ukazatel, který představuje rytmus dýchání v časové jednotce. Klidové hodnoty dechové frekvence se v různých literaturách liší, dle Bartůňkové et al. (2013) jsou  $14\text{--}16 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$ . Frekvence při lehké fyzické aktivitě stoupá na cca  $20\text{--}30 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$  a při velmi těžké až na  $40\text{--}60 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$ . Dechovou frekvenci lze snadno ovlivnit vůlí, avšak je také silně závislá na typu zátěže a rytmizaci vykonávaného pohybu. Rytmizaci dechu v rámci pohybu je možné pozorovat například u běhu či plavání. S vysokou intenzitou zátěže stoupá i poptávka po kyslíku, kterou je nutno kompenzovat zvýšenou dechovou frekvencí. Při delších fyzických aktivitách je však důležité zvýšení nejen frekvence dýchání, ale pro tělo ekonomičtější, zvýšení dechového objemu. Je však nutné zdůraznit, že příliš vysoká dechová frekvence může naopak škodit, jelikož může dojít ke snížení dechového objemu a tedy snížení minutové ventilace. Příliš vysokou frekvencí může dojít ke zvětšování fyziologického mrtvého prostoru a přenosu dýchání do inspirační polohy. Při tomto jevu lze pozorovat obtížné a namáhavé dýchání, často také dyspnoe (Bartůňková et al., 2013). Dle výzkumu Bahenského, Malátové, a Bunce (2019) a Bahenského et al. (2020) lze již dvouměsíčním intervenčním programem, zaměřeným na aktivaci bránice významně změnit hodnoty dechové frekvence a dechového objemu (snížit dechovou frekvenci a naopak zvýšit dechový objem). Pokud je program aplikovaný po dobu 4 měsíců, dochází k ještě výraznějším změnám.

Mezi statické ventilační parametry se řadí:

- **Dechový objem** ( $V_T$ ) značí množství vzduchu, které je daný jedinec schopný vdechnout či vydechnout jedním dechem. Jak již bylo zmíněno, dechový objem je značně závislý na dechové frekvenci. Pokud jedinec dýchá vysokou frekvencí, jeho  $V_T$  se často již nezvyšuje, neboť se nestihne dostatečně nadechnout. Dechový objem v klidu se pohybuje okolo  $0,5\text{--}0,7 \text{ L}$  a se zvyšující se intenzitou vzrůstá. Při střední intenzitě je cca  $1,0\text{--}2,0 \text{ L}$  a při vysoké stoupá až na  $2,5\text{--}3,0 \text{ L}$ . Z důvodu objektivního posouzení dechového objemu, je vhodné jeho hodnotu přepočítat v procentuálním podílu vitální kapacity. Po přepočítání lze říci, že při práci střední

intenzity představuje dechový objem zhruba 30 % VC, při práci vysoké intenzity dosahuje 50 % VC. Vysoce trénovaní sportovci jsou schopni zvýšit hodnotu dechového objemu až na 70 % VC, v takovém případě se  $V_T$  pohybuje okolo 4,0 L (Bartůňková et al., 2013),

- **usilovný výdech vitální kapacity (FVC)** je hodnota maximálního výdechu po předchozím maximálním nádechu. Je možno říci, že FVC je maximální jednorázový  $V_T$ , který je však měřen v klidovém stavu (Buzek, 2007). Pro netréované ženy se tato hodnota může pohybovat mezi 3,5–4 L, u netréovaných mužů 4,5–5 L. Velikost FVC však může být silně ovlivněna několika faktory, jedním z nich je například velikost hrudníku. Vhodný způsob vyjádření je tedy hodnota relativní, vztažená k údajům daného jednotlivce (výšce, hmotnosti, věku a pohlaví). Díky určitým koeficientům a vzorcům lze vypočítat, jakou hodnotu by měl testovaný „získat“ při testování FVC. Velikost FVC jde do určité míry zvýšit i vytrvalostním tréninkem. Mezi sportovce s vysokými hodnotami FVC řadíme například plavce či potápěče provozující nádechové potápění. Důvodem je odpor vody, který musí při výdechu překonávat. Z tohoto důvodu je právě plavání často využíváno pro zlepšení dechových funkcí u dětí s astmatem. Dalším způsobem může být například hra na dechové nástroje, u kterých je opět nutno překonávat určitý odpor (Bartůňková et al., 2013). Dle Bahenského, Malátové, a Mareše (2016) lze zvýšit hodnotu vitální kapacity plic pomocí osmitýdenní intervence obsahující dechové cvičení zaměřené na dýchání v různých polohách, na nácvik dechové vlny, plného dechu a rytmického dýchání. Pomocí intervence došlo k 6 % nárůstu hodnoty FVC, kdy se zvýšení podařilo naměřit u 95 % sledovaných probandů z celkového počtu 19 účastníků studie.

Mezi respirační ukazatele se řadí:

- **Spotřeba kyslíku ( $VO_2$ )**, často také označována jako příjem kyslíku, je množství kyslíku, které bylo spotřebováno za jednu minutu. Pro vyjádření  $VO_2$  se využívají jak hodnoty absolutní [ $L \cdot \text{min}^{-1}$ ], tak hodnoty relativní, které se vztahují na kilogram tělesné hmotnosti [ $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] (Heller, 2018). Způsob jakým je kyslík přenášen v krvi, je dán jeho rozpustností ve vodě, ta je ovšem poměrně malá. Z toho důvodu je možné v tělních tekutinách živočichů nalézt dýchací barviva. Nejvíce známé

dýchací barvivo je hemoglobin. Hemoglobin je složitá krevní bílkovina, která vyplňuje zralý erytrocyt a dodává mu funkci přenosu kyslíku. Celkové množství krve v lidském těle obsahuje cca 750 g hemoglobinu (11 g Hb·kg<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti), (Pecka, 1995). Spotřeba kyslíku může být limitována několika faktory: ventilací (při určitém sportovním výkonu se může vyskytovat omezené dýchání), alveolokapilární difuzí (nedostatečná ventilace, může být způsobena například povrchním či zrychleným dýcháním), vazbou kyslíku na hemoglobin (například z důvodu okolní hypoxie), transportem oběhového systému (ten může být ovlivněn nízkou výkonností srdce či špatnou regulační schopností sympatiku), tkáňovou difuzí (důvodem může být zpomalené uvolňování kyslíku z hemoglobinu) a buněčná oxidace (ta může být limitující v případě malého zastoupení pomalých vláken či z důvodu nízkého množství mitochondrií), (Bartůňková et al., 2013). Parametr spotřeby kyslíku patří v současné době k nesledovanějším respiračním parametrům. Pro zjištění maximálních aerobních (vytrvalostních) dispozic se využívá nejvyšší dosažená hodnota VO<sub>2</sub>, označována jako VO<sub>2max</sub>,

- **poměr respirační výměny (RER)** je parametr, který udává poměr mezi vydechnutým oxidem uhličitým a přijatým kyslíkem. RER se používá k posouzení právě využívaného energetického zdroje (značí aktuální zdroj, který se právě metabolizuje). Při zátěži, která trvá pouze krátký čas, to jsou z většiny cukry, čím delší zátěž je, tím více začínají převažovat tuky. Konkrétní hodnota pro metabolismus tuků je R = 0,7, pro bílkoviny 0,8 a sacharidy 1,0 (Bartůňková et al., 2013). Poměr respirační výměny je také využíván jako jedno z kritérií pro posouzení dosažení či vyvrácení hodnoty maximální spotřeby kyslíku. Při úspěšném testu VO<sub>2max</sub> by se nesportující jedinec měl dostat přes hodnotu RER > 1, u sportujících jedinců na hodnotu > 1,1 (Heller, 2018).

Poslední parametr nelze zařadit pouze mezi dechové ukazatele, nýbrž znázorňuje transportní funkce jak dýchacího tak oběhového systému.

- **Tepový kyslík (VO<sub>2</sub>·HR<sup>-1</sup>)**, jak již bylo řečeno, má výhodu v posuzování výkonosti obou systémů najednou. VO<sub>2</sub>·HR<sup>-1</sup> znázorňuje teoretické množství kyslíku, které se díky jedné systole dostane do oběhu (Heller, 2018). Tato hodnota se vypočítává pomocí spotřeby kyslíku a srdeční frekvence. Klidové hodnoty tepového kyslíku se



pohybují okolo 5 mL. Maximální hodnoty se u netrévaného jedince mohou dostat k 15 mL, u vysoce trénovaného až na 30 mL (Bartůňková et al., 2013).

### **3.3.6 Změny dechových funkcí při fyzické aktivitě**

Změny dechových funkcí je možné zpozorovat již před začátkem fyzické aktivity. Souvisejí zejména s výskytem předstartovních a startovních stavů. Důvodem jsou emoce, které vyvolávají zvýšenou dráždivost CNS. U nespportovců mohou tyto emoce pramenit ze strachu z neznámého, naopak u sportovců může být důvodem strach z nesplnění očekávaného výkonu (Bartůňková et al., 2013).

Změny dechových parametrů při zátěži můžeme rozdělit do dvou fází. První fáze (iniciální) je fáze, při které dochází k rychlým změnám v prvních 30–40 sekundách. Druhá fáze (přechodná) je charakteristická již pomalejšími změnami, které „doladují“ konkrétní požadavky zatěžovaných svalů. U výkonu, který trvá více jak 40–60 s může dojít k projevům stavu, známého jako mrtvý bod. Tento stav vzniká z důvodu dysbalance funkcí několika orgánů, které mají za úkol zajišťování pohybové činnosti a ze značného narušení stálého vnitřního prostředí. Mrtvý bod přichází ve chvíli, kdy tělo přechází z anaerobního do aerobního metabolismu. Nástup mrtvého bodu je silně závislý na intenzitě pohybové aktivity. Čím vyšší intenzita, tím rychlejší nástup mrtvého bodu. Tento stav je provázen různými objektivními a subjektivními příznaky. Objektivní příznaky mohou spočívat ve snížení výkonu, zhoršení koordinace či narušení pohybového stereotypu (Bartůňková et al., 2013).

Při zhoršené ekonomice dýchání dochází ke zvýšené dechové frekvenci spojené s mělkým dýcháním. Snížená vzruchová aktivita bráničního elektromyografického záznamu nasvědčuje ke zhoršení kontraktility bránice. Mělké dýchání má za důsledek sníženou spotřebu kyslíku, která je kompenzována zvýšením oběhových parametrů, především zvýšením srdeční frekvence a krevního tlaku (Bartůňková et al., 2013).

Subjektivní příznaky jsou charakteristické především v nouzi o dech, která způsobuje namáhavé dýchání, bolest na hrudi či bolest hlavy. Ve svalech je možno pociťovat slabost či tuhnutí, a také píchání v boku. Píchání v boku může být způsobeno nedostatečným prokrvením bránice či mezižeberních svalů. Tato bolest, obzvláště u netrévaných jedinců, může způsobit ukončení výkonu (Bartůňková et al., 2013).

Pokud však jedinec vytrvá a překoná tento nepříjemný stav, dochází k nástupu tzv. druhého dechu. Tento stav je charakteristický nárůstem dechového objemu

a návratu k ekonomickému dýchání. Při správně vedeném rozcvičení dojde k nástupu mrtvého bodu a do závodu tedy přichází závodník již ve stavu druhého dechu (Bartůňková et al., 2013).

Další stav, který nastává v průběhu činnosti, je setrvalý stav. V průběhu zátěže s mírnou intenzitou dochází k jeho nastolení po cca 2–3 minutách, při zátěži s vyšší intenzitou po 5–6 minutách. O pravém setrvalém stavu můžeme mluvit ve chvíli, kdy jsou v rovnováze metabolické pochody a jedinec může pokračovat v činnosti po dobu až desítek minut. Ukazuje se, že takový stav i při činnosti s nízkou intenzitou nelze udržet po příliš dlouhou dobu, neboť nastupuje únava a její průvodní jevy s vzestupem hodnot funkčních ukazatelů. Setrvalý stav je u netrévaného člověka nastolen při cca 100 W výkonu. Pro trénovaného jedince se tato hodnota pohybuje mezi 140–220 W. Špičkový vytrvalostní sportovci jsou schopni podávání delšího výkonu i na 80 %  $VO_{2max}$ . Pokud se však jedinec dostane přes svoje individuální hodnoty setrvalého stavu, dojde k přechodu z aerobního metabolismu na metabolismus anaerobní. Intenzita při anaerobní prahu je poslední možná intenzita pro dlouhodobou činnost. Při příliš vysoké intenzitě je nutná mobilizace mechanismů, které zajišťují přísun rezervního kyslíku z plic, hemoglobinu, myoglobinu a kyslíku rozpuštěného v plazmě. V chvíli, kdy se vyčerpá možnost práce na kyslíkový dluh, jedinec nemůže pokračovat v dané intenzitě a musí ji buď snížit či výkon ukončit (Bartůňková et al., 2013).

