



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

Vliv dechových cvičení na dechový vzor u běžců ve věku 15–25 let

Vypracoval: Bc. Dmitriy Bezruk

Vedoucí práce: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

České Budějovice, 2025



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

Effect of breathing exercises on breathing pattern in distance runners aged 15–25 years

Author: Bc. Dmitriy Bezruk

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

České Budějovice, 2025

Bibliografická identifikace

Název diplomové práce: Vliv dechových cvičení na dechový vzor u běžců ve věku 15–25 let

Jméno a příjmení autora: Bc. Dmitriy Bezruk

Studijní obor: TVSm

Pracoviště: Katedra tělesné výchovy a sportu PF JU

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

Rok obhajoby diplomové práce: 2025

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce bylo posoudit, zda osmitýdenní dechová intervence založená na jógových dechových cvičeních ovlivní dechový vzor u 17 aktivních výkonnostních běžců. Intervenční program zahrnoval každodenní individuální dechová cvičení doplněná o společné sezení jednou týdně v rámci tréninku. Výsledky analýzy ukázaly, že tato dechová intervence neměla statisticky významný vliv ($p \geq 0,05$) na dechový vzor sledovaných běžců. Po absolvování intervence nebyly zaznamenány výrazné změny v zapojení jednotlivých dechových sektorů. Rovněž nebyla potvrzena významná změna hodnot v důsledku intervence ve vztahu k vybraným spirometrickým parametrům, jako jsou dechová frekvence, minutová ventilace a dechový objem. Naopak, dva sledované ukazatele vykázaly po intervenci statisticky významné zlepšení ($p \leq 0,05$). Prvním z nich byla maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), která se po intervenci zvýšila. Druhým parametrem bylo prodloužení doby trvání zátěžového testu. Výsledky této práce mohou být užitečné pro trenéry i sportovce, kteří chtějí využít dechová cvičení k podpoře vytrvalostního výkonu.

Klíčová slova: podklíčkový sektor, hrudní sektor, břišní sektor, minutová ventilace, dechová frekvence, spotřeba kyslíku.

Bibliographical identification

Title of the graduation thesis: Effect of breathing exercises on breathing pattern in distance runners aged 15–25 years

Author's first name and surname: Bc. Dmitriy Bezruk

Field of study: TVSm

Department: Department of Sports studies

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský Ph.D.

The year of presentation: 2025

Abstract:

The main objective of this thesis was to assess whether an eight-week breathing intervention based on yoga breathing exercises would affect the breathing pattern of 17 active performance runners. The intervention program included daily individual breathing exercises supplemented with a joint session once a week as part of training. The analysis showed that this breathing intervention did not have a statistically significant effect ($p \geq 0.05$) on the breathing pattern of the monitored runners. After completing the intervention, no significant changes were recorded in the involvement of individual respiratory sectors. Also, no significant change in values due to the intervention was confirmed about selected spirometric parameters, such as respiratory rate, minute ventilation and tidal volume. On the contrary, two monitored indicators showed a statistically significant improvement ($p \leq 0.05$) after the intervention. The first of them was maximal oxygen consumption (VO_2max), which increased after the intervention. The second parameter was an extension of the duration of the exercise test. The results of this study may be useful for coaches and athletes who want to use breathing exercises to support endurance performance.

Keywords: subclavian sector, thoracic sector, abdominal sector, minute ventilation, respiratory rate, oxygen consumption.

Prohlášení

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

Datum.

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu PhDr. Petrovi Bahenskému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost, které mi poskytl při zpracování této práce. Jeho podpora a konstruktivní připomínky byly pro mě neocenitelnou pomocí při dosažení tohoto cíle. Zároveň děkuji běžcům oddílu T. J. Sokol České Budějovice za jejich ochotu a účast při testování, která byla klíčová pro realizaci praktické části této práce.

Obsah

1 Úvod.....	6
2 Teoretická východiska.....	8
2.1 Fyziologie dýchání	8
2.1.1 Úvod a význam dýchacích plynů.....	8
2.1.2 Dýchací svaly a jejich role	9
2.1.3 Dýchací systém při zatížení.....	10
2.1.4 Ventilace	12
2.1.5 Respirační ukazatele	13
2.2 Dechový vzor	16
2.3 Dechová cvičení	19
2.3.1 Typy dechových cvičení	19
2.3.2 Moderní dechové techniky	20
2.4 Energetické požadavky vytrvalostního běhu.....	22
2.5 Sportovní zátěžová diagnostika.....	24
2.5.1 Význam sportovní zátěžové diagnostiky.....	24
2.5.2 Test $VO_2\text{max}$	25
2.5.3 Bruce test.....	28
2.5.4 Optoelektronická pletysmografie.....	29
3 Cíl, úkoly a hypotézy	31
3.1 Cíl práce	31
3.2 Úkoly práce.....	31
3.3 Hypotézy.....	32
4 Metodika	33
4.1 Charakteristika souboru	33
4.2 Design experimentu	34
4.2.1 Použitá dechová intervence	36
4.2.2 Použité testovací přístroje	37
4.2.3 Programy použité při měření.....	47
4.3 Statistické zpracování	48
5 Výsledky	49
5.1 Usilovný výdech vitální kapacity plic (FVC).....	49
5.2 Maximální spotřeba kyslíku $VO_2\text{max}$	50
5.3 Dechový objem.....	51
5.4 Dechová frekvence	52
5.5 Minutová ventilace.....	54
5.7 Saturace kyslíku ve svalu	56
5.8 Zapojení dechových sektorů.....	57
6 Diskuse	76
7 Závěr.....	79
Referenční seznam literatury.....	80

1 Úvod

Dechový vzor představuje klíčový faktor efektivity dýchání a celkové kondice sportovců, zejména u vytrvalostních disciplín, jako je běh. Schopnost optimálně využívat dechový potenciál může zásadním způsobem ovlivnit sportovní výkon, urychlit regeneraci po fyzické zátěži a přispět k prevenci zranění. V posledních letech narůstá zájem jak mezi sportovci, tak mezi odborníky o různé dechové techniky, které mohou vést nejen ke zlepšení fyzického výkonu, ale i k celkovému zvýšení kvality života. Mezi tyto metody patří dechová cvičení zaměřená na optimalizaci dechového vzoru, posílení bránice a zvýšení plicní kapacity. Tento trend je patrný i mezi vytrvalostními běžci, kteří se stále častěji snaží o vědomou práci s dechem, aby maximalizovali svůj výkon a minimalizovali negativní dopady nevhodných dechových návyků.

Mladí běžci ve věkovém rozmezí 15–25 let se nacházejí v období intenzivního fyzického rozvoje, kdy správné dýchací návyky mohou mít zásadní vliv nejen na jejich sportovní výkonnost, ale i na zdraví dýchacího systému. Optimalizace dechového vzoru může pomoci zlepšit efektivitu dýchání, snížit riziko nadměrné únavy a předejít případným zdravotním komplikacím spojeným s dysfunkčním dýcháním. Právě v tomto kontextu nabývá významu výzkum zaměřený na dechové intervence a jejich efekt na výkon a fyziologické parametry sportovců. Přestože se této problematice věnuje rostoucí množství studií, v oblasti mladých vytrvalostních běžců je stále poměrně málo dostupných vědeckých poznatků.

Díky své více než čtyřleté praxi v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky jsem měl možnost podrobně se seznámit s metodikou měření sportovní výkonnosti a analýzou dechových parametrů. Tato zkušenost mi umožnila lépe porozumět faktorům ovlivňujícím dechový vzor sportovců a inspirovala mě k prohloubení výzkumu v této oblasti. Proto jsem se rozhodl propojit své praktické zkušenosti s vědeckým zkoumáním a zaměřit se na vliv specifických dechových cvičení na dechový vzor mladých běžců.

Cílem této diplomové práce je analyzovat, jakým způsobem může osmitýdenní dechová intervence ovlivnit dechový vzor u běžců ve věku 15–25 let. Výzkum probíhal v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky, což umožnilo využít přesné a objektivní metody měření dechových parametrů. Výsledky tohoto výzkumu by mohly přispět k rozšíření

znalostí v oblasti sportovní fyziologie a přinést cenné informace nejen pro trenéry a sportovce, ale i pro odborníky v oblasti rehabilitace a sportovní diagnostiky.

2 Teoretická východiska

2.1 Fyziologie dýchání

2.1.1 Úvod a význam dýchacích plynů

Život na Zemi je neoddělitelně spjat s kyslíkem a oxidem uhličitým, přičemž oba plyny hrají klíčovou roli v biologických procesech. Již v 17. století začali vědci a filozofové chápat, že atmosféra obsahuje látky nezbytné pro život, ačkoli tehdejší znalosti o chemickém složení byly velmi omezené. O skutečné pochopení těchto prvků se postaraly objevy z konce 18. století, kdy experimenty chemických průkopníků, jako Antoine Lavoisier a Joseph Priestley, identifikovaly kyslík, dusík i oxid uhličitý. Tyto objevy umožnily pokročit v chápání procesů dýchání a spalování, což mělo zásadní dopad na rozvoj chemie i medicíny. Od té doby se význam těchto plynů pro život na Zemi stal klíčovým tématem vědeckého bádání, které přispělo k rozvoji fyziologie i environmentálních věd (Mourek, 2005).

Atmosféra naší planety obsahuje přibližně 20,9 % kyslíku, což umožňuje udržení aerobních forem života. Kyslík, vysoce reaktivní prvek, hraje zásadní roli v produkci biologicky dostupné energie v organismech savců. Tento proces, aerobní metabolismus, umožňuje oxidaci energeticky bohatých substrátů, jako sacharidy či lipidy, přičemž dochází k uvolnění chemické energie. Přibližně 44 % této energie se uchovává ve formě makroergních fosfátových vazeb, konkrétně v ATP, zatímco 56 % se promění na teplo, jež je nezbytné pro udržení tělesné teploty. Kyslík zde slouží jako finální akceptor vodíkových atomů, což vede ke vzniku vody (H_2O). Zároveň dochází k oxidaci uhlíku přítomného v substrátech, kde v reakci s kyslíkem vzniká oxid uhličitý (CO_2), jenž se následně zatím vylučuje z organismu dýcháním. Tento proces je nezbytný nejen pro produkci energie, ale také pro udržení homeostázy tělesných tekutin a správné funkce enzymatických reakcí (Trojan et al., 2003).

Samotné dýchání se dělí na dvě složky. První složka je ventilace, často zvaná vnější dýchání, kdy dochází k výměně plynů mezi atmosférou a alveolárním vzduchem v plicích. Druhou je respirace neboli vnitřní dýchání, při němž dochází k přenosu plynů mezi alveoly a krví, a také mezi krví a tělesnými tkáněmi. Tato výměna se uskutečňuje prostřednictvím difuze, jejíž hnací silou jsou tlakové gradienty plynů. Kyslík je transportován krví do buněk, kde se využívá v mitochondriích k výrobě energie potřebné pro buněčné funkce. Je nutné zajistit efektivní odvod oxidu uhličitého, který, jako

vedlejší produkt, může vést k narušení acidobazické rovnováhy a vážným komplikacím, jako je metabolická acidóza. Organismus disponuje několika regulačními mechanismy, například pufrovacími systémy, ventilací plic a funkcí ledvin, které pomáhají udržet optimální pH krve (Bahenský et al., 2021).

Nedostatek kyslíku, tedy hypoxie, má vážné důsledky, protože buňky bez dostatečného přísunu kyslíku nejsou schopny efektivně produkovat energii, což může vést k jejich dysfunkci a buněčné smrti. Nejcitlivější na hypoxii jsou orgány s vysokou metabolickou aktivitou, jako mozek a srdce. Tyto tkáně reagují na pokles kyslíku velmi rychle, přičemž krátkodobá hypoxie může vést k nevratnému poškození neuronů a srdečního svalu. Vzhledem k těmto skutečnostem hraje dýchání klíčovou roli nejen při udržení životních funkcí, ale i v oblasti fyzické výkonnosti a zdraví organismu. Dlouhodobý nedostatek kyslíku, například při plicních nebo kardiovaskulárních onemocněních, může vést k vážným zdravotním komplikacím, které významně ovlivňují kvalitu života (Mourek, 2005).