V průběhu fyzického zatížení dochází ke zlepšení mechaniky dýchání. Svěřenci často od svých trenérů či učitelů zpěvu slychávají o významu bráničního dýchání. U některých sportovních disciplín dokonce dochází ke zcela specifickému dýchání přizpůsobenému dané činnosti (plavání). Brániční dýchání u nespoutujícího člověka hradí cca 30–40 % plicní ventilace. U trénovaného jedince je tato hodnota cca 50–60 %. V průběhu fyzické činnosti se hodnota ještě zvětšuje, jelikož při stupňované intenzitě se často vyskytuje přesun dýchání do inspirační polohy (inspiračního rezervního objemu). Do dechové frekvence cca  $40 \text{ n} \cdot \text{min}^{-1}$  nemusí jedinec používat výdechové svalstvo. Dýchání touto frekvencí nárokuje pouze malé energetické požadavky (dech je aktivní, ale výdech pasivní). Při stupňované zátěži je však nutné zvýšit dechový objem, tudíž i zkrátit čas potřebný pro vydechnutí. V tuto chvíli se dostává na řadu expirační rezervní objem, ze kterého je se dechový objem zvyšuje, tím ale dochází k větší spotřebě energie využitě výdechovými svaly. Při činnostech s vyšší intenzitou, kde se

dechová frekvence dostává k hodnotám 40–50  $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$  jedinec přestává dýchat nosem a začíná dýchat ústy. Tímto se sice usnadní dýchání, ale veškeré funkce nosní sliznice jsou vyřazeny z procesu dýchání. Mezi funkce nosní sliznice patří: oteplování a zvlhčování vdechovaného vzduchu a zachycování prachových částic pomocí řasinkového epitelu (Bartůňková et al., 2013).

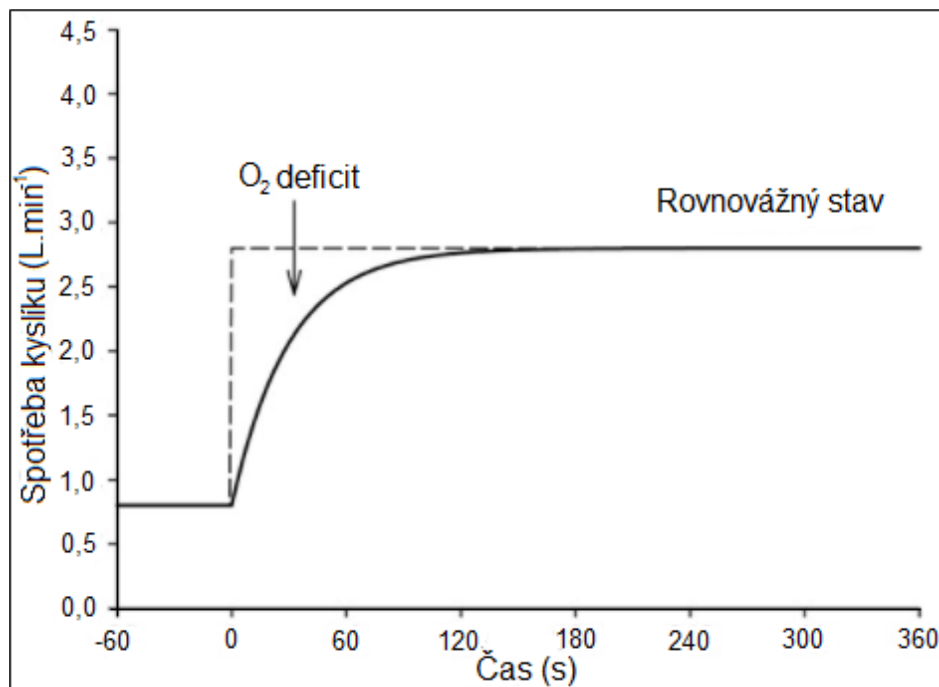
### **3.3.7 Kinetika $\text{VO}_2$**

Na počátku fyzické zátěže (20–30 s) je energie potřebná pro svalovou práci hrazena anaerobně z bezprostředních zdrojů (ATP–CP systém) a také pomocí postupně nastupující anaerobní glykolýze, která svého vrcholu dosahuje okolo 45. sekundy. Společně s těmito způsoby využití energetických zdrojů či jejich tvorby, jen významně pomaleji, dochází k rozběhu aerobní úhrady energie. Zhruba po 60–70 sekundách fyzické aktivity je způsob úhrady aerobní a anaerobní složkou 50 : 50. Při pokračování fyzické činnosti nastupuje převaha aerobní úhrady energie, kdy v cca 120. sekundě již zcela dominuje. Anaerobní získávání energie svoji úlohu začíná znovu plnit po překonání prvního ventilačního prahu ( $\text{VT}_1$ ). Ve chvíli, kdy daný jedinec překoná úroveň druhého ventilačního prahu ( $\text{VT}_2$ ), dochází k opětovné dominanci anaerobní úhrady (Várnay et al., 2020).

Z důvodu anaerobního získávání energie při startu fyzické činnosti vzniká kyslíkový deficit. Ten přetrvává po celou délku cvičení a je uhrazen až ve chvíli ukončení cvičení v podobě kyslíkového dluhu, také označovaného jako pozátěžový kyslík či EPOC (Excess Post–Exercise Oxygen Consumption). Tento dluh je v pozátěžové fázi postupně uhrazen aerobním metabolismem a dochází k obnově zásob vysokoenergetických fosfátů (ATP) a kreatinfosfátu (CrP), resaturaci myoglobinu, a také k odbourání laktátu (LA) a jeho konverzi na glykogen (Várnay et al., 2020).

Na Obrázku 2 lze vidět idealizovanou kinetiku příjmu kyslíku při konstantním zatížení představující 200 W. Výchozí hodnota je nastavena na 0,8  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  což představuje standardní  $\text{VO}_2$  při šlapání na bicyklovém ergometru bez odporu. Křivka  $\text{VO}_2$  roste exponenciálním způsobem do bodu, kdy se dostane do tzv. ustáleného stavu. V případě křivky na obrázku, je ustálený stav dosažen při cca 2,8  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ , což znamená, že zvýšení  $\text{VO}_2$  proběhlo  $\sim 10 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$  (tj.  $(2800-800) / 200$ ). To jak rychle nastane zmíněný ustálený stav, je závislé na rychlosti či kinetice odezvy  $\text{VO}_2$  na danou zátěž. V našem případě se jedná o odpověď o časové konstantě 30 s. Časová

konstanta představuje parametr odhadnutý přizpůsobením exponenciální funkce k datům a ukazuje, že po uplynutí čtyř časových konstant (120 s) je dosaženo ustáleného stavu a tím dosažen jeho cíl. Pokud by však časová konstanta tvořila pouze 20 s (dohromady tedy 80 s), následkem by bylo rychlejší dosažení ustáleného stavu, které by bylo fyziologicky užitečné. Výhodu by zde tvořil menší deficit kyslíku, který by se snížil z důvodu kratšího zpoždění ve  $\text{VO}_2$ . Zrychlením kinetiky  $\text{VO}_2$  by došlo ke snížení požadavku na anaerobní získávání energie během přechodu z klidu do zátěže, což by mělo za následek zlepšení výkonu z důvodu snížení vyčerpání množství svalových vysokoenergetických fosfátů (hlavně fosforycreatinu) a glykogenu a zmírnění nárůstu metabolitů, které jsou spojeny s únavovým procesem (Burnley & Jones, 2007).



Obrázek 2. Schématické znázornění reakce na cvičení prováděné na bicyklu při zátěži 200 W. (Burnley & Jones, 2007).

## **4 Projekt experimentu, jeho organizace a průběh**

Tato diplomová práce se řadí mezi postupný jednoskupinový, časově nesouběžný experiment. Takový druh experimentu je charakteristický tím, že na experimentální (sledovaný) soubor působí určitý čas zvolený experimentální faktor. Tento experimentální faktor je poté vynechán. Cílem takového experimentu je zjištění změn vyvolaných pomocí zvoleného experimentálního faktoru na jednom sledovaném souboru (Zháněl, Hellebrandt, & Sebera, 2014).

### **4.1 Organizační a přístrojové zabezpečení experimentu**

K provedení studie bylo nutné otestování skupiny běžců při spiroergometrickém stupňovaném testu se současným použitím svalového dynamometru MD03. Všichni účastníci studie absolvovali 2 identické zátěžové testy, kdy před jedním z testů, bylo provedeno dechové cvičení na základě metody Wima Hofa. Časový rozestup mezi testy činil 3 dny, které umožňují dostatečné zregenerování po prvním testu a zároveň nepředstavují příliš dlouhou dobu, při které by mohlo dojít ke změně výkonosti. Kromě aktuálního stavu výkonosti bylo důležité zabezpečit i aktuální stav únavy před oběma testy. Tento možný faktor byl eliminován stejným specifickým tréninkem před oběma testy, který odpovídal objemu i intenzitě zatížení. Jako další opatření byli atleti rozděleni do dvou skupin, kdy jedna skupina absolvovala první test s dechovým cvičením a druhá bez dechového cvičení. Pro rozdělení do skupin byl použit náhodný výběr pomocí funkce v tabulkovém programu Excel – randbetween.

Před laboratorními testy proběhla schůzka s trenérem a samotnými atlety. Diskuze s trenérem spočívala ve vysvětlení důležitosti stejného fyzického a ideálně psychického stavu před oběma testy a nastavení stejného tréninkového režimu po dobu tří dnů před oběma testy. Atletům byl vysvětlen stejný problém a zároveň proběhla první názorná ukáзка dechového cvičení. Probandi v tuto chvíli pouze pozorovali, šlo o první představení cvičení a vyloučení případných probandů, u kterých by hrozilo riziko kontraindikace (epileptici, jedinci trpící úzkostmi). Atleti byli instruováni, aby dechové cvičení nezkoušeli sami do doby samotného testu. Všichni zúčastnění studie mají bohaté zkušenosti s laboratorním testováním, čímž se částečně eliminovalo riziko zvýšeného stresu při testu.

Celkový čas strávený jedním probandem v laboratoři při testování s dechovým cvičením činil mezi 70–80 minutami, bez aplikace dechových cvičení cca 40 minut. Testy pro každého probanda probíhaly vždy ve stejný denní čas, převážně v rámci dopoledního tréninku. Tím bylo eliminováno možné riziko pro rozdílné výsledky z důvodu jiných fyziologických odpovědí v rámci cirkadiánního rytmu.

Při vstupu probanda do laboratoře byly zapsány osobní údaje do elektronického protokolu. Všichni atleti již byli zavedeni v databázi laboratoře, bylo však nutné aktualizovat údaje o hmotnosti a výšce. Měření výšky bylo provedeno pomocí manuálního antropometrického výškoměru. Proband byl instruován o vyslečení do spodního prádla včetně ponožek a stoupenutí na spodní platformu výškoměru. Při stožení na platformě bylo dbáno na vzpřímenou pozici daného jedince. Změřená výška byla poté aktualizována v nutných počítačových softwarech. Druhá část testování spočívala v měření tělesné hmotnosti. Testovaný jedinec byl požádán o stoupenutí na platformu váhy, v chvíli, kdy se hmotnost ustálila, jedinec se chopil ručních madel a setrval na váze do příkazu operátora laboratoře. Výsledné hodnoty byly uloženy do pdf protokolů a opět proběhla aktualizace váhy v potřebném softwaru.