2.1.2 Dýchací svaly a jejich role

Mechanismy, které určují objem plic v klidovém stavu, hrají zásadní úlohu i při jeho změnách během dechového cyklu. Procesy, které umožňují změnu objemu plic, jsou úzce spojeny s pohybem hrudníku a změnami intrapleurálního tlaku. Při nádechu dochází k rozšíření hrudního koše, čímž se zvětšuje intrapleurální prostor a intrapleurální tlak se stává negativnějším. Tento pokles tlaku vede k expanzi plic, což umožňuje proudění vzduchu dovnitř dýchacích cest a tím ke zvýšení objemu vzduchu v plicích. Naopak při výdechu se objem hrudníku zmenšuje, intrapleurální tlak se přibližuje atmosférickému tlaku, plicní objem klesá a vzduch je vypuzován ven. Tyto změny objemu plic jsou řízeny dvěma hlavními mechanismy:

- Pohybem bránice – její kontrakce a relaxace zásadně ovlivňují změny objemu hrudníku a tím i dýchání. Při poklesu bránice dochází k zvětšení objemu hrudníku, zatímco její vzestup objem hrudníku naopak snižuje.
- Pohybem žeber – jejich zvedání a klesání ovlivňuje jak předozadní, tak příčný rozměr hrudního koše a tím i plicní objem (Slavíková & Švíglerová, 2024).

Při klidovém dýchání je rozšíření objemu plic primárně zajištěno kontrakcí bránice, která se na tomto procesu podílí přibližně z 60–70 %. V uvolněné poloze má bránice tvar vyklenuté kopule směřující do hrudní dutiny. Během inspiria dochází k její kontrakci a následnému oploštění, což vede ke zvětšení objemu hrudníku v kraniokaudálním směru. Tento pohyb je doprovázen stlačením orgánů břišní dutiny a vyklenující se břišní stěnou. V rámci klidového dýchání dosahuje posun bránice přibližně 1–2 cm, avšak při maximálním nádechu může tento posun činit až 10 cm, což výrazně přispívá k efektivitě dýchání. Druhý mechanismus spočívá v pohybu žeber, jejichž pohyb je iniciován kontrakcí zevních mezižeberních svalů (*musculi intercostales externi*). V klidové poloze směřují žebra mírně dolů a dopředu, přičemž dolní část hrudní kosti (sternum) je orientována směrem k páteři. Jakmile dojde ke kontrakci mezižeberních svalů, žebra se zvedají směrem vzhůru a dopředu, čímž se hrudní kost oddaluje od páteře. Tento pohyb zvětšuje předozadní i příčný rozměr hrudníku a umožňuje efektivní nárůst objemu plic. Při maximálním inspiriu se hrudní kost může oddálit od páteře až o 30–40 %, což významně přispívá k optimálnímu plicnímu ventilování. Kombinace těchto dvou mechanismů umožňuje efektivní dýchání a přizpůsobení dechového vzoru aktuální potřebě organismu. Zatímco při klidovém dýchání převažuje činnost bránice, při zvýšené ventilaci, například při fyzické aktivitě, se do procesu více zapojují mezižeberní svaly a další pomocné dýchací svaly, které zajišťují dostatečný přísun kyslíku a efektivní eliminaci oxidu uhličitého (Slavíková & Švíglerová, 2024).

2.1.3 Dýchací systém při zatížení

Změny v dýchacích funkcích lze zaznamenat již před samotným zahájením fyzické aktivity, a to zejména v kontextu soutěžního prostředí. V těchto případech se projevují předstartovní a startovní stavy, které jsou ovlivněny řadou psychických faktorů. Tyto změny souvisejí se zvýšenou aktivací centrálního nervového systému, přičemž významnou roli hrají emocionální podněty. U jedinců bez pravidelného tréninku mohou být přítomny obavy z neznámých situací a nejistota ohledně jejich zvládnutí. Naproti tomu u sportovců bývá častěji patrné napětí spojené s očekáváním nadcházejícího výkonu či obavy z nesplnění očekávaných výsledků. U zkušenějších sportovců je možné sledovat vliv anticipačních reflexů a paměťových stop, které vznikají na základě opakovaných tréninků a závodních zkušeností. Tyto faktory, ve spojení s emocionálními reakcemi, vedou ke zvýšení ventilačních parametrů a změnám v dechovém vzoru.

Zároveň lze tyto reakce připisat jak vyšší citlivosti centrálního nervového systému, tak i rozvoji podmíněných reflexních mechanismů formovaných dlouhodobým tréninkovým procesem (Bartůňková et al., 2013).

Při zahájení fyzické aktivity lze rozlišit dvě základní fáze. První z nich, tzv. iniciální fáze, je charakterizována rychlými změnami, které probíhají během prvních 30 až 40 sekund. Následuje přechodná fáze, v níž dochází k pomalejším změnám reflektujícím metabolické požadavky aktivních svalových skupin. Mechanika dýchání se v průběhu fyzické aktivity postupně mění. S rostoucí intenzitou zátěže se prodlužuje inspirační fáze, přičemž až do dosažení dechové frekvence přibližně 40 dechů za minutu není aktivní výdech nezbytný. Při ještě vyšší intenzitě však dochází ke zkrácení expirační fáze a zvýšení dechového objemu, což vede k zapojení výdechových svalů, konkrétně mezižeberních a břišních svalů. Aktivace těchto svalových skupin zvyšuje energetické nároky dýchání, přičemž efektivnější strategií je hlubší dýchání při nižší dechové frekvenci (Bartůňková et al., 2013).

Fyzická zátěž ovlivňuje také průchodnost dýchacích cest, což souvisí s aktivací sympatického nervového systému, jenž přispívá ke snížení tonusu hladkého svalstva bronchů. Při dechové frekvenci 40–50 dechů za minutu je dýchání sice usnadněno, avšak může dojít k přetížení alveolární oblasti. V této fázi již není nosní sliznice schopna plně plnit svou filtrační funkci, což může vést ke zvýšené expozici dolních dýchacích cest prachovým částicím a chladnému, suchému vzduchu, což u citlivějších jedinců může vyvolat bronchospasmus a negativně ovlivnit celkový dechový vzor. Dynamické změny v respirační odpovědi na zátěž lze rozdělit na několik fází. Při postupném zvyšování intenzity dochází nejprve k lineárnímu růstu minutové ventilace a produkce oxidu uhličitého. V okamžiku, kdy zátěž dosáhne 60–70 % VO_2max , se tento růst urychluje, zatímco příjem kyslíku již stoupá pomalejším tempem. Tento jev je doprovázen zvýšením ventilačního ekvivalentu pro kyslík, nárůstem hladiny laktátu v krvi a změnou respiračního výměnného poměru, což odpovídá dosažení anaerobního prahu (Bartůňková et al., 2013).

Další typickou ventilační reakcí je odpověď na konstantní zátěž, která probíhá ve čtyřech fázích. První fáze, označovaná jako iniciální, trvá přibližně 45 sekund a je charakterizována rychlým vzestupem ventilačních parametrů. Druhá, přechodná fáze, trvá přibližně 2–3 minuty a její průběh závisí na intenzitě zátěže i trénovanosti jedince.

Dochází v ní k mírnému dalšímu vzestupu ventilačních hodnot. Následuje homeostatická fáze, která se může protáhnout na desítky minut, pokud je tělu dodáván dostatečný přísun kyslíku a probíhají v něm aerobní oxidační procesy. Při vysoké intenzitě zátěže však dochází k narušení této rovnováhy. Poslední fáze, označovaná jako zotavovací, nastává po ukončení fyzické aktivity a je charakterizována postupným poklesem ventilačních parametrů. Návrat k výchozím hodnotám může v závislosti na intenzitě předchozího výkonu trvat i desítky minut (Bahenský et al., 2021).

2.1.4 Ventilace

Ventilace je proces výměny vzduchu mezi vnějším prostředím a plicními alveolami, kde dochází k výměně plynů mezi vzduchem a krví prostřednictvím difuze. Při klidovém dýchání dospělého člověka se každým nádechem dostává přibližně 500 ml vzduchu do plic, což je označováno jako dechový objem (tidal volume, VT). Tento objem vzduchu však není celý využit pro efektivní výměnu plynů. Část vzduchu zůstává v dýchacích cestách, kde se nevyskytují alveoly, jako je tomu například v průdušnici, průduškách a terminálních bronchiolích. Tento objem, přibližně 150 ml, se nazývá anatomický mrtvý prostor (dead space, VD) a neúčastní se výměny plynů, což snižuje účinnost ventilace. Další část vzduchu, která se rovněž neúčastní výměny plynů, může zůstat v alveolech, které nejsou dostatečně prokrveny. To snižuje účinnost plicní perfuze a přenosu plynů. Tento typ mrtvého prostoru se nazývá funkční (fyziologický) mrtvý prostor. Jeho objem může být zvýšen za patologických podmínek, které ovlivňují plicní perfuzi, jako je například plicní embolie. Tento stav způsobuje disproporci mezi ventilací a perfuzí, což může výrazně ovlivnit výměnu plynů v plicích a vést k nedostatečnému okysličení krve. Pro kvantitativní hodnocení ventilace se běžně využívá měření plicních objemů a kapacit, jak v klidových, tak i dynamických podmínkách, pomocí spirometrie. Tradiční spirometry fungovaly na principu vodního válce nebo Bellova spirometru, kde byla zaznamenávána změna objemu vzduchu při výdechu do měřicího prostoru, přičemž nosní průchody byly uzavřeny. Tento postup však omezoval možnost přirozeného dýchání, což ovlivňovalo přesnost měření. Moderní spirometry zaznamenávají vzdušný průtok během různých dechových manévrů, což poskytuje podrobnější a realističtější data. Mezi hlavní výstupy patří spirogram, což je graf zobrazující objem vzduchu v čase, a křivka průtok-objem (flow-volume curve, FVC), která umožňuje současné sledování změn obou parametrů, což je klíčové pro analýzu plicní funkce (Bahenský et al., 2021).

2.1.5 Respirační ukazatele

Statické plicní objemy jsou klíčové pro hodnocení plicní funkce, protože poskytují přehled o objemech vzduchu, které se pohybují v plicích při různých typech dýchání. Mezi základní statické plicní objemy patří:

- *VT (tidal volume)*, což je objem vzduchu, který je vdechován a vydechován při klidném dýchání, přičemž u dospělého jedince tento objem činí přibližně 500 ml. Tento objem je klíčový pro zajištění základní výměny plynů v plicích;
- *IRV (inspirační rezervní objem)*, který označuje maximální objem vzduchu, jenž je možné dodatečně vdechnout po běžném nádechu, a jeho hodnota se pohybuje okolo 2500 ml. IRV je důležitý pro hodnocení kapacity plic v případě hlubšího nádechu;
- *ERV (expirační rezervní objem)*, což je maximální objem vzduchu, který lze vydechnout po normálním výdechu. Tento objem je obvykle kolem 1 500 ml a je důležitý pro posouzení kapacity plic v průběhu maximálního výdechu;
- *RV (reziduální objem)*, což je objem vzduchu, který zůstává v plicích i po maximálním výdechu. Tento plicní objem činí přibližně 1 500 ml a zabraňuje kolapsu plicních sklípků, čímž zajišťuje jejich funkčnost.

Plicní kapacity, které jsou tvořeny kombinací těchto objemů, jsou nezbytné pro podrobnější hodnocení plicní výkonnosti. Mezi základní plicní kapacity patří:

- *VC (vitální kapacita)*, což je maximální objem vzduchu, který lze vydechnout po nejhlubším nádechu. VC zahrnuje součet objemů VT, IRV a ERV a u zdravého dospělého člověka se pohybuje kolem 4 500 ml. Tento parametr poskytuje komplexní přehled o dýchací kapacitě plic;
- *IC (inspirační kapacita)*, což je maximální objem vzduchu, který lze vdechnout po běžném výdechu. IC je součtem objemů VT a IRV a ukazuje maximální vdechovaný objem po klidovém výdechu.