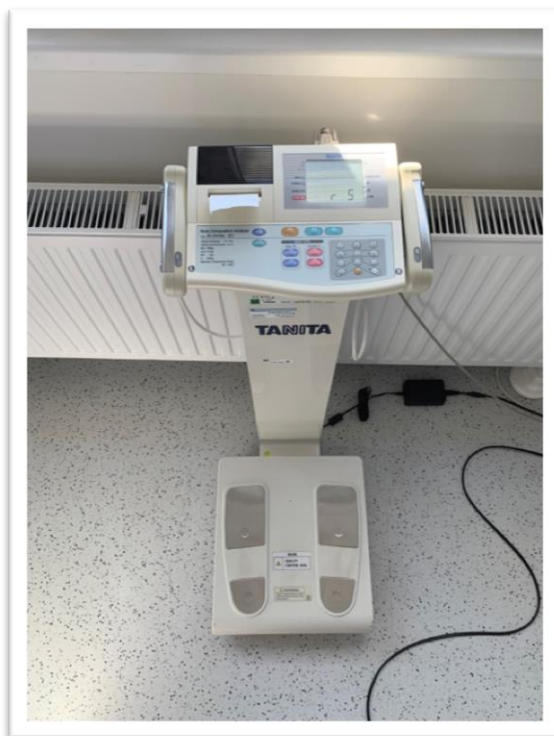
Po měření a vážení se proband oblékl do sportovního oblečení a usedl na ergometr za účelem nastavení zařízení pro individuální potřeby jedince. Ergometr byl nastaven již před dechovým cvičením, aby bylo možné pozorovat akutní změny po dechovém cvičení v průběhu testu. Při testu s aplikací dechových cvičení přišlo poučení a předvedení dechové techniky a vysvětlení protokolu zátěžového testu. Z bezpečnostních důvodů a doporučení samotného Hofa, byl celý průběh dechového cvičení prováděn vleže. Dechové cvičení obsahovalo tři identická kola, která se lišila pouze délkou zádrží (ty byly individuální dle pocitů testovaného či dalších projevů). Začátek kola představoval 30 nádechů, které byly provedeny technikou plného dechu popsanou v kapitole Mechanika dýchání. Frekvence dýchání byla stanovena metronomem, dle Hofova instruktážního videa, na  $20 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$ . Po provedení těchto 30 nádechů následoval výdech a zadržetí dechu po maximální dobu. Proband byl instruován, aby zádrž dechu ukončil v momentě, kdy mu začne být nepříjemná či po první spontánní kontrakci bránice. Po ukončení zádrže dechu provedl proband 1 nádech a následovala sekundární zádrž dechu na dobu 15 sekund. Sekundární zádrž byl poslední proces dechového kola, po kterém následovala další dvě identická

dechová kola. Celá technika tedy vypadala takto: 3x (30 nádechů → maximální zádrž dechu → 1 nádech → 15 sekundová zádrž dechu). Bezprostředně po dokončení dechové techniky, byl testovanému nasazen hrudní pás pro měření srdeční frekvence a spiroergometrická maska. Poté byly probandovi připevněny 2 sondy dynamometru MD03 pro měření zapojení jednotlivých dechových sektorů. Modrá sonda byla připevněna v oblasti břicha (pod *apertura thoracis inferior*) a zelená sonda do oblasti přechodu horního a dolního hrudního sektoru (5.–7. žebro). Po upevnění sond proband usedl na bicyklový ergometr a proběhlo měření vitální kapacity plic (FVC). Všichni probandi provedli 2 pokusy, kdy do výsledných hodnot byl zařazen větší z hodnot. Po dokončení měření FVC začala fáze rozjezdu, která trvala 2 minuty s odporem 25 W a otáčkami 80 n.min<sup>-1</sup>. Zátěžová fáze testu byla složena ze 4 zátěžových stupňů (1, 2, 3, a 4 W·kg<sup>-1</sup>), kdy každý stupeň trval 2 minuty při otáčkách 100 n.min<sup>-1</sup>. Po dokončení zátěžové fáze nastala fáze vyjetí, při které byl odpor nastaven opět na 25 W a délka trvání na 3 minuty s otáčkami 60 n.min<sup>-1</sup>. Fáze vyjetí již nemá žádný vliv na výsledné hodnoty. Měření zapojení obou dechových sektorů probíhalo vždy ve druhé minutě každého úseku (s výjimkou fáze vyjetí).

Před začátkem testu byl proband poučen o důležitosti vynaložení stejného úsilí do obou testů. Bylo také určeno znamení v podobě zvednuté ruky, který by znamenalo, že je testovaný na konci svých sil a je nutné test ukončit.

Mezi použité přístroje v laboratoři patřily:

- **Tanita BC 418 MA** je jednoduchý nástroj, který pracuje na principu bioelektrické impedanční analýzy (BIA). Nástroj slouží k měření tělesného složení a mezi výstupní parametry vážení patří: tělesná hmotnost, procento a hmotnost tělesného tuku, beztuková hmota, procento a hmotnost vody v těle a svalová hmota. Tanita získává data pomocí segmentálního měření, které je realizováno pomocí osmi katod. Čtyři z těchto katod obsahují nášlapy ve spodní platformě a zbylé čtyři jsou umístěny v madlech pro stisk ruky. Tyto katody vysílají do těla nízko-úrovňové elektrické signály, které procházejí tělem a dostávají se do kontaktu s tkáněmi, které vydávají různé odpory. Na základě těchto odporů přístroj dokáže za pomoci různých matematických vzorců složení těla. Při testování je nutné pro přesné výsledky svlečení do spodního prádla (Fitham, 2018).



Obrázek 3. Tanita BC 418 MA.

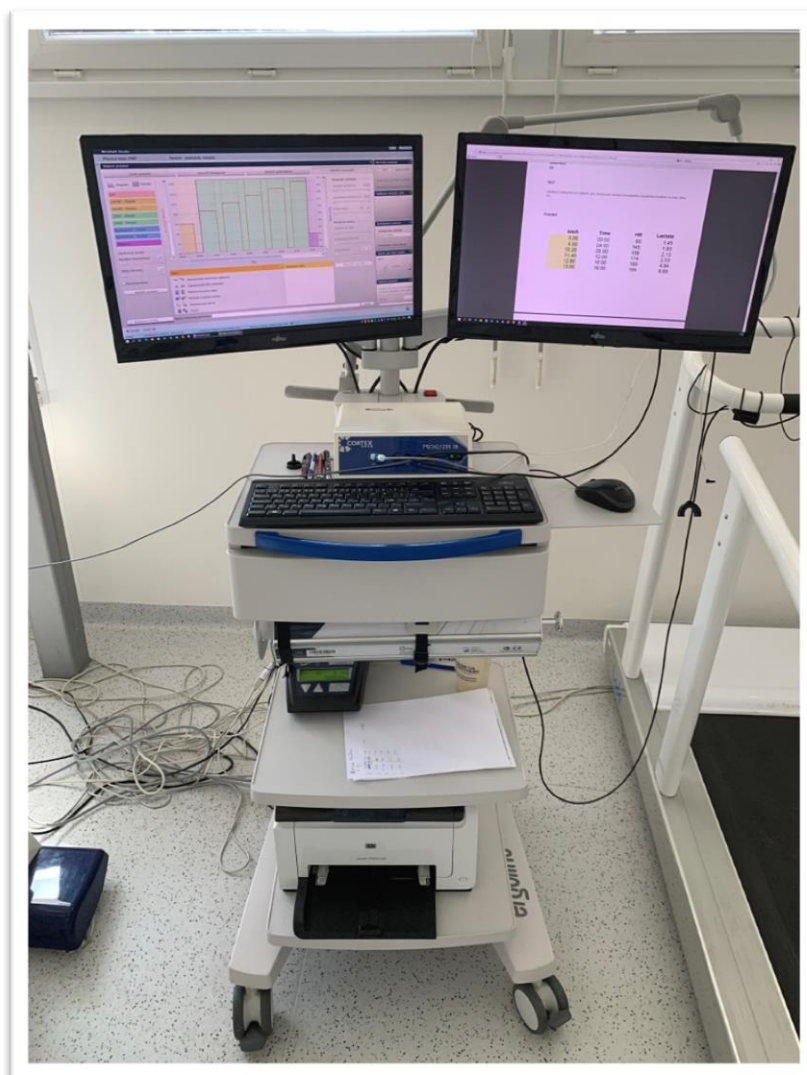
- **Výškoměr SECA** je teleskopický mechanický výškoměr pro měření tělesné výšky. Lze jej připevnit na zeď či nechat v prostoru. Výsledné hodnoty jsou interpretovány v centimetrech a palcích.



Obrázek 4. Výškoměr SECA.

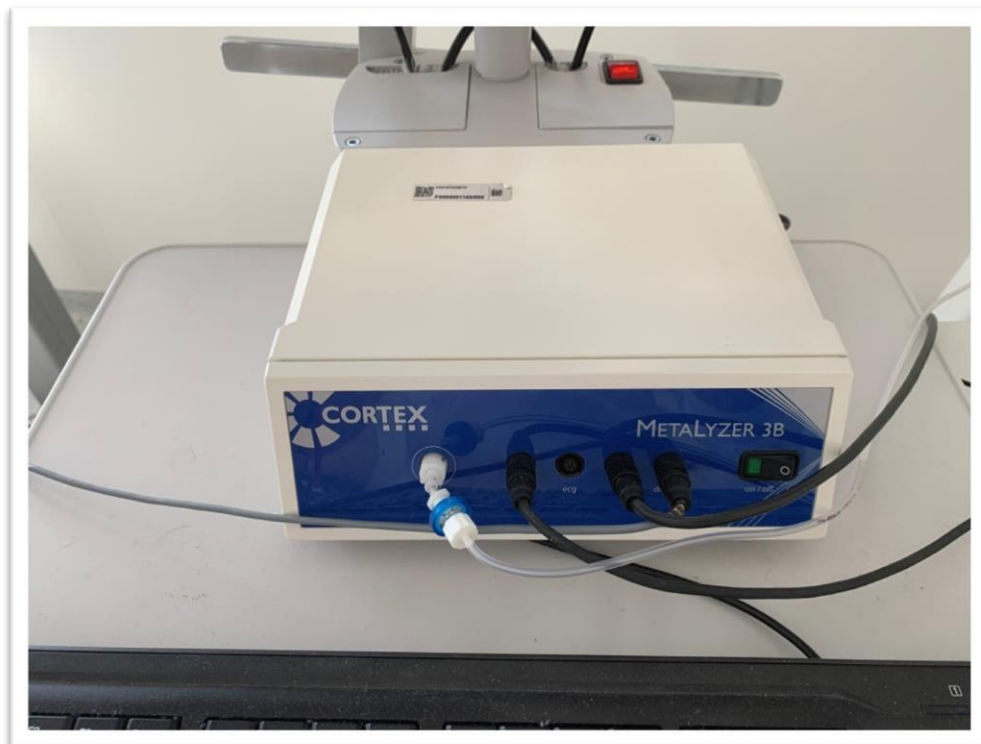


- **Cortex MetaControl 3000** je označení pro sestavu přístrojů, které jsou určeny pro spiroergometrické měření. Přístroje v sestavě jsou plně kompatibilní, komunikují mezi sebou a obstarávají maximální spolehlivost při testování (Vybavení funkčních laboratoří, 2014). Mezi přístroje v sestavě patří dvanácti svodový elektrokardiograf, který je spojený s analyzátelem dechových plynů Cortex MetaLyzer a dalšími doplňky. Celou sestavu je možné ovládat pomocí výkonného počítače, který je umístěný v zadní části vozíku. Na vrchu celé sestavy jsou umístěny dva monitory, na kterých je možné sledovat spiroergometrické hodnoty a EKG křivku (Compek, 2010),



Obrázek 5. Cortex MetaControl 3000.