Dynamické plicní objemy, které jsou měřeny při specifických dechových manévrech, zahrnují:

- *VE (minutová ventilace plic)*, což je celkový objem vzduchu, který je vdechován nebo vydechován za jednu minutu. Tento objem se určuje jako součin VT a dechové frekvence a poskytuje důležitý údaj o celkové ventilaci plic během fyzické aktivity;

- *MVV (maximální volní ventilace)*, což je nejvyšší ventilace při maximální frekvenci dechových cyklů, obvykle měřena během krátkého časového úseku. Tento parametr se používá pro hodnocení schopnosti jedince udržet vysokou úroveň ventilace při intenzivní námaze;
- *FEV₁ (jednosekundová vitální kapacita)*, což je objem vzduchu vydechnutý s maximálním úsilím během první sekundy výdechu po hlubokém nádechu. FEV₁ je klíčovým ukazatelem plicní kapacity a zdraví dýchacích cest;
- *Funkční reziduální kapacita (FRC)*, což je objem vzduchu, který zůstává v plicích po klidovém výdechu. FRC je součtem RV a ERV, přičemž tento objem nelze přímo měřit pomocí běžné spirometrie. K jeho stanovení se používají nepřímé metody, jako je pletysmografie nebo diluční metody (Bartůňková et al., 2013).

Spotřeba kyslíku (VO_2) je velmi důležitým ukazatelem aerobní výkonnosti, který vyjadřuje určité množství kyslíku využitého organismem během fyzické a sportovní aktivity. Kyslík v organismu je nezbytný pro správnou funkci buněk a pro procesy spojené s energetickým metabolismem. Pro efektivní transport kyslíku do tkání je klíčová ventilace, schopnost plicních alveol vykonávat výměnu plynů a optimální kapilarizace, která zajišťuje distribuci kyslíku do svalových buněk. Špatná plicní funkce, nízká vitální kapacita nebo poruchy v regulaci dýchání mohou mít negativní dopad na aerobní výkon. Maximální spotřeba kyslíku ($\text{VO}_{2\text{max}}$) je ukazatelem nejvyššího množství kyslíku, které může organismus využít při intenzivním výkonu, a slouží k posouzení vytrvalostní kapacity. $\text{VO}_{2\text{max}}$ dosahuje u zdravých mužů průměrně $3,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a u žen $2,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, přičemž s věkem aerobní výkon postupně klesá. Trénink zaměřený na hypoxii (snížený přísun kyslíku) může zlepšit kapacitu krve pro transport kyslíku, což je výhodné pro vytrvalostní sportovce. Naopak, inhalace koncentrovaného kyslíku může urychlit zotavení po náročné fyzické aktivitě. Kyslíková hyperbarická terapie, která využívá dýchání téměř čistého kyslíku pod zvýšeným tlakem, se používá při léčbě různých stavů, jako jsou otravy oxidem uhelnatým, plicní embolie nebo ischemie. Kyslík se ale může stát toxickým při dlouhodobém vystavení vysokému hydrostatickému tlaku, což může vést k poruchám, jako jsou křeče nebo ztráta vědomí. Dalším důležitým parametrem pro regulaci dýchání je oxid uhličitý (CO_2). I když je jeho koncentrace ve vzduchu velmi nízká, přítomnost CO_2 v těle zásadně ovlivňuje funkci dýchacího centra. Změny v jeho koncentraci mohou vést k poruchám, jako je hyperkapnie (nadbytek CO_2) nebo

hypokapnie (nedostatek CO_2), což může mít vážné zdravotní následky. Zvýšená koncentrace CO_2 může způsobit narkotické účinky, zatímco jeho nízké hodnoty mohou narušit dýchací rytmus a vést k respirační alkalóze.

Respirační kvocient (RQ) je ukazatel metabolických procesů v těle, který vyjadřuje poměr mezi produkcí CO_2 a spotřebou O_2 . Tento poměr se mění v závislosti na substrátech využívaných tělem pro produkci energie, přičemž během krátkodobé zátěže převládají cukry a při dlouhodobější námaze tělo čerpá energii především z tuků. Hodnota RQ vyšší než 1,1 je indikátorem intenzivní zátěže a poskytuje cenné informace o energetickém výdeji (Bartůňková et al., 2013).

Plicní objemy a kapacity jsou ovlivněny řadou faktorů, jako je věk, tělesná výška, pohlaví, hmotnost a povrch těla. Kromě toho mohou hodnoty plicních objemů záviset na poloze těla pacienta během měření. Moderní spirometry jsou schopné měřit většinu základních plicních objemů a kapacit, zatímco k určení objemů jako RV a FRC se používají specializované metody (Rokyta, 2000).

2.2 Dechový vzor

Dechový vzorec je charakterizován specifickou synchronizací trvání nádechu a výdechu spolu s objemy vzduchu a průtoky, které tvoří základní proces ventilace plic. Tento vzorec je základním prvkem, který ovlivňuje nejen samotnou funkci plic, ale i celkový metabolismus organismu (Paleček et al., 1999; Malátová, 2019). Zatímco západní přístupy se tradičně soustředí na nádech jako klíčovou fázi dýchání, v józe je kladen důraz především na výdech, který umožňuje optimální vyprázdnění plic a tím i kvalitní následné naplnění plic vzduchem. Kvalitní výdech tak vytváří předpoklady pro plné využití kapacity plic a zajištění efektivní výměny plynů (Lysebeth, 2017; Malátová, 2019). Tento přístup je v souladu s jógovým principem, který zahrnuje nejen dechové, ale i pohybové komponenty jako vzájemně propojené složky.

Optimální dechový vzor se zakládá na využívání tří základních typů dýchání – břišního, žeberního a podklíčkového. Tímto způsobem dochází k maximálnímu provzdušnění plic, přičemž celé jejich objemové kapacity jsou využívány. Fyziologický dech, který se často popisuje jako dechová vlna, zahrnuje postupný pohyb vzduchu od břišní oblasti, přes střední část hrudníku až k jeho horní části. Dech by měl být plynulý, tichý a rytmický, přičemž nádech i výdech jsou navzájem propojené, probíhají nosem a jsou iniciovány uvolněním bránice. Tento typ dýchání je součástí plného jógového dechu, který podporuje nejen fyziologické, ale i psychické zdraví (Bursová, 2005; Malátová, 2019).

Kvalita dýchání je klíčová pro efektivní metabolismus, protože správná ventilace zajišťuje dostatečné okysličení buněk a zároveň umožňuje odvod metabolických odpadních látek z těla. V současnosti však většina populace dýchá povrchově, což výrazně snižuje účinnost tohoto procesu a má za následek nedostatečnou stimulaci metabolismu (Mahéšvaránanda, 2010). Již Moll a Wright (1972) ve své studii analyzovali expanzi hrudníku a zjistili, že i když jde o důležitý diagnostický parametr, chyběla objektivní data určující normální rozsah tohoto pohybu. V jejich výzkumu s 262 osobami ve věku od 15 do 75 let měřili expanzi hrudníku pomocí centimetrové pásky na úrovni xiphosternální linie. Výsledky ukázaly, že s věkem dochází k poklesu expanze hrudníku o 50–60 %, přičemž muži vykazovali o 13–22 % vyšší hodnoty než ženy. Tento výzkum rovněž potvrzuje negativní vliv některých nemocí, jako je ankylozující spondylitida, chronická plicní onemocnění a obezita, na schopnost expanze hrudníku.

Podobně další výzkumy ukázaly, že měření expanze hrudníku různými metodami, jako je použití krejčovského metru ve čtvrtém mezižebním prostoru (Burgos-Vargas et al., 1993) nebo využití měření na různých úrovních trnových výběžků (Bockenbauer et al., 2007), mohou poskytnout objektivní data o pohybu hrudníku. Tento výzkum ukázal, že měření pomocí textilního metru je účinným způsobem hodnocení pohybu hrudníku v jeho horní a střední části.

Další pokroky v oblasti neinvazivního hodnocení síly dýchacích svalů zahrnují měření maximálních inspiračních a expiračních tlaků (Malátová, 2019). Moderní studie, jako například výzkum Ragnarsdóttir a Kristinsdóttir (2006), ukazují důležitost dechových vzorců pro lidské zdraví. V této studii měřili pohyby horního a dolního hrudníku a břicha u 100 zdravých mužů a žen ve věkovém rozmezí 20–69 let a zjistili, že tyto pohyby jsou symetrické a nemění se významně s věkem. Při klidném dýchání převládalo břišní dýchání, zatímco u hlubokého dýchání byl pohyb břicha u žen menší než u mužů.

Normální dechový vzorec zahrnuje synchronní pohyby hrudníku a břicha během inspirace i expirace. Kaneko a Horie (2012) provedli analýzu dechových pohybů u 100 osob pomocí 3D systému pro pohybovou analýzu a zjistili, že pohyblivost hrudníku se s věkem zmenšuje a ženy vykazují méně výrazné břišní pohyby než muži, zejména při klidovém dýchání vleže. Tato analýza potvrdila spolehlivost metod hodnocení pohybů dýchacích svalů a jejich vliv na ventilaci plic.

V posledních letech si odborníci stále více uvědomují důležitost správného dýchání, zejména v oblasti pohybové terapie a sportu. CliftonSmith (2017) poukazuje na to, že dechová mechanika u sportovců byla až do nedávné doby opomíjena, přičemž se zaměřovala především na ventilaci a přísun kyslíku. Dnes je kladen důraz i na funkci dýchacích svalů a na zlepšení dechových vzorců, které mohou výrazně ovlivnit výkonnost sportovců.

K hodnocení dechových vzorců se používají jak přístrojové metody, tak i vizuální a palpační techniky. Vizuální hodnocení zahrnuje analýzu tvaru hrudníku, jeho symetrie a případných deformací, stejně jako typ dýchání a zapojení hrudníku do dechového pohybu. Palpační vyšetření pak poskytuje cenné informace o stavu měkkých tkání, kostí a kloubních spojení (Neumannová et al., 2018). V neposlední řadě má poloha těla významný vliv na formování dechového vzorce, přičemž různé pozice mohou vyvolat

specifické dechové reakce. Vzpřímená poloha podporuje volný pohyb hrudníku a páteře, zatímco horizontální polohy, jako je ležení na zádech, mohou modifikovat dýchací vzorec a cíleně působit na specifické dechové mechanismy (Malátová, 2019). Podle Koláře et al. (2009) různá nastavení těla a končetin přímo ovlivňují dýchání, což odpovídá biomechanickým principům lidského těla.

2.3 Dechová cvičení

2.3.1 Typy dechových cvičení

Podle Dhanivala et al. (2020) lze dechové techniky rozdělit do několika kategorií, přičemž každá z nich se vyznačuje specifickým účinkem na organismus a odlišnou intenzitou provedení. Pro efektivní provádění dechových cvičení je klíčové zajistit vhodnou tělesnou polohu, která umožní správné držení páteře a optimální prokrvení. Mezi nejvhodnější pozice patří lotosový sed (padmasana), bleskový sed (vajrasana) nebo zkřížený sed, které podporují stabilitu těla a správnou mechaniku dýchání. V případech, kdy účastníci trpí obtížemi v oblasti kyčelních či kolenních kloubů, lze cvičení provádět i vsedě na židli, přičemž důraz je kladen na udržení vzpřímené páteře. Dalším důležitým aspektem je časování cvičení – doporučuje se provádět dechová cvičení alespoň tři hodiny po jídle, aby nedošlo k zatížení trávicího systému. Nejvhodnější doba pro praxi je ráno po probuzení nebo po uplynutí doporučeného časového intervalu po jídle. Zpočátku by měla být každá dechová technika prováděna pět až desetkrát s postupným navyšováním frekvence podle individuální adaptability jedince.