- **Cortex MetaLyzer 3B** je přístroj, jehož funkce je diagnostika prováděné spiroergometrie. MetaLyzer zajišťuje nejen analýzu vydechnutých plynů, ale také zajišťuje kompletní vyšetření plic, srdce, metabolismu a to jak v klidu, tak při zátěži. Analýza plynů probíhá pomocí metody breath-by-breath nebo mixing chamber. Cortex MetaLyzer 3B stacionární, snadno přenosný a vhodný jak pro sportovní ordinace, tak tréninková centra či nemocnice. Funkce tohoto zařízení lze obohatit o zátěžové EKG a další doplňky. Přístroj vyhodnocuje naměřené data pomocí počítačového programu MetaSoft Studio (Compek medical services, 2014),



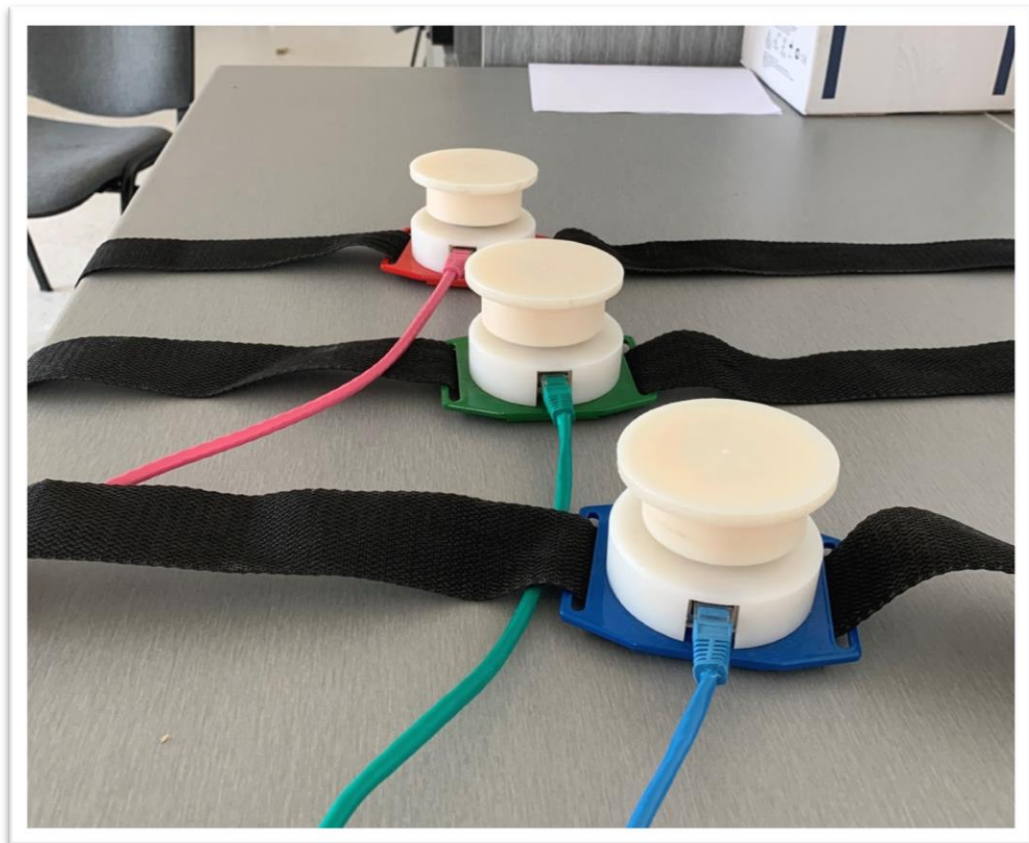
Obrázek 6. Cortex MetaLyzer 3B.

- **LODE Excalibur Sport ergometr** je považován za „zlatý standard“ mezi bicyklovými ergometry na světě. Výhoda tohoto ergometru spočívá v jeho spolehlivosti, přesnosti a vysoké stabilitě. Z důvodu neustálého růstu sportovních výkonů byl tento ergometr sestaven tak, aby dokázal vydržet extrémní zátěž do 2500 W. Přídavný modul pro LODE Excalibur dokáže měřit sílu, která je vyvinutá na pravý či levý pedál a je vybaven detekcí úhlů. Pro měření síly využívá odporový tenzometr. Přístroj je schopen měření jak srdeční frekvence, tak i krevního tlaku pomocí externího hrudního pásu a tonometru. Ergometr je možno velmi snadno nastavit pro každého jedince individuálně, a to díky nastavitelnému sedlu i řídkům. Sedlo lze nastavit jak v ose vertikální, tak v ose horizontální s možností nastavení sklonu sedla. U řídek lze nastavit jejich výška od podložky a vzdálenost od sedla. Díky zabudovanému displeji v přední části ergometru lze sledovat aktuální otáčky (Compek, 2010),



Obrázek 7. Ergometr LODE Excalibur Sport.

- **MD03** je čtyřkanálový digitální svalový dynamometr, díky kterému je možné měřit hodnoty svalového působení. Tento dynamometr obsahuje 4 svalové sondy, které se upevňují na tělo testovaného pomocí pásů. Uvnitř sondy je usazen tenzometrický převodník síly na digitální signál. Ten dále putuje do mikroprocesorové vyhodnocovací jednotky, jejímž úkolem je upravit signál ze sond do kompatibilní verze s USB vstupem do počítače. USB port funguje také jako napájecí kabel pro celou soustavu přístrojů. Celý přístroj je ovládán pomocí softwaru SW1 a SW2. Ve vyhodnocovací jednotce je využíváno softwaru SW1, který zajišťuje kompatibilitu digitálního signálu pro USB a počítač pracuje s SW2, v němž se zobrazuje a zpracovává výstup z jednotlivých sond (Malátová, 2019).



Obrázek 8. Svalový dynamometr MD03.

- **spiroergometrická maska a hrudní pás** tvoří důležitou část laboratorního vybavení. Přesné měření srdeční frekvence je nezbytný předpoklad každé spiroergometrie. Hrudní pás značky Polar je oblíbený přístroj pro spolehlivé měření. Naměřená data jsou přenášena díky Bluetooth technologii v reálném čase do kompatibilního softwaru v PC nebo mobilního telefonu (Polar, 2018).



**Obrázek 9. Hrudní pás Polar H7 a spiroergometrická maska.**

## **4.2 Charakteristika souboru**

Mezi hlavní kritéria výběru probandů patřila možnost podstoupení dvou zátěžových testů v časovém rozmezí tří dnů, ekonomické faktory z důvodu absolvování dvou zátěžových testů a ochota podstoupit testy ve stejném stavu fyzické a psychické únavy. V neposlední řadě to byl zdravotní stav, způsobilý pro provedení zátěžových testů, a snadná dostupnost probandů do laboratoře.

Do této diplomové práce byli záměrně vybráni běžci a běžkyně na střední a dlouhé tratě. Všichni zúčastnění byli v době studie členové atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice. Výzkumný vzorek tvořilo 14 chlapců a 14 dívek adolescentního věku. Testovaní atleti a atletky absolvují týdně šest a více tréninkových jednotek a všichni se věnují atletice dva a více roků. Jejich výkony dosahují úrovně české

mládežnické špičky a někteří jsou vítězové medailí na MČR v mládežnických kategoriích. Průměrný věk chlapců činil v průběhu studie  $17,0 \pm 1,1$  roků, průměrná hmotnost  $71,60 \pm 8,8$  kg a výška  $183,9 \pm 3,7$  cm. Průměrný věk dívek činil v průběhu studie  $16,6 \pm 1,5$  roků, průměrná hmotnost  $57,80 \pm 4,0$  kg a výška  $167,6 \pm 3,3$  cm.

### **4.3 Sběr dat**

Pro porovnání změny ekonomiky dýchání při zátěži po aplikaci dechového cvičení založeného na WHM, byly vybrány následující parametry FVC,  $VO_2$ ,  $VO_2 \cdot HR^{-1}$ , RER,  $V_E$ ,  $V_T$ , BF a hodnoty získané svalovým dynamometrem MD03. Data byla porovnána s výsledky testu bez předchozí aplikace dechového cvičení. Všechny parametry byly zpracovány do grafické formy a vloženy do kapitoly Výsledky.

Naměřené výsledky byly statisticky ověřeny párovým t-testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , případně  $\alpha = 0,01$ , a také pomocí věcné významnosti s využitím Cohenova  $d$ . K porovnání a statistickému ověření došlo u všech čtyř zátěžových stupňů, kdy zpracována byla vždy poslední minuta daného stupně. S využitím statistických metod bylo dosaženo potvrzení či vyvrácení předem stanovených hypotéz.

## 5 Výsledky

Mezi výsledky měření byly zpracovány parametry času a saturace jednotlivých kol zádrží dechu, FVC,  $VO_2$ ,  $VO_2 \cdot HR^{-1}$ , RER,  $V_E$ ,  $V_T$ , BF a hodnoty získané svalovým dynamometrem MD03. Parametry, měřené při zátěži, byly zpracovány zvlášť do jednotlivých zátěžových stupňů, kdy byla zpracována poslední minuta každého stupně. Výsledné hodnoty jednotlivých zátěžových stupňů jsou tedy průměry všech probandů z druhé minuty každého stupně. Pokud proband nedokázal dokončit poslední stupeň zátěže ( $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), byla zpracována poslední minuta či čas posledního stupně pod zátěží. V momentě, kdy tato situace nastala, byla zpracována data vždy ze stejného časového úseku obou testů. U dat získaných ze svalového dynamometru bylo zpracováno 10 největších a 10 nejmenších hodnot z každé sledované fáze (vždy 2. minuta dané zátěžové fáze), které byly následně zprůměrovány.

### 5.1 Dechové cvičení

V Tabulce 2 lze vidět průměrný čas zádrží dechu všech probandů v jednotlivých kolech a nejmenší dosaženou saturaci kyslíkem v daném kole. V prvním kole dosahoval průměrný čas zádrže dechu probandů 1:42 minuty a průměrná saturace kyslíkem 78 %. Ve druhém kole se délka zádrže prodloužila průměrně o 21 sekund na 2:03 minuty s průměrnou saturací na konci kola 67 %. V posledním kole dechového cvičení pokračoval vzrůstající trend času zádrže, a to průměrně o 29 sekund na celkových 2:32 minuty a saturaci kyslíkem 61 %. Je vhodné připomenout, že se jednalo o zádrže dechu po vydechnutí, tedy s minimem kyslíku v plicích. Před jednotlivými koly byla aplikována fáze řízeného dýchání, při které došlo k vzestupu saturace u všech probandů vždy na 99 %.

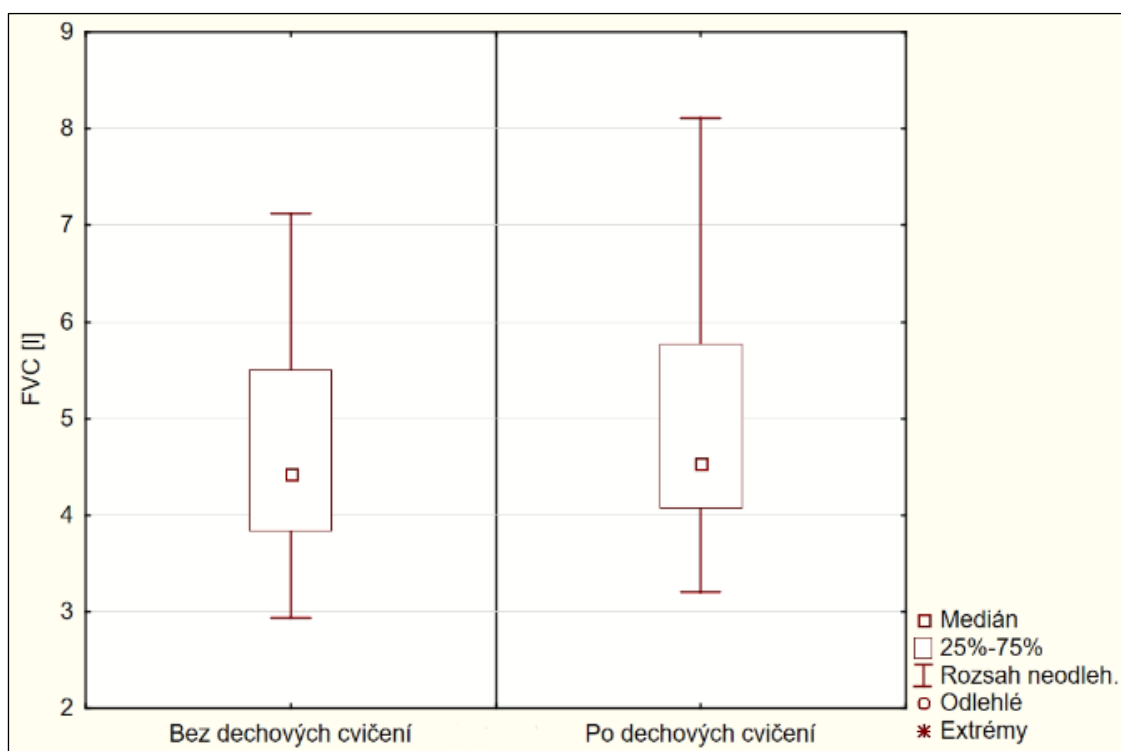
**Tabulka 2.** Zádrže dechu v jednotlivých kolech dechového cvičení a minimální saturace kyslíkem v daném kole (n=28).

	Průměrný čas zádrže [min]	Saturace [%]
1. kolo zádrže	1:42 ± 0:24	78 ± 14
2. kolo zádrže	2:03 ± 0:29	67 ± 14
3. kolo zádrže	2:32 ± 0:37	61 ± 16

Celkový čas dechového cvičení s fázemi řízeného dýchání činil 17–22 minut, kdy jeho délka byla ovlivněna individuálními zádržemi dechu.