Podle indických jogínských tradic lze dechové techniky klasifikovat na základní kategorie, které se liší nejen svou intenzitou, ale také účinkem na tělo i mysl. Normální (přirozené) dýchání je automatický a neúmyslný proces, při němž nádech bývá delší než výdech. Tento typ dýchání probíhá tiše a bez námahy, přičemž hlavní roli hraje bránice. U zdravých jedinců dochází při nádechu k pohybu hrudníku o přibližně 5 cm, zatímco u osob s respiračními onemocněními může být dýchání povrchové a omezené. Další kategorií je rovnoměrné dýchání, kdy nádech i výdech trvají stejnou dobu. Tato technika optimalizuje plicní výměnu a podporuje efektivní okysličení organismu. Příkladem je Bhastrika, při níž se provádějí rychlé, rovnoměrné nádechy a výdechy nosem. V počátečních fázích se doporučuje frekvence tři doby na nádech a výdech, s možností postupného zvyšování na šest dob a deset opakování. Hrudní dýchání zahrnuje aktivaci mezižeberních svalů a podporuje zvýšení dechového objemu při fyzických aktivitách. Jeho význam roste zejména u sportovců a jedinců vykonávajících intenzivní fyzické aktivity, jako je běh či silový trénink. U osob s omezením dýchacích funkcí, například při chronické obstrukční plicní nemoci nebo poranění krční páteře, dochází ke kompenzačnímu zapojení krčních svalů. Hrudní dýchání lze dále rozdělit na klavikulární dýchání, při němž dochází k aktivaci horní části hrudníku, a kostální dýchání, zaměřené

na střední část hrudníku a mezižeberní svaly. Abdominální (brániční) dýchání využívá bránici jako primární sval při dýchání a umožňuje plné roztažení plic, čímž přispívá k maximálnímu okysličení organismu (Dhanivala et al., 2020).

Kapalabhati je pokročilá technika, která se vyznačuje intenzivními výdechy aktivovanými břišními svaly, přičemž nádech probíhá pasivně. Tato metoda se osvědčila jako účinný nástroj pro podporu plicních funkcí a je často využívána u pacientů zotavujících se z respiračních onemocnění, například po COVID-19. Další významnou technikou je hluboké dýchání, kdy dochází k prodlouženým nádechům a výdechům, což napomáhá relaxaci a celkovému zklidnění nervového systému. Rychlé dýchání zahrnuje krátké, mělké nádechy a je využíváno při technikách jako Anulom Vilom, při kterém se střídají nádechy a výdechy jednou nozdrou, což podporuje okysličení a prokrvení těla (Malhotra et al., 2022).

Mezi další techniky patří Bhramari (dech včely), při níž se při výdechu vytváří vibrační zvuk podobný bzučení, což podporuje koncentraci a zklidnění mysli. Ujjayi dech (Vítězný dech) spočívá v hlubokém nádechu se stažením hrdla při výdechu a často se využívá v Ashtanga a Vinyasa józe. Tri Bandha Pranayama je pokročilá metoda, která zahrnuje aktivní výdech následovaný kontrakcí svalů v oblasti perinea, břicha a krku. Tato metoda vyžaduje dohled odborníka pro správné provedení a minimalizaci možných chyb. Surya Bhedana Pranayama (dýchání pravou nozdrou) podporuje metabolismus a je využívána k aktivaci energetického systému organismu. Naopak Sitali Pranayama, známá jako chladivý dech, spočívá v nádechu ústy se srolovaným jazykem a výdechu nosem. Tato technika má osvěžující účinek a pomáhá snižovat tělesnou teplotu, což je přínosné v horkém klimatu nebo při stresových situacích (Dhanivala et al., 2020).

2.3.2 Moderní dechové techniky

Metoda Buteyka, známá také jako Buteykovo dýchací cvičení, představuje terapeutický přístup, který se zaměřuje na dechová cvičení jako alternativní léčbu pro osoby trpící astmatem a dalšími respiračními onemocněními, zejména těmi, které jsou spojené s hyperventilací. Tato metoda byla vyvinuta ruským lékařem Dr. Konstantinem Pavlovičem Buteykem v padesátých letech 20. století, kdy začal systematizovat cvičení zaměřená na kontrolu dechu. Podle Buteyky je mnoho chronických respiračních problémů, včetně astmatu, vyvoláno nebo zhoršeno chronicky zvýšenou frekvencí dýchání, tedy hyperventilací, která narušuje rovnováhu mezi hladinami kyslíku a oxidu

uhličitého v těle. Hlavní cílem této metody je obnovení přirozeného dechového vzorce, přičemž klademe důraz na kontrolu dýchání, zejména dýchání nosem. Terapie zahrnuje sérii speciálních dechových cvičení, jejichž cílem je nejen snížit rychlost dýchání, ale také zlepšit kapacitu plic a podpořit relaxaci. Cvičení se soustředí na zlepšení kvality nádechu a výdechu, což následně vede k hlubšímu, rovnoměrnému dýchání a zlepšení respiračního vzorce u pacientů. Metoda Buteyka se ukázala jako účinná nejen při snižování symptomů u pacientů s astmatem, chronickou obstrukční plicní nemocí, ale také u osob trpících chronickou hyperventilací. Důležitým přínosem této metody je její schopnost snížit závislost na farmakologických lécích a dlouhodobě zlepšit kvalitu života pacientů, což je vědecky potvrzeno v několika studiích (Singh & Raghavendran, 2021).

Metoda Wim Hofa, známá jako WHM, byla vyvinuta nizozemským atletikem Wim Hofem, který je široce známý svou schopností odolávat extrémním podmínkám, jako jsou extrémně nízké teploty. Wim Hof, přezdívaný „Ledový muž“, překonal více než dvacet světových rekordů v různých extrémních výkonech. Mezi jeho výjimečné výkony patří například stání dvě hodiny v nádobě naplněné ledem, výstup na Kilimanjaro v šortkách, plavání pod ledem na vzdálenost 60 metrů, nebo běh půlmaratonu naboso na sněhu a ledu v arktických podmínkách. Hof tyto úspěchy přisuzuje metodě, kterou sám vyvinul a která je známá pod názvem Wim Hofova metoda (WHM). Tato metoda zahrnuje specifická dechová cvičení, která kombinují periodické fáze hyperventilace, následované záměrným zadržováním dechu při nízkém objemu plic, pravidelnou expozici chladu a trénink psychologické odolnosti. Podle Hofových tvrzení má WHM širokou škálu pozitivních účinků, mezi které patří snížení stresu, zvýšení kreativity, lepší soustředění a duševní jasnost, zlepšení kvality spánku, pozitivní vliv na kardiovaskulární zdraví a zvýšení výkonnosti při fyzické námaze. Mezi specifické výhody WHM patří také zrychlená regenerace po fyzické aktivitě, lepší koncentrace, stabilita duševního zdraví a zlepšení svalové vytrvalosti. Vědecké studie podporují jeho účinnost v několika oblastech, jako je zlepšení imunitní odpovědi, což bylo prokázáno například v práci Hofa z roku 2020, nebo v různých výzkumech zaměřených na kardiovaskulární zdraví a psychologickou stabilitu (Hof, 2020; Citherlet et al., 2021).

2.4 Energetické požadavky vytrvalostního běhu

V počátečních fázích zátěže, především během prvních 20–30 sekund, je energetická potřeba pokryta anaerobními mechanismy. Nejprve se využívá systém ATP, který je následně doplňován anaerobní glykolýzou. Tento proces dosahuje vrcholu přibližně ve 45. sekundě, poté začíná podíl anaerobní glykolýzy klesat. Současně začíná probíhat aerobní zajištění energie, které se stává dominantním mezi 60. a 70. sekundou zátěže. Jakmile zátěž trvá delší dobu, přibližně po 120 sekundách, aerobní metabolismus se stává hlavním zdrojem energie. Tento proces je platný při konstantní intenzitě zátěže. Pokud je však zátěž charakterizována rostoucí intenzitou, například od úrovně prvního ventilačního prahu (VT1) nebo aerobního prahu (AEP), podíl anaerobní glykolýzy na energetickém zajištění se zvyšuje. Po dosažení druhého ventilačního prahu (VT2) nebo anaerobního prahu (ANP) anaerobní glykolýza opět přebírá dominanci. Tento proces lze ovlivnit vhodnou rozcvičovací fází, která připraví organismus na postupně rostoucí zátěž a optimalizuje přechod mezi anaerobními a aerobními mechanismy energetického zajištění (Havlíčková et al., 2006).

Kyslíkový deficit, který je zobrazen na odpovídajícím grafu, představuje rozdíl mezi množstvím kyslíku spotřebovaného během fyzické aktivity a množstvím kyslíku, který by byl spotřebován, pokud by aerobní metabolismus byl schopen pokrýt všechny energetické potřeby od samotného začátku zátěže. Tento deficit tedy ukazuje na nepoměr mezi aktuální potřebou kyslíku a jeho dostupností pro tkáň. Velikost kyslíkového deficitu závisí na intenzitě zátěže, tělesné zdatnosti jedince a jeho věku. Anaerobní energetické zajištění v počátečních fázích zátěže, případně při zátěžích s rostoucí intenzitou, vede k vytvoření kyslíkového deficitu. V případě konstantní zátěže zůstává deficit stabilní, zatímco u zátěží s rostoucí intenzitou se tento deficit zvyšuje a je kompenzován aerobním metabolismem až v zotavovací fázi. Tento proces je označován jako kyslíkový dluh (Excess Post Exercise Oxygen Consumption – EPOC), který může u trénovaných jedinců dosáhnout až hodnoty 15–18 litrů. Během zotavování, kdy je přijatý kyslík nad úroveň klidových hodnot, dochází k obnově energetických zásob (ATP, CP), resaturaci myoglobinu a k přeměně 13–27 % laktátu na glykogen. Kyslík je také využíván pro podporu činnosti dýchacích svalů a pro přesuny iontů Na^+ , K^+ a Ca^{2+} přes buněčné membrány. Další část kyslíku se využívá na regulaci tělesné teploty, konkrétně na odstraňování přebytečného tepla z těla. Obvykle velikost kyslíkového dluhu převyšuje

kyslíkový deficit, zejména při dlouhodobějších zátěžích. Kyslíkový dluh není však vždy přímo úměrný množství vyprodukovaného laktátu, protože při zátěžích s nižší nebo střední intenzitou dochází k odbourávání laktátu už během samotné zátěže. Přibližně dvě třetiny laktátu se uvolňují do krevního oběhu, odkud jsou následně zpracovány játry a srdečním svalem. K tomu, aby bylo odbouráno 50 % laktátu, je zapotřebí přibližně 30 minut, přičemž úplné odbourání může trvat i déle než 60 minut. V průběhu zotavovací fáze pokračují další procesy, které napomáhají regeneraci, a to nejen odbourávání laktátu, ale také zlepšení energetických zásob v organismu. Odbourání přebytečného CO₂ obvykle trvá přibližně 12 minut po ukončení zátěže, přičemž úplné zotavení může trvat více než 45 minut, v závislosti na intenzitě provedené zátěže. Mezi faktory, které ovlivňují zotavení, patří nejen délka a intenzita zátěže, ale i faktory jako poměr respirační výměny, způsob zotavení (aktivní či pasivní) a další adaptační změny, které nastávají v důsledku dlouhodobého tréninku. Pravidelná fyzická aktivita má pozitivní vliv na řadu adaptačních procesů, jako je zlepšení funkcí plic a transportního systému, zvýšení schopnosti využívat kyslík, aktivita aerobních a anaerobních enzymů, koncentrace myoglobinu, kapacity VO₂max, anaerobního prahu a snížení kyslíkového deficitu. Významně se také zlepšují funkce během běžné denní aktivity. Vytrvalostní trénink zvyšuje efektivitu dýchacích svalů, umožňuje lepší pohyblivost bránice, zlepšuje plicní difuzi díky většímu počtu aktivních alveolů a menšímu fyziologickému mrtvému prostoru a snižuje dechovou frekvenci při standardním i maximálním zatížení. U trénovaných jedinců se rovněž zvyšuje maximální dechový objem (3–5 l), vitální kapacita (muži: 5–8 l, ženy: 3,5–4,5 l) a minutová ventilace při standardním zatížení. Trénovaní jedinci mají i vyšší anaerobní práh a lepší spotřebu kyslíku, což vede k lepšímu aerobnímu výkonu (VO₂max) a vyššímu kyslíkovému dluhu (15–18 l), zatímco u netrénovaných jedinců je tento objem mnohem nižší (Havlíčková et al., 2006; Bartůňková et al., 2013; Bahenský et al., 2021).

2.5 Sportovní zátěžová diagnostika

2.5.1 Význam sportovní zátěžové diagnostiky

V oblasti sportovní zátěžové diagnostiky je zásadní mít na paměti definici sportu podle Evropské charty sportu z roku 1992, která vnímá sport jako soubor tělesných aktivit zaměřených nejen na zlepšení fyzické a psychické kondice jednotlivce, ale také na rozvoj sociálních vztahů a dosahování specifických výkonů na různých úrovních. Dřívější pojetí sportu bylo úzce spojeno s organizovanými aktivitami s jasně stanovenými pravidly a pravidelnými soutěžemi, zatímco dnešní široké pojetí zahrnuje také rekreační formy sportu, kde se klade důraz na zajištění zdraví, rovného přístupu pro všechny a dodržování zásad fair play. Tato změna v definici a rozsahu sportu reflektuje širší společenský trend, který přikládá stále větší váhu osobnímu zdraví, pohybu a tělesné aktivitě ve volném čase. Článek 7 uvedené charty pak zdůrazňuje důležitost odborné lékařské péče a aplikace poznatků z oblasti sportovních věd a trénování. To úzce souvisí s funkcí a významem funkční zátěžové diagnostiky, která slouží k hodnocení zdatnosti a výkonnosti jedince a jejíž aplikace je klíčová pro různé skupiny sportovců. Zdatnost jedince lze chápat jako schopnost organismu efektivně se přizpůsobit různým vnějším podnětům, a to jak fyzickým, tak psychickým. Může jít například o adaptaci na změny teplotních podmínek, stresory v psychické rovině, nebo o reakci na zvýšenou fyzickou aktivitu. Fyzická zdatnost, která je nedílnou součástí celkové zdatnosti, je definována jako schopnost vykonávat pohybové úkoly s minimálním projevem únavy, což je zásadní pro dlouhodobé a efektivní zvládnutí každodenní tělesné zátěže (Heller, 2018).

Výkonnost naopak měří konkrétní výsledky v dané sportovní disciplíně, přičemž je ovlivněna jak genetickými faktory, tak intenzitou tréninkového procesu, včetně environmentálních vlivů. Pro hodnocení zdatnosti se běžně využívají laboratorní testy, které umožňují přesné měření hodnot jako je $VO_2\text{max}$ (maximální spotřeba kyslíku). Mezi nejběžnější laboratorní testy patří například testy prováděné na bicyklovém ergometru nebo běžeckém pásu. Terénní testy, jako například Cooperův nebo Légerův test, jsou často používány pro rychlé odhady $VO_2\text{max}$, avšak jejich přesnost je nižší než laboratorní testy. Výběr testu závisí na specifických cílech diagnostiky a požadavcích, přičemž laboratorní testy poskytují detailnější a spolehlivější data. Hodnocení fyzické zdatnosti také zahrnuje analýzu tělesného složení a motorických dovedností, což dává ucelený obraz o zdravotním stavu jedince a jeho riziku vzniku civilizačních onemocnění.

Na druhé straně, výkonnost sportovců je hodnocena pomocí specifických zátěžových testů, které jsou zaměřeny na určité sportovní disciplíny a odpovídají věkovým kategoriím sportovců. Zatímco pro vrcholové sportovce se používají velmi náročné testy, pro mladé sportovce a rekreační sportovce jsou testy jednodušší, zaměřené především na základní fyzické parametry. V tréninkovém procesu dochází k různým adaptacím organismu, a to jak na úrovni fyzické, tak i psychické. Je tedy nezbytné zohlednit individuální genetické predispozice a tréninkovou historii jednotlivých sportovců při hodnocení jejich výkonnosti. Z toho důvodu se velmi často používají referenční normy pro porovnání výsledků mezi sportovci. Maximální aerobní test, případně submaximální testy, je stále považován za „zlatý standard“ pro hodnocení zdatnosti, a to i v případě, kdy maximální zátěž není z různých důvodů doporučována (Heller, 2018).

Pro hodnocení větších skupin sportovců, zejména v terénu, jsou velmi populární motorické testy, které mohou být prováděny bez speciálního vybavení. Tyto testy jsou však méně přesné než laboratorní metody, a proto jsou vnímány spíše jako orientační nástroje. Zohlednění biologického věku jedince je dalším klíčovým faktorem při vyhodnocování výkonnosti. U dětí a mladistvých se často sleduje biologická akcelerace nebo retardace, zatímco u starších sportovců je důležitým cílem sledovat zpomalení poklesu výkonnosti s věkem, což ukazuje, jak pohybová aktivita může zpomalit degenerativní procesy ve stáří. V případě vrcholových sportovců, jejichž výkonnost je často měřena pomocí referenčních hodnot, je zásadní provádět dlouhodobé sledování výkonnosti a porovnávat výsledky s těmi, které dosahují elitní sportovci na mezinárodní úrovni. Tento typ sledování je nezbytný pro detailní analýzu dlouhodobých změn v tréninkovém cyklu a pomáhá určit oblasti, které mohou být vylepšeny. Při interpretaci výsledků musí být vždy zohledněny individuální genetické dispozice, tréninková historie a specifika jednotlivých sportovců. Funkční diagnostika tak poskytuje důležité informace nejen o aktuálním výkonu sportovce, ale i o jeho výkonnostním potenciálu do budoucna, a to včetně detekce slabých míst, na které by se mělo během tréninkového procesu zaměřit (Heller, 2018).

2.5.2 Test VO_2max

Maximální spotřeba kyslíku (VO_2max) je jedním z klíčových ukazatelů fyziologické výkonnosti, a to především ve vytrvalostních sportech, kde hraje zásadní roli v určování aerobní kapacity sportovce. VO_2max je maximální množství kyslíku, které je organismus

schopen přijmout, distribuovat a využít během maximální fyzické námahy. Je měřeno buď laboratorně pomocí spiroergometrického testování, které využívá nepřímou kalorimetrii, nebo prostřednictvím různých terénních testů, které umožňují odhadnout VO_2max v podmínkách mimo laboratorní prostředí. Mezi nejčastěji využívané terénní testy patří Cooperův běžecký test, dvoukilometrový test chůze a Légerův člunkový běh. Tyto testy jsou jednodušší na provedení a mohou být aplikovány na větší skupiny, ale jejich výsledky jsou obecně méně přesné než laboratorní testování (Heller & Vodička, 2018; Bahenský et al., 2021).

V případech, kdy přímé měření VO_2max není možné, se často používají nepřímé diagnostické metody. Tyto modely mohou využívat různé parametry jako tělesné složení, věk, pohlaví, index tělesné hmotnosti (BMI), úroveň fyzické aktivity a profesní charakteristiky jednotlivce, čímž poskytují odhad maximální spotřeby kyslíku na základě těchto faktorů. To je zvláště užitečné v terénních podmínkách nebo pro širokou veřejnost, kde laboratorní testování není vždy dostupné nebo praktické. V laboratorních podmínkách je běžně měřená hodnota VO_2 označována jako $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (vrcholná spotřeba kyslíku), pokud není dosaženo jasného kritéria pro VO_2max . Mezi klíčové ukazatele pro stanovení VO_2max patří přítomnost plató v příjmu kyslíku během zátěžového testu. To znamená, že i když se zátěž zvyšuje, spotřeba kyslíku se již nezvyšuje, což indikuje dosažení maximální kapacity. Dalšími důležitými kritérii jsou hodnoty respiračního výměnného poměru (RER), který by měl na konci testu dosáhnout minimálně 1,10, a koncentrace laktátu po třech minutách zotavení, která by měla být přibližně $8,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ u netrénovaných jedinců a $10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ u trénovaných sportovců. Kromě toho se jako kritérium používá i dosažení maximální predikované hodnoty srdeční frekvence během testu (Heller, 2018).

V běžné populaci jsou nejčastějšími důvody pro přerušení zátěžového testu celková vyčerpanost (dle Borgovy škály na hodnotě 18 a více), výrazy dechových obtíží, svalová únava nebo bolest v dolních končetinách, stenokardické potíže, ischemické změny na EKG, závažné poruchy srdečního rytmu, nadměrná hypertenzní reakce, zhoršená koordinace či porucha vědomí, ortopedické komplikace, technické problémy při měření nebo nedostatečná spolupráce testovaného. U trénovaných sportovců test obvykle končí v okamžiku dosažení „vitamaxima“, což je fáze, kdy je sportovec maximálně vyčerpaný, a hlavními limity jsou svalová únava nebo celkové vyčerpání.

Výsledná hodnota $VO_2\text{max}$ je do značné míry ovlivněna typem ergometru, na kterém je test prováděn. U běžného populace se obvykle měří vyšší hodnoty $VO_2\text{max}$ u testů na běžeckém pásu než na cyklistickém ergometru. Tento rozdíl je způsoben rozdílným zapojením svalových skupin a odlišnou tělesnou polohou během výkonu. Pro sportovce, kteří se specializují na určitou disciplínu, se rozdíly mezi ergometry mohou lišit v závislosti na jejich adaptačních mechanismech. Pro přesné stanovení $VO_2\text{max}$ je tedy nezbytné provádět maximální aerobní zátěž s použitím ergometru odpovídajícího sportovní specializaci testovaného – běžecký pás pro běžce a fotbalisty, cyklistický ergometr pro cyklisty, a specifické ergometry pro plavce, veslaře nebo lyžaře (Bahenský et al., 2021).

Faktory, které mohou ovlivnit hodnotu $VO_2\text{max}$, zahrnují jak vnější podmínky, jako je teplota prostředí, tak vnitřní proměnné, jako únava, motivace, hydratace nebo celková fyzická připravenost jedince. Kromě toho má rozhodující vliv na hodnotu $VO_2\text{max}$ volba testovacího protokolu. Tyto protokoly mohou být strukturovány různými způsoby – spojitě, přerušované, rampové nebo stupňovité – a mohou se lišit délkou jednotlivých fází zátěže. Optimální doba trvání testu je obecně považována za 8–12 minut, přičemž minimální doporučená doba je 6 minut a maximální 15 minut. Testování, které překročí tuto dobu, může vést k nevalidním výsledkům pro některé parametry (Heller, 2018).

$VO_2\text{max}$ se vyjadřuje v absolutních jednotkách ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) nebo relativně vůči tělesné hmotnosti ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), přičemž relativní hodnota umožňuje lepší porovnání mezi jednotlivci. Tento ukazatel je významným parametrem pro hodnocení zdravotního stavu a tělesné zdatnosti. V oblasti vytrvalostních sportů je $VO_2\text{max}$ jedním z nejdůležitějších fyziologických parametrů, přičemž nejvyšší hodnoty tohoto ukazatele dosahují vytrvalostní běžci a běžci na lyžích. Jelikož celková kapacita aerobního metabolismu (maximální aerobní kapacita) nelze přímo měřit, využívají se k jejímu hodnocení nepřímé ukazatele, jako jsou pracovní účinnost, časová konstanta kinetiky spotřeby kyslíku (VO_2) a anaerobní práh. Společně s pohybovou ekonomikou představuje $VO_2\text{max}$ jeden z nejdůležitějších ukazatelů aerobní výkonnosti a je ovlivněn nejen výkonem, ale také efektivitou využití kyslíku svaly. Aktuální hodnota VO_2 je nepřímým indikátorem energetického výdeje, což naznačuje metabolickou náročnost vykonávané činnosti. Důležité je rozlišovat mezi „příjmem“ kyslíku, měřeným v oblasti úst a nosu, a jeho

„spotřebou“, která se vztahuje k metabolickým procesům v tkáních (Bahenský et al., 2021).