## 5.2 Vitální kapacita plic

Na Obrázku 10 je možné vidět krabicové grafy s vitální kapacitou plic změřenou bez dechových cvičení a po aplikaci dechových cvičení v rámci rozcvičení. Obě měření byla provedena bezprostředně před zahájením spiroergometrického testu. Průměrná velikost vitální kapacity plic činila bez dechových cvičení  $4,70 \pm 1,05$  L. Průměrná velikost FVC měřena po dechových cvičení činila  $4,95 \pm 1,15$  L. Po aplikaci dechových cvičení vrostla vitální kapacita plic průměrně o 5,32 %. Rozdíl těchto hodnot je věcně významný ( $d=0,226$ ) s malým efektem. Statistická významnost nebyla prokázána.



Obrázek 10. Vitální kapacita plic bez a po aplikaci dechových cvičení.

## 5.3 Zátěžové fáze

V následující části výsledků jsou popsány výsledné hodnoty naměřené při zátěžové fázi testování. V Tabulce 3 jsou uvedeny průměrné časy strávené probandem v zátěžové fázi. Úkolem probanda bylo dokončit osmiminutový zátěžový test, avšak velikost zátěže  $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ , byla pro některé atlety nemožná zvládnout po celou dobu dvouminutového intervalu.

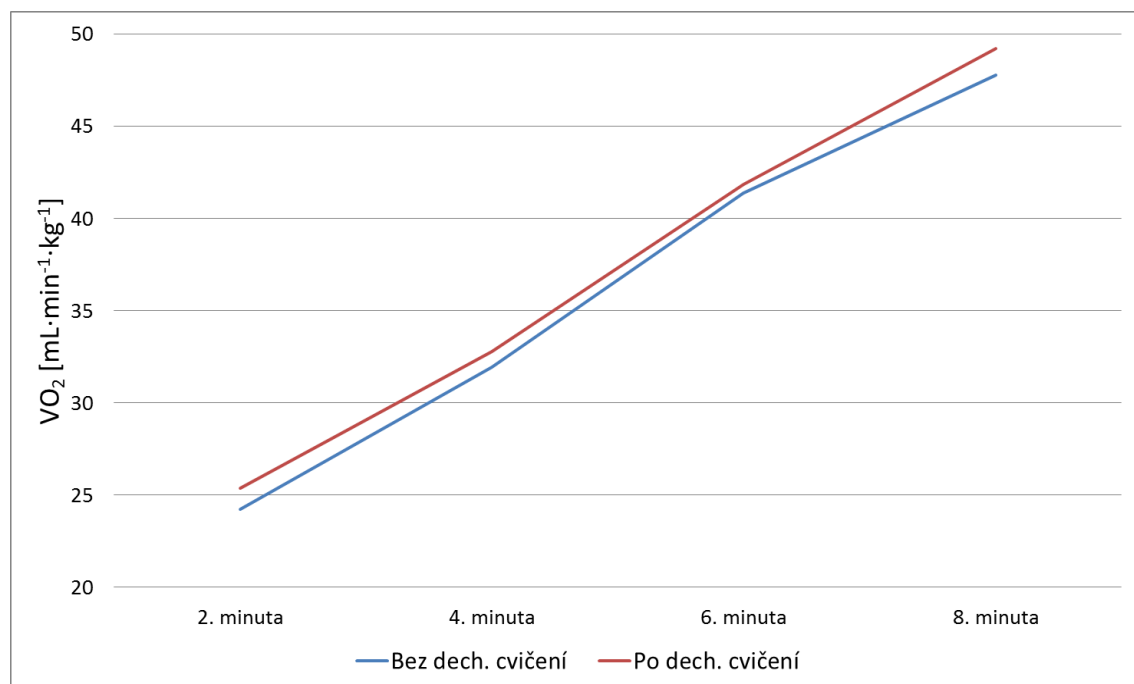
Tabulka 3. Výsledný čas zátěžových testů.

	Bez dech. cvičení	Po dech. cvičení	Cohenovo <i>d</i>	Hodnota <i>p</i>
Čas pod zátěží [min]	7:41 ± 0:33	7:52 ± 0:21	0,38 <sup>m</sup>	0,01
Počet nedokončených testů [n]	7	3	0,37 <sup>m</sup>	0,04



Průměrný čas atletů v zátěžovém testu bez přechozí aplikace dechových cvičení byl o 11 sekund kratší než po aplikaci dechových. Tento rozdíl je jak věcně ( $d = 0,38$ ), tak i statisticky významný ( $p = 0,01$ ). V zátěžovém testu bez dechových cvičení nebylo schopno dokončit celý osmiminutový test 7 probandů, po aplikaci dechových cvičení toto číslo kleslo na 3 probandy. Tento rozdíl je opět věcně ( $d = 0,37$ ) i statisticky významný ( $p < 0,05$ ).

Na Obrázku 11 je možné vidět kinetiku  $VO_2$  při testech bez zařazení dechových cvičení a po jejich aplikaci. Do grafu jsou zařazeny průměrné hodnoty druhé minuty ze všech zátěžových fází. Při zátěžovém testu, kterému předcházelo dechové cvičení vycházející z Wim Hofovy metody, došlo k nárůstu  $VO_2$  ve všech čtyřech zátěžových fázích. Přesné hodnoty  $VO_2$  a dalších ventilačních parametrů jsou uvedeny i se statistickými významnostmi v další části výsledků.



Obrázek 11. Kinetika  $VO_2$  u testu bez a po aplikaci dechových cvičení.

## 5.4 První zátěžová fáze ( $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

V Tabulce 4 je možné vidět průměrné hodnoty z druhé minuty první fáze, která představovala zátěž  $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ . U parametru  $\text{VO}_2$  získali probandi vyšších hodnot průměrně o  $1,23 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  při testu po aplikaci dechových cvičení. Nárůst  $\text{VO}_2$  při testu s použitím dechových cvičení činil 5,09 %, tato hodnota byla jak věcně významná se středním efektem ( $d = 0,58$ ), tak statisticky významná ( $p < 0,01$ ). Parametr  $\text{VO}_2\cdot\text{HR}^{-1}$  činil průměrně o 1 mL více při testu s dechovým cvičením. Rozdíl mezi hodnotami tvoří 7,89 % a je jak věcně významný s malým efektem ( $d = 0,32$ ), tak staticky významný ( $p < 0,05$ ). Velký efekt ( $d = 1,00$ ) v rozdílu mezi testem s použitím dechových cvičení a bez jejich zařazení byl naměřen u parametru RER. U testu po rozdýchání získali probandi průměrně o 0,07 menších hodnot než při testu bez aplikace dech. cvičení. Rozdíl těchto hodnot činí 7,53 %. Tento rozdíl je také statisticky významný ( $p < 0,01$ ). Nejmenší rozdíl mezi testy byl naměřen u parametru  $V_E$ , kdy probandi dosáhli u testu bez dechových cvičení průměrně o  $0,09 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  více než po aplikaci dechových cvičení. Rozdíl tak činil 0,25 %. Tato hodnota není věcně ani statisticky významná. Při testování bez dechových cvičení dosáhli probandi u parametru dechového objemu průměrně o 0,04 L vyšších hodnot než po aplikaci dechových cvičení. Rozdíl mezi hodnotami činil 2,84 %, avšak věcnou ani statistickou významnost neprokázal. Dechová frekvence u testu bez dechových cvičení činila  $30,26 \pm 7,15 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$ , po aplikaci dechových cvičení  $30,83 \pm 6,72 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$ . Tento rozdíl činí 1,88 %, není však ani věcně ani statisticky významný.

Tabulka 4. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty první zátěžové fáze ( $n=28$ ).

Parametr	Bez dech. cvičení	Po dech. cvičení	Změna v %	Cohenovo $d$	Hodnota $p$
$\text{VO}_2$ [ $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	$24,15 \pm 2,13$	$25,38 \pm 2,12$	5,09	0,58 <sup>s</sup>	$p < 0,01$
$\text{VO}_2\cdot\text{HR}$ [mL]	$12,68 \pm 2,63$	$13,68 \pm 3,53$	7,89	0,32 <sup>m</sup>	$p < 0,05$
RER	$0,93 \pm 0,08$	$0,86 \pm 0,07$	7,53	1,00 <sup>v</sup>	$p < 0,01$
$V_E$ [ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$40,54 \pm 6,05$	$40,44 \pm 4,78$	0,25	-0,02	$p = 0,91$
$V_T$ [L]	$1,41 \pm 0,40$	$1,37 \pm 0,31$	2,84	-0,12	$p = 0,24$
BF [ $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$30,26 \pm 7,15$	$30,83 \pm 6,72$	1,88	0,08	$p = 0,44$

## 5.5 Druhá zátěžová fáze ( $2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

V Tabulce 5 je možné vidět průměrné hodnoty z druhé minuty druhé zátěžové fáze, která představovala zátěž  $2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Hodnoty  $\text{VO}_2$  při testu bez zařazení dechových cvičení byly průměrně o  $0,99 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  menší než po jejich aplikaci. Rozdíl mezi  $\text{VO}_2$  činil 3,11 %, tato hodnota je věcně významná s malým efektem ( $d = 0,44$ ) a statisticky významná na hladině významnosti  $p < 0,01$ . Největší rozdíl mezi testy byl zjištěn u parametru tepového kyslíku a činil 5,02 %. Probandi dokázali získat hodnoty tepového kyslíku u testu po rozdýchání průměrně o 0,74 mL více než při testu bez aplikace dechových cvičení. Rozdíl v hodnotách tepového kyslíku je věcně významný s malým efektem ( $d = 0,22$ ) i statisticky významný ( $p < 0,01$ ). Poslední parametr, u kterého byla v tomto stupni prokázána věcná ( $d = -0,41$ ) i statistická ( $p < 0,05$ ) významnost, je RER. Hodnoty tohoto parametru získané při testu bez dechových cvičení činily o 0,03 více než při testu po jejich aplikaci, tento rozdíl činí 2,94 %. Průměrný rozdíl mezi testy u parametru minutové ventilace činil  $0,76 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ve prospěch testu po aplikaci dechových cvičení, tento rozdíl činí 1,39 %, avšak nebyla prokázána statistická významnost ani věcně významný efekt. Druhý největší rozdíl mezi výslednými hodnotami, a to 3,49 %, byl zjištěn u parametru dechového objemu. Dechový objem při testu bez dechových cvičení činil  $1,72 \pm 0,45 \text{ L}$ , kdežto u testu po zavedení dechových cvičení do rozcvičení dosahoval hodnot  $1,78 \pm 0,47 \text{ L}$ , věcná ani statistická významnost nebyla prokázána. Nejmenší rozdíl mezi testy v druhé zátěžové fázi náleží parametru dechové frekvence. Ta dosahovala průměrných hodnot při testu bez dechových cvičení o  $0,43 \text{ n}\cdot\text{min}^{-1}$  více, než po jejich aplikaci. Věcná ani statistická významnost nebyla u tohoto parametru prokázána.

**Tabulka 5. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty druhé zátěžové fáze (n=28).**

Parametr	Bez dech. cvičení	Po dech. cvičení	Změna v %	Cohenovo $d$	Hodnota $p$
$\text{VO}_2 [\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}]$	$31,79 \pm 2,26$	$32,78 \pm 2,20$	3,11	0,44 <sup>m</sup>	$p < 0,01$
$\text{VO}_2\text{-HR} [\text{mL}]$	$14,73 \pm 3,19$	$15,47 \pm 3,63$	5,02	0,22 <sup>m</sup>	$p < 0,01$
RER	$1,02 \pm 0,08$	$0,99 \pm 0,07$	2,94	-0,41 <sup>m</sup>	$p < 0,05$
$V_E [\text{L}\cdot\text{min}^{-1}]$	$54,78 \pm 6,43$	$55,54 \pm 6,69$	1,39	0,12	$p = 0,39$
$V_T [\text{L}]$	$1,72 \pm 0,45$	$1,78 \pm 0,47$	3,49	0,12	$p = 0,12$
$\text{BF} [\text{n}\cdot\text{min}^{-1}]$	$33,49 \pm 7,78$	$33,06 \pm 7,99$	1,28	-0,05	$p = 0,58$

## 5.6 Třetí zátěžová fáze (3 W·kg<sup>-1</sup>)

V Tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty vybraných ventilačních parametrů z druhé minuty třetí zátěžové fáze. Tato fáze vykazuje nejmenší rozdíly hodnot u parametru VO<sub>2</sub> ze všech čtyřech fází. Při testu po aplikaci dechových cvičení došlo k navýšení hodnoty VO<sub>2</sub> o 0,64 mL·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>. Tento rozdíl je stále věcně významný s malým efektem ( $d = 0,26$ ), statistická významnost však nebyla prokázána. Největší rozdíl mezi testem bez aplikace a po aplikaci dechových cvičení byl nalezen opět u parametru tepového kyslíku. Tento rozdíl činil 1,13 mL ve prospěch testu po zařazení dechových cvičení. Tato hodnota udává 6,78% nárůst. Věcná významnost byla prokázána s malým efektem ( $d = 0,24$ ), statistická významnost prokázána nebyla. Poměr respirační výměny (RER) byl opět zjištěn menší po zařazení dechových cvičení do rozcvičení, a to o 0,03. Rozdíl činí 2,7 % a je věcně významný s malým efektem ( $d = -0,35$ ), prokázána byla také statistická významnost ( $p < 0,05$ ). Nejmenší rozdíl naměřených hodnot mezi testy v tomto zátěžovém stupni byl zjištěn u parametru minutové ventilace (V<sub>E</sub>), a to 1,06 %. Probandi dosáhli hodnot 77,56 ± 9,32 L·min<sup>-1</sup> při testu bez předchozí aplikace dechových cvičení, naopak po aplikaci 76,74 ± 9,33 L·min<sup>-1</sup>. U toho rozdílu nebyla prokázána statistická významnost ani věcně významný efekt. Parametr dechového objemu (V<sub>T</sub>) byl větší průměrně o 0,05 L po aplikaci dechových cvičení. Tento rozdíl však neprokázal žádnou ze zkoumaných významností. U posledního parametru, dechové frekvence, nebyla opět prokázána žádná z významností. Hodnoty dechové frekvence při testu bez dechových cvičení činily průměrně o 0,73 n·min<sup>-1</sup> více než po jejich aplikaci. Tento rozdíl tvoří 1,83 %.