2.5.3 Bruce test

Bruceův protokol na běžeckém pásu je jedním z nejrozšířenějších a nejvíce studovaných zátěžových testů, který se etabloval v oblasti klinické kardiologie a sportovní medicíny od poloviny 20. století. Tento test je využíván nejen pro hodnocení kardiovaskulární zátěžové kapacity, ale i pro sledování elektrokardiografických změn během fyzické námahy. Je široce aplikován u dospělých pacientů s kardiovaskulárními problémy, stejně jako u vysoce trénovaných sportovců, kteří se věnují vytrvalostním disciplínám. Díky své univerzálnosti je považován za cenný nástroj v diagnostice a hodnocení fyzické výkonnosti (Shah, 2013).

Test je rozdělen do několika fází, přičemž každá fáze trvá tři minuty a během ní dochází k postupnému zvyšování rychlosti a sklonu běžeckého pásu. Tento progresivní charakter testu umožňuje efektivní monitorování reakce kardiovaskulárního systému na zvyšující se zátěž. S každou fází testu se tělo dostává pod rostoucí stres, což je ideální pro hodnocení tolerance zátěže a schopnosti kardiovaskulárního systému zvládat fyzickou námahu. Bruceův protokol je zvláště užitečný pro osoby s různými úrovněmi zátěžové kapacity, od pacientů s nižší fyzickou kondicí až po elitní sportovce. Tato široká použitelnost je jedním z důvodů, proč je test tak oblíbený v klinické praxi a sportovním prostředí. Test poskytuje cenné informace o kardiovaskulární zdraví a pomáhá identifikovat možné arytmie, změny v srdeční frekvenci a jiné kardiologické indikátory. To je klíčové pro včasnou diagnostiku a prevenci kardiovaskulárních onemocnění. Bruceův protokol také slouží jako spolehlivý nástroj pro sledování zlepšení fyzické kondice u sportovců, protože umožňuje efektivní porovnání výsledků v průběhu času. Test tedy nejen odhaluje možná rizika spojená s kardiovaskulárními problémy, ale také slouží jako cenný ukazatel výkonnosti u sportovců (Shah, 2013; Gunning et al., 1978).

Obrázek 1

Stupně běžecého pásu při Bruce testu

Stupeň	Rychlost [km/h]	Sklon
1	2,74	10%
2	4,02	12%
3	5,47	14%
4	6,76	16%
5	8,05	18%
6	8,85	20%
7	9,65	22%

(Badawy & Muaidi, 2019)

2.5.4 Optoelektronická pletysmografie

Optoelektronická pletysmografie (OEP) je neinvazivní technika, která se široce využívá k monitorování pohybů hrudní stěny a odhadu plicních objemů. Tato metoda se zakládá na využití optických senzorů, které detekují pohyby hrudníku během dýchání, což umožňuje získat vysoce přesné údaje o respiraci a mechanice dýchání. Díky své neinvazivnosti je OEP obzvláště vhodná pro sledování pacientů, u nichž by invazivní metody byly obtížně proveditelné nebo potenciálně nebezpečné, například u dětí, starších osob nebo pacientů s respiračními problémy. Tato technika se prokázala jako efektivní v širokém spektru aplikací, jak v klinické praxi, tak i ve výzkumu. Byla úspěšně aplikována nejen u zdravých jedinců, ale také u pacientů trpících chronickými respiračními onemocněními, jako je chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN), a u pacientů s neuromuskulárními poruchami. V těchto případech je OEP užitečná při hodnocení síly dýchacích svalů a sledování dýchacích vzorců. Kromě toho byla metoda použita při pooperační rehabilitaci plicních funkcí, kde se využívá k monitorování zlepšení plicních funkcí a posílení svalového příspěvku během rehabilitačních cvičení. Výhody OEP zahrnují její vysokou přesnost, opakovatelnost měření a snadnou aplikaci v klinických podmínkách. Dále je cenově dostupná, což ji činí přitažlivou volbou pro pravidelný monitoring mechaniky dýchání. OEP umožňuje detailní analýzu pohybů

hrudní stěny a plicních objemů, což přispívá k lepší diagnostice respiračních poruch a optimalizaci terapeutických přístupů. Nicméně, jako každá metoda, i OEP má své omezení. Výsledky mohou být ovlivněny faktory, jako je správné umístění senzorů, tělesná hmotnost pacienta nebo individuální variabilita, což může mít vliv na přesnost měření. Navíc, přestože je metoda neinvazivní, nemusí vždy poskytovat komplexní obraz plicních objemů ve všech dynamických fázích dýchání, které lze získat pomocí jiných metod, jako je spirometrie nebo body pletysmografie. Vzhledem k těmto vlastnostem je OEP cenným nástrojem pro hodnocení dýchací mechaniky, zejména v kontextu klinických studií a rehabilitačních programů. I přes některé limity je její potenciál v diagnostice a terapii pacientů s respiračními problémy značný a je pravděpodobné, že v budoucnu bude hrát klíčovou roli při zlepšování terapeutických přístupů pro pacienty s různými respiračními onemocněními (Massaroni et al., 2017).

3 Cíl, úkoly a hypotézy

3.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je analyzovat změny dechového vzoru u skupiny běžců na střední a dlouhé tratě ve věku 15 až 25 let, a to před a po osmitýdenní intervenci zaměřené na jógová dechová cvičení. Práce se soustředí na vybrané dechové parametry, které mají sloužit k posouzení účinnosti tohoto intervenčního programu. Důraz je kladen na zhodnocení potenciálního přínosu této metody pro optimalizaci dechového stereotypu u vytrvalostních sportovců, což by mohlo vést k lepší výkonnosti a efektivnější respirační mechanice při dlouhodobých zátěžích.

3.2 Úkoly práce

- Stanovení teoretických východisek na základě obsahové analýzy odborné literatury a zdrojů a jejich využití při tvorbě teoretické části diplomové práce;
- vytvoření designu práce;
- výběr vhodného souboru probandů splňujících stanovená kritéria;
- realizace vstupního měření v laboratoři u všech účastníků práce;
- zahájení osmitýdenního intervenčního programu, který bude probíhat v domácím prostředí;
- pravidelné monitorování a kontrola správnosti provádění každodenních dechových cvičení po celou dobu intervence, přičemž cvičení odpovídá metodice používané při laboratorních měřeních;
- realizace společného tréninku každé pondělí s možností korekce případných chyb při provádění dechových cvičení;
- dokončení intervenčního programu a následné provedení výstupního měření za stejných podmínek jako v úvodní fázi práce;
- zpracování a statistická analýza naměřených dat s cílem vyhodnotit efektivitu intervence;
- interpretace získaných výsledků a formulace diskuze a závěrů, včetně jejich zasazení do kontextu existujících vědeckých poznatků.

3.3 Hypotézy

Hypotéza 1: Předpokládáme, že po absolvování dechové intervence dojde u všech probandů ke statisticky významnému snížení dechové frekvence v klidovém stavu i při zátěži.

Hypotéza 2: Předpokládáme, že po absolvování intervence dojde u všech probandů ke statisticky významnému zvýšení usilovného výdechu vitální kapacity plic.

Hypotéza 3: Předpokládáme, že po dokončení dechové intervence dojde u všech probandů k významnému zvýšení hodnoty dechového objemu.

Hypotéza 4: Předpokládáme, že absolvování dechové intervence povede ke zvýšené aktivaci bráničního dýchání, což se projeví prohloubením dechu v oblasti břišního sektoru.

Hypotéza 5: Předpokládáme, že po absolvování dechové intervence dojde u všech probandů ke statisticky významnému zvýšení saturace svalu.

Hypotéza 6: Předpokládáme, že po absolvování dechové intervence dojde u všech probandů ke zvýšení hodnoty $VO_2\text{max}$.

Hypotéza 7: Předpokládáme, že po absolvování dechové intervence u všech probandů dojde k prodloužení maximální doby testu.

Výzkumná otázka: Jak se bude měnit poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů v závislosti na rostoucí intenzitě zátěže?

4 Metodika

4.1 Charakteristika souboru

Tato diplomová práce má experimentální charakter, nicméně při laboratorním měření nebyla zahrnuta kontrolní skupina, což je významný aspekt při hodnocení efektivity intervence. Výběr probandů byl podmíněn jejich ochotou absolvovat dvě laboratorní testování a zároveň se během osmi týdnů pravidelně věnovat dechovému tréninku v domácím prostředí. Tento tréninkový program byl sestaven na základě dechových cvičení inspirovaných jógovou metodikou dle Malátové (2019), která se zaměřuje na prohloubení dýchání a většího zapojení břišního sektoru dýchání a zvýšení plicní kapacity. Před zahájením měření byli všichni účastníci důkladně seznámeni s podmínkami práce, přičemž byli informováni o anonymitě jejich výsledků, které budou použity výhradně pro výzkumné účely. Byly rovněž stanoveny podmínky, že účastníci nemohou mít žádné respirační onemocnění během intervenčního období ani v průběhu čtyř týdnů před jeho zahájením, aby výsledky nebyly ovlivněny zdravotními problémy. Pro tuto práci byla vybrána skupina běžců z atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice, kteří splňovali všechna kritéria pro zařazení do výzkumu. Do práce se zapojilo 17 běžců ve věku $17 \pm 2,3$ let, s průměrnou tělesnou hmotností $62,9 \pm 8,1$ kg a výškou $174,7 \pm 9,0$ cm. Výzkumný soubor zahrnoval 7 mužů a 10 žen, což umožnilo získat dostatečně široké spektrum dat pro analýzu.

4.2 Design experimentu

Tato práce byla realizována v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky v Českých Budějovicích. Každý z 17 probandů absolvoval dvě spiroergometrická vyšetření na běžecském pásu – vstupní test před intervencí a výstupní test po jejím ukončení, přičemž mezi jednotlivými měřeními uplynulo osm týdnů. Současně bylo u všech probandů sledováno zapojení jednotlivých dechových sektorů pomocí optoelektronického pletysmografu. Běžecský test byl prováděn formou standardizovaného Bruceova protokolu, který probandi absolvovali až do dosažení maximálního výkonu.

Aby byla zajištěna co nejvyšší spolehlivost výsledků, bylo nezbytné, aby všichni účastníci podstoupili měření za obdobných podmínek. Proto byla laboratorní testování organizována vždy ve stejnou denní dobu a byl kladen důraz na udržení stabilní teploty prostředí. Rovněž bylo doporučeno, aby probandi den před testováním nepodstupovali intenzivní fyzickou zátěž, případně aby zcela vynechali trénink. Tato opatření byla snadno realizovatelná díky dlouhodobé spolupráci laboratoře s trenérem a atletickým oddílem probandů. Dále bylo doporučeno, aby před samotným testováním probandi nekonzumovali těžká jídla a jejich strava byla přibližně stejná před oběma měřeními.

Samotný proces testování začínal registrací osobních údajů každého probanda do elektronického systému, kde bylo evidováno jméno, příjmení a datum narození. V případě, že probandi již v minulosti laboratoř navštívili, bylo možné je dohledat v databázi. Výška těla byla stanovena pomocí výškoměru BSM370. Každý proband se před měřením svlékl do spodního prádla, narovnal se a laboratorní asistent následně zaznamenal hodnotu do systému.

Dalším krokem bylo měření tělesného složení pomocí bioimpedančního přístroje InBody 770. Probandi museli být opět pouze ve spodním prádle a nesměli mít na sobě žádná elektronická zařízení, jako například chytré hodinky. Po vstupu na přístroj se vyčkalo na přesné stanovení tělesné hmotnosti, načež přístroj poskytl zvukové pokyny k umístění chodidel na měřicí elektrody. Následně probandi uchopili madla přístroje, přičemž bylo důležité, aby ruce zůstaly mírně od těla a nedotýkaly se trupu. Po dokončení měření byly získané hodnoty automaticky přeneseny do elektronického protokolu.