**Tabulka 6. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty třetí zátěžové fáze (n=28).**

Parametr	Bez dech. cvičení	Po dech. cvičení	Změna v %	Cohenovo $d$	Hodnota $p$
VO <sub>2</sub> [mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	41,23 ± 2,56	41,87 ± 2,43	1,55	0,26 <sup>m</sup>	$p = 0,17$
VO <sub>2</sub> -HR [mL]	16,67 ± 3,33	17,80 ± 5,72	6,78	0,24 <sup>m</sup>	$p = 0,09$
RER	1,11 ± 0,08	1,08 ± 0,07	2,7	-0,35 <sup>m</sup>	$p < 0,05$
V <sub>E</sub> [L·min <sup>-1</sup> ]	77,56 ± 9,32	76,74 ± 9,33	1,06	-0,09	$p = 0,47$
V <sub>T</sub> [L]	2,02 ± 0,46	2,07 ± 0,54	2,48	0,11	$p = 0,18$
BF [n·min <sup>-1</sup> ]	39,94 ± 7,70	39,21 ± 9,41	1,83	-0,08	$p = 0,40$

## 5.7 Čtvrtá zátěžová fáze (4 W·kg<sup>-1</sup>)

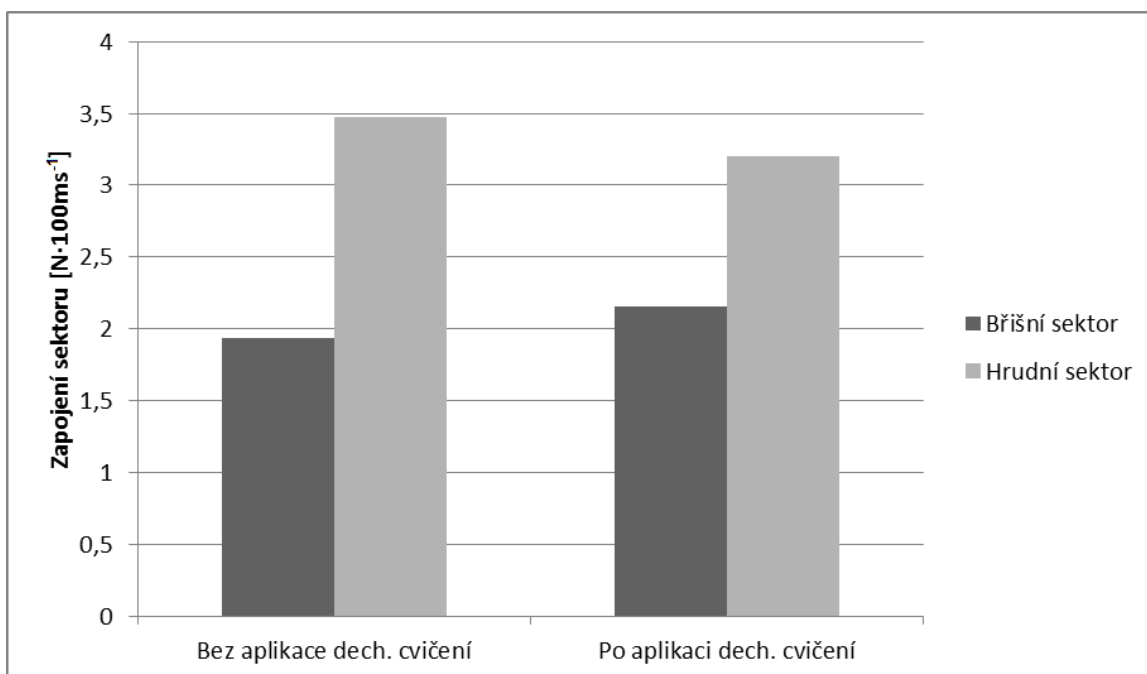
V Tabulce 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty ventilačních parametrů ze čtvrté zátěžové fáze. Parametr  $\text{VO}_2$  představuje nárůst o 1,61 mL·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> pro test po aplikaci dechového cvičení. Rozdíl mezi testy činí 3,39 % a je jak věcně významný s malým efektem ( $d = 0,38$ ), tak statisticky významný ( $p < 0,01$ ). Největší rozdílné hodnoty mezi testy lze vidět opět u parametru  $\text{VO}_2 \cdot \text{HR}^{-1}$ , kdy atleti dosahovali průměrně o 1,22 mL větších hodnot po zařazení dechových cvičení. Výsledný rozdíl činí 6,9 %, avšak významnost byla prokázána pouze věcná ( $d = 0,25$ ), statistická nikoliv. Naopak nejmenší rozdíl ve čtvrté zátěžové fázi mezi oběma testy byl nalezen u parametru RER (0,85 %). Poměr respirační výměny činil u testu bez dechových cvičení  $1,18 \pm 0,08$  a po zařazení cvičení  $1,17 \pm 0,08$ , rozdíl není statisticky ani věcně významný. Pro parametr  $V_E$  nastal nárůst ve čtvrté zátěžové fázi o 2,58 L·min<sup>-1</sup> při testu s předchozí aplikací dechových cvičení. Tento rozdíl tvoří 2,62 %, avšak věcná ani statistická významnost nebyla prokázána. Dechový objem ve čtvrté zátěžové fázi byl mírně větší po aplikaci dechových cvičení, a to konkrétně o 0,06 L. Statistická významnost či věcně významný efekt však nebyl prokázán. Parametr BF byl o 1 % menší při testu bez zařazení dechových cvičení. Probandi dosáhli  $46,05 \pm 9,08$  n·min<sup>-1</sup> u testu bez dechových cvičení a  $46,51 \pm 10,83$  n·min<sup>-1</sup> po zařazení dechových cvičení. Rozdíl není statisticky ani věcně významný.

**Tabulka 7. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty čtvrté zátěžové fáze (n=28).**

Parametr	Bez dech. cvičení	Po dech. cvičení	Změna v %	Cohenovo $d$	Hodnota $p$
$\text{VO}_2$ [mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	47,52 ± 4,38	49,13 ± 4,08	3,39	0,38 <sup>m</sup>	$p < 0,01$
$\text{VO}_2 \cdot \text{HR}$ [mL]	17,69 ± 3,64	18,91 ± 5,78	6,9	0,25 <sup>m</sup>	$p = 0,08$
RER	1,18 ± 0,08	1,17 ± 0,08	0,85	-0,13	$p = 0,41$
$V_E$ [L·min <sup>-1</sup> ]	98,49 ± 13,38	101,07 ± 13,98	2,62	0,19	$p = 0,19$
$V_T$ [L]	2,22 ± 0,56	2,28 ± 0,57	2,7	0,10	$p = 0,11$
BF [n·min <sup>-1</sup> ]	46,05 ± 9,08	46,51 ± 10,83	1,0	0,05	$p = 0,67$

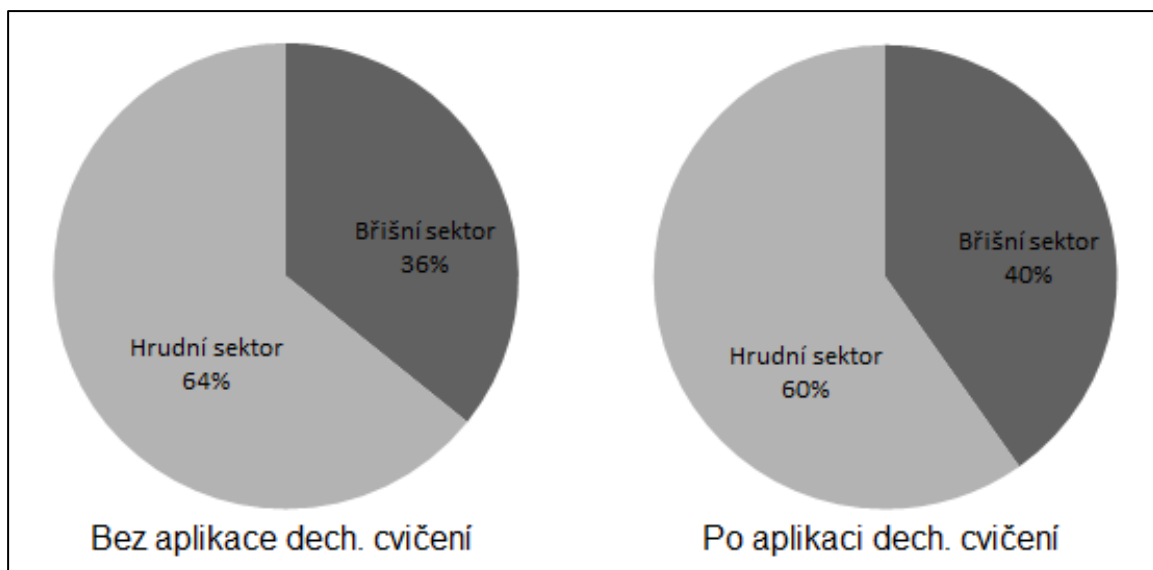
## 5.8 Zapojení dechových sektorů

Pro vyhodnocení zapojení jednotlivých sektorů při testu bez a po aplikaci dechových cvičení byly použity sloupcové a výšečové grafy. Na Obrázku 12 je možné vidět přesné zapojení jednotlivých dechových segmentů. U testu bez aplikace dechových cvičení atleti dosahovali hodnot břišního dýchání  $1,937 \pm 1,11 \text{ N}\cdot 100\text{ms}^{-1}$  a horního hrudního dýchání  $3,477 \pm 1,731 \text{ N}\cdot 100\text{ms}^{-1}$ . U testu po aplikaci dechových cvičení dosahovali hodnot břišního dýchání  $2,152 \pm 1,04 \text{ N}\cdot 100\text{ms}^{-1}$  a horního hrudního dýchání  $3,202 \pm 1,61 \text{ N}\cdot 100\text{ms}^{-1}$ . Rozdíl hodnot u obou sektorů však není věcně ani statisticky významný. Významnost rozdílu břišního sektoru činí  $d = 0,19$  ( $p = 0,08$ ). Významnost rozdílu hrudního sektoru činí  $d = 0,16$  ( $p = 0,16$ ).



Obrázek 12. Zapojení dechových sektorů bez a po aplikaci dechových cvičení.

Na Obrázku 13 je možné vidět procentuální zastoupení změn v dechových sektorech. U testu bez aplikace dechových cvičení bylo zastoupení horního hrudního dýchání 64 %, po aplikaci dechových cvičení v rámci rozcvičení došlo k 4% snížení zapojení horního hrudního sektoru. Tento rozdíl však není věcně ani statisticky významný. Procentuální zastoupení břišního dýchání činilo u testu bez aplikace dechových cvičení 36 %, po zařazení dechových cvičení došlo k 4% nárůstu. Rozdíl není opět statisticky ani věcně významný.



**Obrázek 13.** Procentuální zapojení dechových sektorů při testech s aplikací a bez aplikace dechových cvičení.

## 6 Diskuse

Dle Bartůňkové et al. (2013) se po „rozdýchání“ či aktivitě s mírnou intenzitou může hodnota FVC zvýšit oproti hodnotě měřené v klidu. Výsledky této práce se shodují s tímto tvrzením. Při vyšetření, kterému předcházelo dechové cvičení založené na Wim Hofově metodě, došlo k nárůstu hodnoty FVC o 5,32 % ( $d = 0,226$ ).