Po absolvování antropometrických měření si probandi mohli obléct ponožky a sportovní oblečení. Následně byl na pravý stehenní sval umístěn návlek, do kterého byl

vložen senzor pro měření svalové saturace. Tento senzor však v tuto fázi nebyl aktivní, aby nedošlo k nechtěné manipulaci. Poté se probandi mohli obout a případně si upravit osobní hygienu (např. vysmrkat se) před samotným zátěžovým testem.

Dalším krokem bylo umístění reflexních markerů na tělo každého probanda za účelem analýzy dechového stereotypu pomocí optoelektronického pletysmografu. Pro zajištění konzistence měření byli probandi před prvním testováním vyfotografováni na svůj vlastní mobilní telefon, aby při druhém měření bylo možné markery umístit na stejná místa.

Nejprve probandi absolvovali klidové měření dechového stereotypu, během něhož stáli po dobu jedné minuty na běžeckém pásu bez pohybu a mluvení. Asistent následně provedl měření pomocí kamerového systému a uložil data do elektronické databáze. Poté byl probandovi nasazena spiroergometrická maska a připojení další potřebné měřicí přístroje, včetně senzoru Moxy (v návleku na stehenním svalu) a monitoru srdeční frekvence Polar, který byl upevněn na pravé paži v oblasti bicepsu a tricepsu. Po zajištění bezpečnostního pásu na bedrech probanda mohl být zahájen samotný Bruceův test.

Bruceův protokol se skládá z postupně se zvyšujících úrovní zátěže, přičemž každá fáze trvá tři minuty. Po každé třetí minutě se zvyšovala rychlost i sklon běžeckého pásu (viz Obrázek č. 1). Během poslední minuty každé fáze bylo prováděno měření dechového stereotypu pomocí kamerového systému. Asistenti v pravidelných intervalech odpočítávali čas do začátku měření a následně aktivovali nahrávací zařízení.

Probandi pokračovali v testu až do dosažení svého maximálního výkonu. Po ukončení testu bylo nutné, aby se ihned chytili zábradlí běžeckého pásu a vyskočili nohama do stran, čímž test ukončili. Bezprostředně poté první asistent vypnul běžecký pás, senzor Moxy a monitor srdeční frekvence Polar. Druhý asistent spustil stopky pro jednu minutu zotavení, po které probandi absolvovali další klidové měření dechového stereotypu. Následně bylo provedeno subjektivní hodnocení náročnosti testu pomocí Borgovy škály, avšak tyto výsledky nebyly zahrnuty do této práce.

Po dokončení testování byly probandům odstraněny všechny připojené senzory a odlepeny reflexní markery.

Po laboratorním testování byli probandi seznámeni s dechovými cvičeními, která měli po dobu následujících osmi týdnů pravidelně praktikovat v domácím prostředí.

Každé pondělí na závěr atletického tréninku probíhalo společné cvičení pod dohledem výzkumného týmu, během něhož byla kontrolována správná technika provedení a případné chyby byly korigovány.

4.2.1 Použitá dechová intervence

Dechová cvičení vycházela z metodiky paní Malátové (2019) a byla prováděna výhradně nosem, přičemž nádech i výdech probíhaly oběma nosními dírkami. Cvičenci byli vedeni k tomu, aby každý cvik prováděli jemně, bez jakéhokoli nadměrného úsilí, a vždy pouze do momentu, kdy cítili pohodlí. Pokud by se během cvičení objevily jakékoli nepříjemné pocity, doporučovalo se snížit intenzitu nebo počet opakování daného cviku. Každý cvik byl prováděn v rozmezí od 3 do 6 opakování, přičemž kladen důraz na individuální přístup a respektování fyzických limitů každého cvičence.

Hlavní pozornost byla věnována vědomému vnímání pohybu dechu v synchronizaci s pohybem těla. Cvičenci sledovali nejen pohyb trupu, ale také osy těla, zahrnující hlavu, páteř a pánev, a aktivně se zaměřovali na zapojení bránice, břišních svalů, zadních svalů a pánevního dna. Dechová cvičení měla rytmický charakter, přičemž začínala poměrem nádechu a výdechu 1:1, což znamenalo, že nádech a výdech trvaly stejně dlouho. Tento poměr byl postupně prodlužován na nádech trvajícím dvakrát déle než výdech a výdech trvajícím dvakrát déle než nádech, a následně na nádech trvajícím čtyřikrát déle než výdech a výdech čtyřikrát déle než nádech. Nakonec byl poměr nastaven tak, že nádech trval osmkrát déle než výdech a výdech osmkrát déle než nádech, čímž se zvyšovala náročnost a efektivita dechové kapacity.

Cvičení byla prováděna v různých pozicích, které podporovaly optimální využití dechové kapacity a efektivitu dýchání. Vzhledem k náročnosti některých cviků byla součástí programu pravidelná relaxace, která pomáhala tělu i mysli uvolnit se a regenerovat. Relaxace byla realizována například pomocí džátí, což je specifická technika, která pomáhá uvolnit psychické i fyzické napětí jemnými pohyby, třesením nebo poklepáváním končetin a kloubů. Závěrečná část cvičení probíhala v šava-ásaně, známé také jako pozice mrtvoly, kde cvičenci nechali účinky předchozích cvičení v těle „doznít“. Během této fáze docházelo k vědomému uvolnění napětí v těle i mysli. Výchozí pozice pro všechny cviky byla nastavena tak, aby bylo tělo vyvážené a správně postavené, s uvolněnými lopatkami, rameny, pánví a hlavou, což umožnilo dosažení maximálního efektu cvičení.

4.2.2 Použité testovací přístroje

Stadiometr BSM370 je automatický přístroj určený k přesnému a spolehlivému měření tělesné výšky. Je vybaven ergonomicky navrženou dotykovou lištou a citlivým měřicím senzorem, které zajišťují vysokou přesnost a opakovatelnost výsledků. Přístroj je automaticky propojen se systémem InBody, což umožňuje okamžitý a efektivní přenos naměřených dat do analýzy tělesného složení, čímž se zjednodušuje proces sběru informací pro další hodnocení. BSM370 je schválen jako váhové měřidlo pro přesné testování a nachází široké uplatnění v lékařské praxi, výzkumu, ale i sportovní diagnostice, kde je ceněn pro svou spolehlivost a vysokou úroveň technologie (inbody, 2025).

Obrázek 2
Stadiometr BSM370

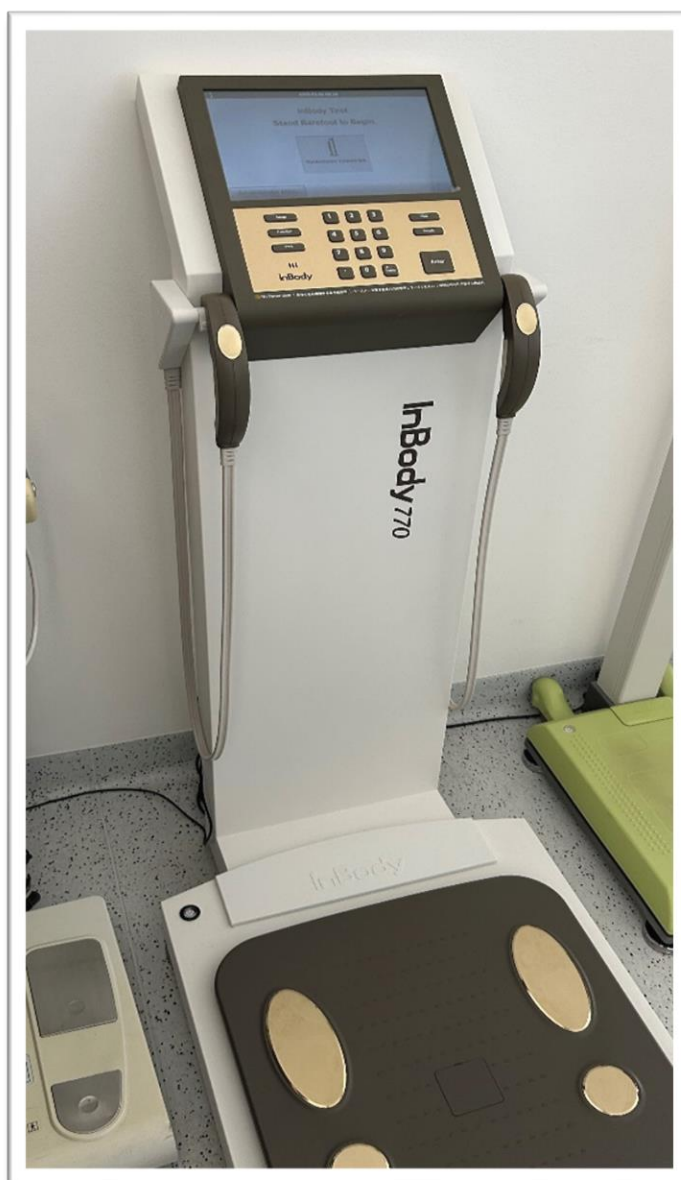


(zdroj vlastní, 2025)

InBody 770 je profesionální analyzátor složení těla, který využívá technologii bioelektrické impedance (BIA) pro měření různých tělesných parametrů. Poskytuje přesná a podrobná data o tělesném tuku, svalové hmotě, bazálním metabolismu a rovnováze tělesné vody, včetně podrobného poměru intracelulární a extracelulární vody. Výsledky měření zahrnují segmentální analýzu svalové hmoty, viscerální tuk,

fázový úhel a další klíčové ukazatele, které jsou zásadní pro zdravotní diagnostiku, výzkumné účely a sledování pokroku v tělesné kondici. Díky pokročilé technologii přístroj měří bez použití empirických odhadů, což výrazně zvyšuje přesnost a spolehlivost výsledků. Měření je rychlé, neinvazivní a obvykle trvá méně než jednu minutu, což činí celý proces pohodlným a efektivním. Tento přístroj se široce využívá ve zdravotnictví, sportovní diagnostice a vědeckém výzkumu, kde slouží k monitorování změn v tělesném složení a hodnotění efektivity tréninkových nebo terapeutických programů (inbodyusa, 2025).

Obrázek 3
InBody 770



(zdroj vlastní, 2025)

Polar Verity Sense je optický snímač tepové frekvence, který poskytuje uživatelům vysokou flexibilitu při monitorování tréninkového výkonu a umožňuje volný pohyb během cvičení. Díky podpoře technologií Bluetooth je možné zařízení propojit se sportovními hodinkami, mobilní aplikací nebo jinými kompatibilními zařízeními, což umožňuje sledování výkonu v reálném čase, případně ukládání dat do interní paměti pro pozdější analýzu. Snímač je navržen tak, aby jej bylo možné používat samostatně, nebo v kombinaci s chytrými zařízeními, fitness vybavením či trenažéry, což zajišťuje jeho široké využití v různých sportovních a tréninkových podmínkách. Díky možnosti současného připojení k dvěma zařízením přes Bluetooth a podpoře přenosu ANT+ je zajištěna široká kompatibilita s různými zařízeními a aplikacemi, což činí Polar Verity Sense velmi univerzálním a užitečným nástrojem pro detailní sledování výkonu a zlepšování fyzické kondice (polar-eshop, 2025).

Obrázek 4

Polar Verity Sense



(zdroj vlastní, 2025)

Moxy Monitor je přístroj určený k měření úrovně okysličení aktivního svalu, což poskytuje cenné informace o jeho metabolické aktivitě a efektivitě využívání kyslíku. Tento kompaktní a lehký přístroj využívá metodu infračervené spektroskopie, která

umožňuje neinvazivní sledování koncentrace hemoglobinu přenášejícího kyslík v kapilárním řečišti svalové tkáně. Díky své schopnosti poskytovat okamžité a přesné údaje je Moxy často používán ve výzkumu sportovního výkonu a fyziologie zátěže (oxylabs, 2025).