Vytrvalostní výkon však nemusí přímo záviset na velikosti FVC. Mezi elitními sportovci se objevují jedinci, kteří svou vitální kapacitou nepřesáhnou 5,0 L, avšak jejich minutová ventilace může dosahovat až  $180 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  (Bartůňková et al., 2013).

Hlavním sledovaným parametrem, u kterého byly porovnány změny po aplikaci dechových cvičení, byl parametr  $\text{VO}_2$ . Dle výzkumu Bahenského et al. (2020) lze pomocí dechových cvičení obsahujících zádrže dechu akcelarovat kinetiku  $\text{VO}_2$  a snížit subjektivní pocit vyčerpání při zátěži. Výsledky této práce se shodují s tímto výzkumem a podporují ho při větším počtu probandů. Výsledky testů vykazují nárůst spotřeby kyslíku ve všech čtyřech zátěžových fázích. Konkrétně se jedná o 5,09%, 3,11%, 1,55% a 3,39% nárůst  $\text{VO}_2$ , uvedeno postupně od první do poslední fáze. Tato data dokazují, že lze urychlit kardiorespirační odpověď na zátěž pomocí předchozí aplikace dechového cvičení. Důležité je zmínit fakt, že došlo ke zvýšení spotřeby kyslíku bez výrazných změn v minutové ventilaci. Rozdíl v minutové ventilaci nebyl ani v jedné ze zátěžových fází statisticky či věcně významný.

Pro určení efektivity extrakce kyslíku ze vzduchu v plicích a následné nabídky tkáním se využívá tzv. OUES (Oxygen Uptake Efficiency Slope). OUES vyjadřuje poměr mezi  $\text{VO}_2$  a  $V_E$ . Při menší či stejné minutové ventilaci a vyšším příjmu kyslíku, dojde ke zvýšení OUES a lze konstatovat lepší využití kyslíku (Várnay et al., 2020).

Zrychlenou spotřebu kyslíku během fyzické aktivity, které předcházely dechová cvičení, obdobně pozoroval Sakamoto et al. (2014), ten se svými kolegy zaznamenal prokazatelné zvýšení  $\text{VO}_2$  během opakovaných anaerobních sprintů po 2 minutách hyperventilace. Bylo potvrzeno, že díky dechovým cvičením, které obsahují kombinaci hyperventilace a zádrže dechu, lze vyvolat sympatickou odpověď, která zlepšuje absorpci kyslíku v oběhu (Hof et al., 2017; Lindholm & Gennser, 2005; Maestroni, 2006). Aktivace sympatického nervového systému má vliv na buněčný metabolismus, včetně zvýšené spotřeby kyslíku (Bravo, 1989). Zádrže dechu po maximální dobu také způsobují kontrakce sleziny s následným zvýšením hladin hematokritu a hemoglobinu



a možnými účinky stimulace imunitního systému (Schagatay et al., 2005). Maximální zádrže dechu zvyšují hladinu  $p\text{CO}_2$  (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014). Lepší uvolnění kyslíku ve tkáních je ovlivněno vyšší hladinou  $p\text{CO}_2$  a vyšší teplotou (Bartůňková, 2006). Tato tvrzení mohou být dalšími z několika faktorů ovlivňujících kinetiku  $\text{VO}_2$  v experimentu této diplomové práce. Hypotéza H1 byla potvrzena, pomocí dechových cvičení založených na hyperventilaci a maximálních zádržích dechu, lze akcelarovat spotřebu kyslíku. Zrychlená kinetika  $\text{VO}_2$  se současně nezměněnou minutovou ventilací může mít pozitivní vliv na vytrvalostní výkon.

Parametr tepového kyslíku je vypočítáván pomocí spotřeby kyslíku a tepové frekvence, odráží tedy reakci jak respiračního, tak oběhového systému (Heller, 2018). Atleti dosáhli vyšších hodnot  $\text{VO}_2 \cdot \text{HR}^{-1}$  po testu s aplikací dechových cvičení ve všech stanovených zátěžových fázích, a to konkrétně o 7,89 %, 5,02 %, 6,78 % a 6,9 %, uvedeno postupně, od první do poslední fáze. Tyto výsledky značí, že došlo k akceleraci kinetiky  $\text{VO}_2$  se současně nezměněnou či sníženou tepovou frekvencí, a mohou podpořit tvrzení, že dechové cvičení před fyzickou zátěží může mít pozitivní vliv na výkon.

Zhoršená ekonomika dýchání je charakterizována zvýšenou dechovou frekvencí, spojenou s mělkým či povrchním dýcháním. Snížená vzruchová aktivita bráničního elektromyografického záznamu nasvědčuje ke zhoršení kontraktility bránice. Mělké dýchání má za důsledek sníženou spotřebu kyslíku, která je kompenzována zvýšením oběhových parametrů, především zvýšením srdeční frekvence a krevního tlaku (Bartůňková et al., 2013).

Při zvýšené sympatické aktivitě dochází k vyvolání dilatace bronchů, a tím ke snadnějšímu průchodu vzduchu (Bartůňková et al., 2013). Další možnost vyvolání bronchodilatace jsou hluboké nádechy, následované maximální zádrží dechu. U astmatiků je důležitým psychofyzikálním aspektem, benefitujícím ze zadržování dechu, zvýšení odolnosti pocitu dušnosti (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014). Tyto fyziologické reakce sloužily jako podklad pro hypotézu H2, ta však nebyla potvrzena. Ani v jedné ze zátěžových fází nedošlo k věcně významným či statisticky významným změnám, a to jak u parametru dechového objemu, tak parametru minutové ventilace. K významným změnám nedošlo ani u parametru dechové frekvence. Ventilací parametry, s výjimkou spotřeby kyslíku, nebyly zásadně ovlivněny aplikací dechového cvičení před zátěží.

Poměr respirační výměny může sloužit k několika funkcím, např. jako ukazatel aktuálně využívaného energetického zdroje či jako kritérium pro potvrzení dosažení hodnoty  $VO_{2max}$  (Heller, 2018). RER může také sloužit k posouzení náročnosti dané fyzické aktivity. V první zátěžové fázi byla hodnota RER u testu po aplikaci dechových cvičení o 7,53 % menší než při testu bez využití dechových cvičení ( $d = 1,00$ ). Tento výsledek naznačuje, že aktivace sympatického systému a zvýšená kinetika  $VO_2$ , může připravit sportovce na výkon a ovlivnit jeho počáteční náročnost. Věcně významná změna mezi testy u tohoto parametru byla zaznamenána i ve druhé (2,94 %) a třetí (2,7 %) zátěžové fázi ve prospěch testu s aplikací dechových cvičení. U poslední zátěžové fáze nedošlo k věcně významným změnám, avšak trend snížené hodnoty RER přetrvával ( $d = 0,13$ ). Test v celé jeho délce nebylo bez dechového cvičení schopno dokončit sedm probandů, po jejich aplikaci se tato hodnota snížila na tři probandy. Snížená hodnota RER a zvýšená kinetika  $VO_2$  mohli být tedy důvodem zvýšení šance na dokončení testu v jeho plném rozsahu (8 min). U testu po aplikaci dechových cvičení došlo k věcně významnému nárůstu času pod zátěží ( $d = 0,38$ ).

U netrévaného jedince v klidovém stavu se bránice podílí na plicní ventilaci asi z 30–40 %. Trénovaný jedinec využívá „brániční dýchání“ pro plicní ventilaci ze zhruba 50–60 % (Bartůňková et al., 2013). Soubor testovaných jedinců této práce tvořila skupina adolescentních běžců, kteří dosahují výkonnostní úrovně české mládežnické špičky. Brániční dýchání při obou testech se však pohybovalo v procentuálním rozmezí netrévaného jedince, tedy 30–40 %.

Mezi příznivé účinky zadržného dechu patří zlepšení tónu svalů horních cest dýchacích zvýšením aktivity bloudivého a podjazykového nervu (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014). Při snížení objemu vzduchu v plicích, bránice zvětší své zakřivení, funkční délku a sílu, což zlepšuje neuromechanické spojení a zvětšuje svobodu a snadnost dýchání (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014). Jeden z hlavních pilířů dechového cvičení Wim Hofovi metody je maximální zádrž dechu po expiraci. Předpokládali jsme, že díky zvýšení aktivity bloudivého a podjazykového nervu, společně se zlepšením funkce bránice a neuromechanického spojení dojde ke zvýšení hodnot bráničního dýchání. Po aplikaci dechového cvičení došlo k nárůstu zapojení břišního dýchání, konkrétně o 4 %. Tento rozdíl však nevykazuje věcnou ani statistickou významnost. Hypotéza H3 nebyla potvrzena.

Jako limity této práce sledáváme nemožnost porovnání klasického běžeckého rozcvičení s rozcvičením ve formě dechového cvičení. Další možný limit je také adolescentní věk probandů, je tedy vhodné aplikovat výzkum na další věkové skupiny.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjištění změny ekonomiky dýchání při zátěži vlivem předchozí aplikace dechových cvičení vycházejících z Wim Hof metody do rozcvičení. Jako soubor probandů byla vybrána skupina 28 výkonnostních běžců a běžkyň adolescentního věku, u kterých patří ekonomika dýchání k významným faktorům ovlivňující výkon. Každý proband absolvoval 2 identické testy v rozmezí 3 dnů, kdy před jedním z testů bylo provedeno v rámci rozcvičení dechové cvičení založené na Wim Hof metodě. Protokol testu se skládal ze 4 dvouminutových zátěžových fází (1, 2, 3, 4  $W \cdot kg^{-1}$ ). Testování proběhlo v Laboratoři funkční zátěžové diagnostiky na Katedře tělesné výchovy a sportu Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích.

Z výsledků naší práce vyplývá, že vlivem dechového cvičení, obsahující řízenou hyperventilaci a zádrže dechu, lze akcelarovat kinetiku spotřeby kyslíku, což může vést k usnadnění vytrvalostního výkonu. Společně s parametrem spotřeby kyslíku došlo k významnému nárůstu také u parametru tepového kyslíku. Oba sledované parametry vykázaly významné změny ve všech čtyřech zátěžových fázích. Tímto byla hypotéza H1 potvrzena.

Tvrzení, že díky dechovému cvičení založenému na Wim Hof metodě může dojít k usnadnění vytrvalostního výkonu podporuje také hodnota parametru respirační výměny a počet dokončených testů. Hodnota respirační výměny byla významně nižší u prvních třech zátěžových fází, ve čtvrté fázi byla hodnota při testu po aplikaci dechových cvičení také nižší, avšak věcná významnost u tohoto rozdílu nebyla prokázána. Test bez zařazení dechových cvičení nebylo schopno dokončit v plné délce sedm atletů. Po jejich aplikaci se tato hodnota snížila na tři atlety.

Zbylé ventilační parametry, tj. dechový objem, minutová ventilace a dechová frekvence nebyly dechovým cvičením významně ovlivněny ani v jedné ze zátěžových fází. Hypotéza H2 nebyla potvrzena.

Po aplikaci dechového cvičení došlo k mírnému nárůstu ve prospěch bráničního dýchání. Tento nárůst však nevykázal věcnou ani statistickou významnost. Hypotéza H3 nebyla potvrzena.

Mezi limity této práce vidíme možné zařazení a porovnání klasického běžeckého rozcvičení s rozcvičením v podobě dechového cvičení, které nebylo do

výzkumu zařazeno a rozšíření výzkumného souboru o jedince dalších věkových kategorií.

Výsledky naší práce prokázaly, že aplikace dechového cvičení, vycházejícího z Wim Hof metody, může pozitivně ovlivnit určité aspekty ekonomiky dýchání a tím i vytrvalostní výkon u adolescentních běžců výkonnostní kategorie.

## Referenční seznam literatury

- Bartůňková, S. (2006). *Fyziologie člověka a tělesných cvičení: učební texty pro studenty fyzioterapie a studia Tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených*. Praha: Karolinum.
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Praha: UK FTVS.
- Bahenský, P., Malátová, R., & Mareš, M. (2016). Vliv intervenčního programu dechových cvičení na vitální kapacitu plic. *Studia Kinanthropologica*, 17(3), 177–183.
- Bahenský, P., Malátová, R., & Bunc, V. (2019). Changed dynamic ventilation parameters as a result of a breathing exercise intervention programme. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1369–1375.
- Bahenský, P., Hermann, T., & Malátová, R. (2019). Breathing pattern during load and its change due to interventional program of breathing exercise. In.: Cacek, J. *Proceedings of the 12th International Conference on Kinanthropology, Sport and Quality of Life 7.–9. 11. 2019*, 133–139. Brno: Masarykova univerzita.
- Bahenský, P., Bunc, V., Marko, D., & Malátová, R. (2020). Dynamics of ventilation parameters at different load intensities and the options to influence it by a breathing exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(8), 1101–1109.
- Bahenský, P., Marko, D., Grosicki, J. G., & Malátová, R. (2020). Warm-up breathing exercises accelerate VO<sub>2</sub> kinetics and reduce subjective strain during incremental cycling exercise in adolescents. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(6), 3361–3367.
- Beunen, G. (2001). Physical growth, maturation and performance. In R. Eston & T. Reilly (Eds.), *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual, vol. 1*, 65–90. London: Routledge.
- Blahuš, P. (2000). Statistická významnost proti vědecké průkaznosti výsledků výzkumu. *Česka kinantropologie*, 4(2), 53–72.
- Bradley, H., & Esformes, J. (2014). Breathing pattern disorders and functional movement. *International journal of sports physical therapy*, 9(1), 28–39.
- L Bravo, E. (1989). Metabolic factors and the sympathetic nervous system. *American journal of hypertension*, 2, 339–344.
- Bruton, A., & Holgate, S.T. (2005). Hypocapnia and asthma: a mechanism for breathing retraining? *Chest*, 127(5), 1808–1811.
- Buijze, G. A., & Hopman, M.T. (2014). Controlled Hyperventilation After Training May Accelerate Altitude Acclimatization. *WILDERNESS & ENVIRONMENTAL MEDICINE*, 25(4), 484–494.
- Bursová, M. (2005). *Kompenzační cvičení*. Praha: Grada Publishing.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63–79.
- Buzek, M. (2007). *Trenér fotbalu „A“ UEFA licence*. Praha: Olympia.
- Carney, S. (2018). *What Doesn't Kill Us: How Freezing Water, Extreme Altitude and Environmental Conditioning Will Renew Our Lost Evolutionary Strength*. Pennsylvania: Rodale Books.

- Conrad, A., Müller, A., Doberenz, S., Kim, S., Meuret, A. E., Wollburg, E., & Roth, W. T. (2007). Psychophysiological effects of breathing instructions for stress management. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 32(2), 89–98.
- Courtney, R., & Cohen, M. (2008). Investigating the laims of Konstantin Buteyko M.D., PjD: the relationship of breath holding time to end tidal CO<sub>2</sub> and other proposed measures of dysfunctional breathing. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 14, 115–123.
- Da Costa, J. M. (1871). On irritable heart: A clinical study of a form of functional cardiac disorder and its consequences. *The American journal of medicine*, 11(5), 559–567.
- De Groot, E. P. (2011). Breathing abnormalities in children with breathlessness. *Paediatric respiratory reviews*, 12(1), 83–87.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Dylevský, I. (2019). *Somatologie: pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka*. Praha: Grada Publishing.
- Elphinston, J. (2014). *Stability, Sport and Performance Movement: Practical Biomechanics and Systematic Training for Movement Efficacy and Injury Prevention*. Chichester: Lotus Publishing.
- Haldane, J. S., & Poulton, E. P. (1908). The effects of want of oxygen on respiration. *The Journal of physiology*, 37(5–6), 390.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.
- Hendl, J. (2004). *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál.
- Herman, S. P., Stickler, G. B., & Lucas, A. R. (1981). Hyperventilation syndrome in children and adolescents: long-term follow-up. *Pediatrics*, 67(2), 183–187.
- Houtman, A. M. (2018). *Biology now with physiology* (Second high school edition). New York: W.W. Norton & Company.
- Hof, I. (2016). *The Wim Hof Method Explained*. Enahm Hof/Innerfire.
- Hof, W., Jong, K. D., & Brown, A. (2017). *The way of the iceman: How the Wim Hof method creates radiant, longterm health--using the science and secrets of breath control, cold-training and commitment*. The United States: Dragon Door Publications.
- Chaitow, L., Bradley, D., & Gilbert, C. (2014). *Recognizing and Treating Breathing Disorders*. Amsterdam: Elsevier Health Sciences.
- Joulia, F., Steinberg J.G., Faucher M., et al. (2003). Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Resporatory Phisiology & Neurobiology*, 137, 19–27.
- Kolář, P., & Červenková, R. (2018). *Labyrint pohybu*. Praha: Vyšehrad.
- Kox, M., Stoffels, M., Smeekens, S. P., Alfen, N, van., Gomes, M.,Eijsvogels, T. M. H., Hopman, M. T. E, Hoeven, J. G, van der., Netea, M. G., & Pickkers, P. (2012). The influence of concentration/meditation on autonomic nervous system activity and the innate immune response a case study. *Psychosomatic Medicine*, 74, 489–449.
- Laffey, J. G., & Kavanagh, B.P. (2002). Hypocapnia. *N Engl J of Med*, 347, 43–54.
- Langiewicz, C. T. (2019). *The Effect of Hyper-Oxidative Breathing on Physical Endurance*.

- Lindholm, P., & Gennser, M. (2005). Aggravated hypoxia during breath-holds after prolonged exercise. *European journal of applied physiology*, 93(5–6), 701–707.
- Lum, L. C. (1987). Hyperventilation syndromes in medicine and psychiatry: a review. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 80(4), 229–231.
- Maestroni, G. J. (2006). Sympathetic Nervous System Influence on the Innate Immune Response. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1069(1), 195–207.
- Malátová, R., Bahenský, P., & Mareš, M. (2016). Dechový stereotyp v tělovýchovné praxi. *Studia Kinanthropologica*, 17(3), 325–332.
- Malátová, R., Bahenský, P., Mareš, M., & Rost, M. (2017). Breathing pattern of restful and deep breathing. In: Zvonař, M., & Sajdlová, Z. *Proceedings of the 11th International Conference on Kinanthropology*, 199–210. Brno: Masarykova univerzita.
- Malátová, R. (2019). Význam dechového stereotypu a možnosti jeho ovlivnění. (Habilitační práce, Masarykova univerzita, Brno, Česká Republika). Získáno z <https://www.muni.cz/inet-doc/1288400>.
- Malátová, R., Bahenský, P., Mareš, M., & Marko, D. (2019). Influence of the intervention program according to Pulmonary Rehabilitation principles on breathing functions of healthy individuals. In J. Cacek, Z. Sajdlová, & K. Šimková (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Kinanthropology, Sport and Quality of Life 7.–9. 11. 2019*, 103–111. Brno: Masarykova univerzita.
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory*. Praha: Grada Publishing.
- Olecká, I., & Ivanová, K. (2010). *Metodologie vědecko-výzkumné činnosti*. Moravská vysoká škola Olomouc, o. p. s.
- Pecka, M. (1995). *Přehled laboratorní hematologie*. Praha: Galén.
- Rice, R. L. (1950). Symptom patterns of the hyperventilation syndrome. *The American journal of medicine*, 8(6), 691–700.
- Rosenzweig, K. E., Hanley, J., Mah, D., Mageras, G., Hunt, M., Toner, S., ... & Leibel, S. A. (2000). The deep inspiration breath-hold technique in the treatment of inoperable non-small-cell lung cancer. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*, 48(1), 81–87.
- Rösch, J. (1965). *Rentgenologie sleziny a pankreatu*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
- Sakamoto, A., Naito, H., & Chow, C. M. (2014). Hyperventilation as a strategy for improved repeated sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(4), 1119–1126.
- Schagatay, E., Haughey, H., & Reimers, I. (2005). Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas. *Eur J Appl Physiol* 93, 447–452.
- Várnay, F., Homolka, P., Mífková, L., & Dobšák, P. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Praha: Grada Publishing.
- Vernon, H. M. (1909). The production of prolonged apnoea in man. *Journal of Physiology*, 38, 18.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Triton.
- Vidotto, L. S., Fernandes de Carvalho, C. R., Harvey, A., & Jones, M. (2019). Dysfunctional breathing: what do we know? *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 45(1), 1–9.



Zháněl, J., Hellebrandt, V., & Sebera, M. (2014). *Metodologie výzkumné práce-skripta v PDF ke stažení*. Brno: Masarykova univerzita.

## Internetové zdroje

- Compek. (2010). *Cortex Metacontrol 3000*. Přístup dne 12.11.2020, z <http://www.compek.cz/cortex-metacontrol-3000.htm>
- Compek medical services. (2014). *Vybavení funkčních laboratoří*. Přístup dne 12.11.2020, z [http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog\\_Vybaveni\\_funkcnich\\_laboratori\\_2014\\_web.pdf](http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog_Vybaveni_funkcnich_laboratori_2014_web.pdf)
- Compek. (2018). *Speciální ergometr LODE Excalibur Sport*. Přístup dne 07.08.2018, z <http://www.compek.cz/ergometr-excalibur-sport.htm>
- Cortex. (2018). *Metalyzer 3B*. Přístup dne 01.08.2018, z <http://cortex-medical.de/EN/METALYZER-3B-en.htm>
- Fitham. (2018). *Tanita BC-418 MA*. Přístup dne 12.11.2020, z <https://www.fitham.cz/tanita-bc-418-ma>
- Polar. (2018). *Hrudní pás POLAR H7 Bluetooth černý*. Přístup dne 13.11.2020, z <https://www.polar-eshop.cz/hrudni-pas-polar-h7-bluetooth-cerny>
- Wimhofmethod. (2020). *Věda za Wim Hofovo metodou*. Přístup dne 20.1.2020, z <https://www.wimhofmethod.com/science>

## Seznam použitých zkratk

WHM — Wim Hof Method

$\text{VO}_2$  — Spotřeba kyslíku

$\text{VO}_{2\text{max}}$  — Maximální spotřeba kyslíku

$V_E$  — Minutová ventilace

$V_T$  — Dechový objem

BF — Dechová frekvence

$\text{VO}_2 \cdot \text{HR}^{-1}$  — Tepový kyslík

RER — Poměr respirační výměny

FVC — Vitální kapacita plic

$\text{CO}_2$  — Oxid uhličitý

$\text{pCO}_2$  — Parciální tlak oxidu uhličitého v plné krvi

LA — Laktát

VT1 — Ventilací práh 1

VT2 — Ventilací práh 2

CNS — Centrální nervový systém

OUES — Oxygen uptake efficiency slope

EPOC — Excess Post-Exercise Oxygen Consumption

PDS — Poruchy dechového stereotypu

HVS — Hyperventilační syndrom

BIA — Bioelektrická impedance

T.J. — Tělovýchovná jednota

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Tréninková jednotka Buteykoví metody podle Chaitow, Bradley & Gilbert (2014), s. 242. ....	23
Tabulka 2. Zádrže dechu v jednotlivých kolech dechového cvičení a minimální saturace kyslíkem v daném kole (n=28). ....	45
Tabulka 3. Výsledný čas zátěžových testů. ....	46
Tabulka 4. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty první zátěžové fáze (n=28). ....	48
Tabulka 5. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty druhé zátěžové fáze (n=28). ....	49
Tabulka 6. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty třetí zátěžové fáze (n=28)... ..	50
Tabulka 7. Průměrné hodnoty parametrů z druhé minuty čtvrté zátěžové fáze (n=28). ....	51

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Vývojový diagram stres–úzkost–dýchání zobrazující několik možných účinků a vlivů poruch dýchacího vzorce (Chaitow, Bradley, & Gilbert, 2014, s. 3). .....	20
Obrázek 2. Schématické znázornění reakce na cvičení prováděné na bicyklu při zátěži 200 W. (Burnley & Jones, 2007). .....	34
Obrázek 3. Výškoměr SECA. ....	38
Obrázek 4. Tanita BC 418 MA. ....	38
Obrázek 5. Cortex MetaControl 3000. ....	39
Obrázek 6. Cortex MetaLyzer 3B. ....	40
Obrázek 7. Ergometr LODE Excalibur Sport. ....	41
Obrázek 8. Svalový dynamometr MD03. ....	42
Obrázek 9. Hrudní pás Polar H7 a spiroergometrická maska. ....	43
Obrázek 10. Vitální kapacita plic bez a po aplikaci dechových cvičení. ....	46
Obrázek 11. Kinetika VO <sub>2</sub> u testu bez a po aplikaci dechových cvičení. ....	47
Obrázek 12. Zapojení dechových sektorů bez a po aplikaci dechových cvičení. ....	52
Obrázek 13. Zapojení dechových sektorů bez a po aplikaci dechových cvičení. ....	52