Obrázek 5
Moxy Monitor



(zdroj vlastní, 2025)

Maska anatomicky tvarovaná silikonová maska je navržena tak, aby dokonale padla a zajistila maximální komfort i těsnost. V její konstrukci je zahrnuta flexibilní lamela, která se přizpůsobí tvaru obličeje a pevně jej obepne, čímž je dosaženo vynikajícího těsnění a zajištění ochrany při měření. Tento typ masky je oblíbený pro svou vysokou kvalitu provedení a spolehlivost, což ji činí ideální pro různé vědecké a klinické aplikace (compek, 2025).

Obrázek 6
Maska



(zdroj vlastní, 2025)

SMART-DX je vysoce sofistikovaný systém pro analýzu lidského pohybu, který využívá digitální kamery k velmi přesnému záznamu biomechanických dat. Tento systém je kompatibilní s různými zařízeními určenými pro hodnocení pohybu, jako jsou silové desky, povrchová elektromyografie a inerciální senzory, což zajišťuje komplexní a detailní analýzu. Kamery v systému jsou bezdrátově propojené, což umožňuje synchronizovaný sběr dat a zajišťuje vysokou flexibilitu při měření v různých prostředích. SMART-DX dokáže zachytit pohyby s neuvěřitelnou přesností, která dosahuje hodnot pod 0,1 mm, což je zásadní pro přesnou analýzu v klinických, sportovních a výzkumných aplikacích. Tento systém se tak stává nezbytným nástrojem pro profesionály v oblasti pohybové analýzy, kteří požadují extrémní přesnost a vysokou kvalitu dat (btsbioengineering, 2025).

Obrázek 7
SMART-DX



(zdroj vlastní, 2025)

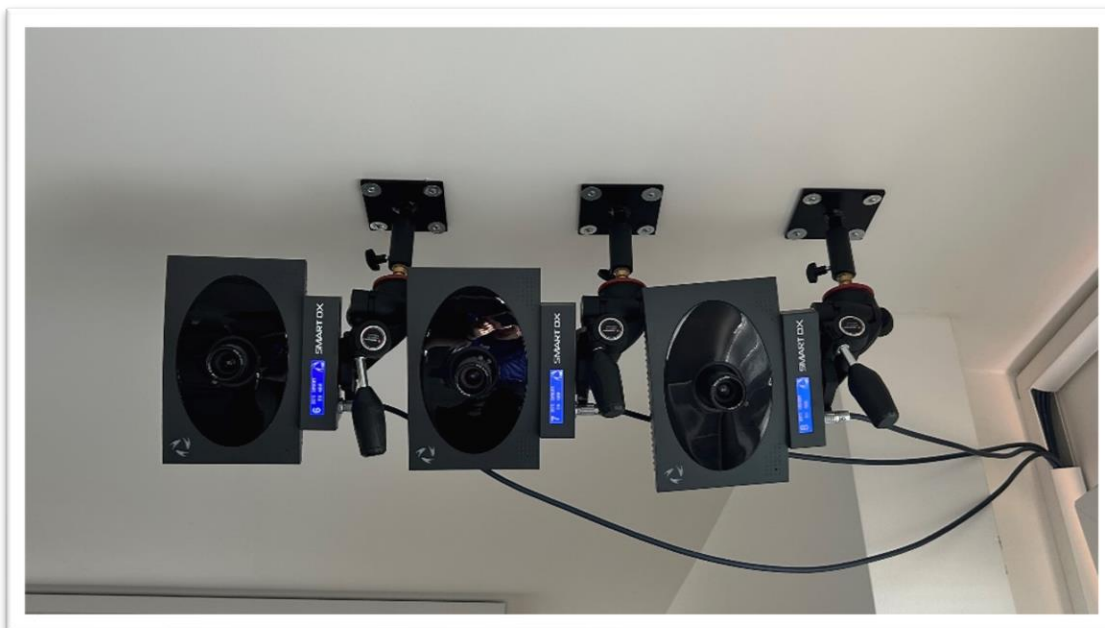
Obrázek 8
SMART DX kamery vpředu



(zdroj vlastní, 2025)

Obrázek 9

SMART DX kamery vzadu



(zdroj vlastní, 2025)

Běhací pás Valiant CPET je vysoce moderní zařízení, které bylo navrženo s cílem poskytovat přesné výsledky při kardio-pulmonálních zátěžových testech. Díky schopnosti plynule zrychlovat od nulové rychlosti a jemně nastavitelné rychlosti v rozmezí od 0,5 do 20 km/h (s krokováním po 0,1 km/h) je tento pás ideální pro použití v ambulancích, kde je prováděna diagnostika a rehabilitace pacientů. Jeho flexibilní nastavení a vysoká přesnost umožňují široké využití pro testy, které sledují kardiovaskulární a plicní funkce během fyzické zátěže. Tento pás je tak klíčovým nástrojem pro odborníky v oblasti zdravotní diagnostiky, kteří potřebují spolehlivý a přizpůsobivý přístroj pro hodnocení zdravotního stavu pacientů (compek, 2025).

Obrázek 10
Běhací pás Valiant CPET



(zdroj vlastní, 2025)

MetaLyzer 3B je kompaktní systém určený pro kardiopulmonální zátěžové testy, ideální pro sportovní ordinace, tréninková centra a nemocnice. Tento přístroj umožňuje komplexní vyšetření plic, srdce a metabolismu jak v klidu, tak při zátěži. Lze jej propojit se zátěžovými EKG přístroji a rozšířit o další doplňky. S pomocí vyhodnocovacího softwaru MetaSoft® Studio lze měřit až 100 kardiopulmonálních parametrů, což ho činí ideálním pro diagnostiku i hodnocení výkonnosti sportovců (compek, 2025).

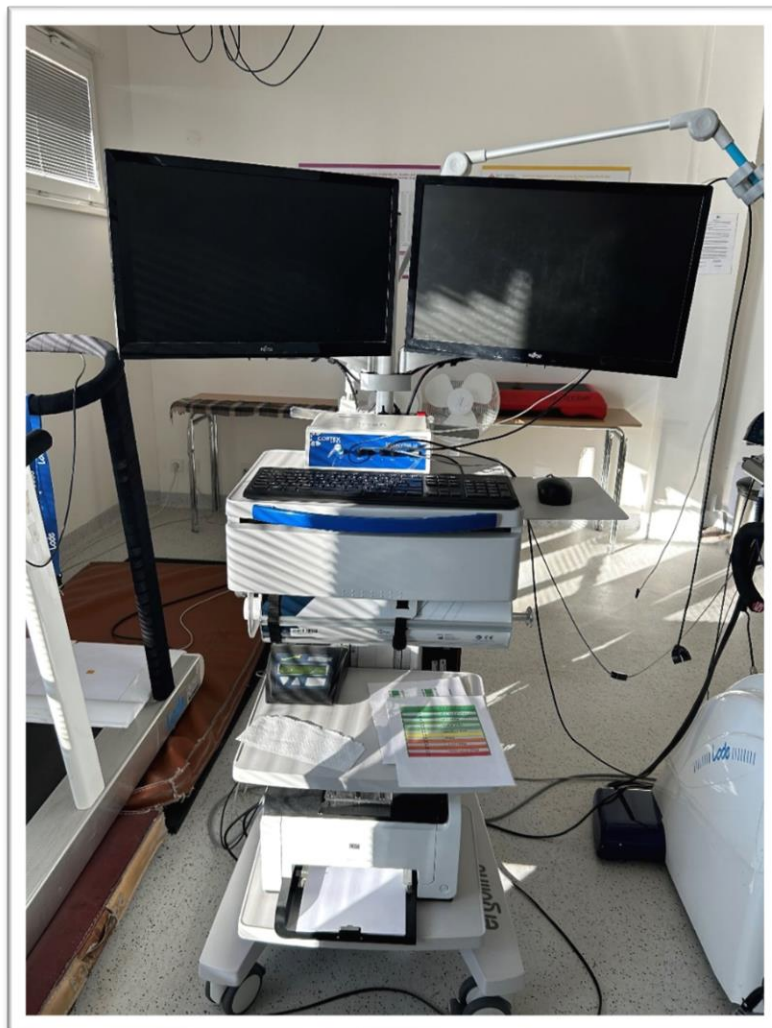
Obrázek 11
MetaLyzer 3B



(zdroj vlastní, 2025)

MetaControl 3000 je vysoce pokročilý spiroergometrický systém navržený pro zajištění maximální kompatibility a spolehlivosti při provádění kardiopulmonálních zátěžových testů. Tento systém zahrnuje analyzátor dechových plynů Cortex MetaLyzer, 12-svodový elektrokardiograf a další zařízení, která jsou připojena k výkonnému počítači, čímž poskytují komplexní diagnostické nástroje pro lékaře a specialisty. Systém je vybaven intuitivním ovládáním a přehledným softwarem, což výrazně zjednodušuje jeho použití. Všechny komponenty systému jsou integrovány do přenosného přístrojového vozíku, který obsahuje dva monitory pro zobrazení spirometrických parametrů, ergometrických dat a EKG křivky. Díky těmto vlastnostem je MetaControl 3000 ideálním řešením pro provádění důkladných testů v různých klinických a výzkumných prostředích (compek, 2025).

Obrázek 12
MetaControl 3000



(zdroj vlastní, 2025)

4.2.3 Programy použité při měření

Všechny naměřené údaje testovaných byly převedeny do formátu vhodného pro statistické zpracování získaných dat. K měření v laboratoři byly použity programy Cortex MetaSoft Studio, BTS SMARTtracker, OEPanalyzer a OEPcapture. Výsledky byly následně zobrazeny v grafech a tabulkách, které byly zpracovány v programu Excel 2025. Prezentace naměřených hodnot probíhala formou sloupcových a koláčových grafů. Textová část práce byla připravena v textovém editoru Word 2025.

4.3 Statistické zpracování

Obsahová analýza

Obsahová analýza je metoda, která se používá k systematickému a detailnímu zkoumání textů a identifikaci důležitých informací, vzorců, témat a souvislostí. V této práci jsme ji využili k analýze relevantních materiálů, abychom lépe porozuměli souvisejícím tématům a podpořili naše závěry, čímž jsme zajistili vyšší kvalitu a přesnost výzkumu. Pomocí této metody jsme zpracovali texty tak, aby byly srozumitelné, přehledné a strukturované, což nám umožnilo efektivně prezentovat klíčové poznatky a informace v rámci celého výzkumu.

Metoda měření

V naší funkční zátěžové laboratoři na Katedře tělesné výchovy a sportu v Českých Budějovicích jsme použili různé přístroje a zařízení pro měření fyziologických parametrů. Mezi tyto přístroje patřil například stadiometr BSM370, analyzátor InBody 770, senzor Polar Verity Sense, monitor Moxy, maska, systém SMART-DX, běhací pás Valiant CPET, MetaLyzer 3B a MetaControl 3000. Pro všechny účastníky byl proveden klasický Bruceův test, z jehož protokolů jsme následně vybrali specifické hodnoty pro naši analýzu a zkoumání.

Komparativní metoda

V naší práci jsme použili komparativní metodu k porovnání výsledků probandů. Tato metoda nám umožnila analyzovat jak jednotlivé parametry, tak i parametry v celku. Porovnávali jsme jak výsledky jednotlivých účastníků, tak i výsledky všech účastníků dohromady. Tímto způsobem jsme získali komplexní pohled na vlivy různých faktorů a jejich vliv na výkony účastníků, což nám pomohlo podpořit naše výzkumné závěry.

Statistická a věcná významnost

V naší práci byla v části výsledků použita statistická významnost k ověření, zda získané výsledky nejsou náhodné. Statistická významnost byla ověřena Wilcoxonovým testem, přičemž p -hodnota pod 0,05 byla považována za signifikantní. K posouzení praktické užitečnosti výsledků v reálných podmínkách jsme aplikovali věcnou významnost. Podle Cohenova d jsme definovali následující intervaly věcné významnosti:

- vysoký efekt – 0,8 a více;
- střední efekt – 0,5 až 0,8;
- nízký efekt – 0,2 až 0,5.

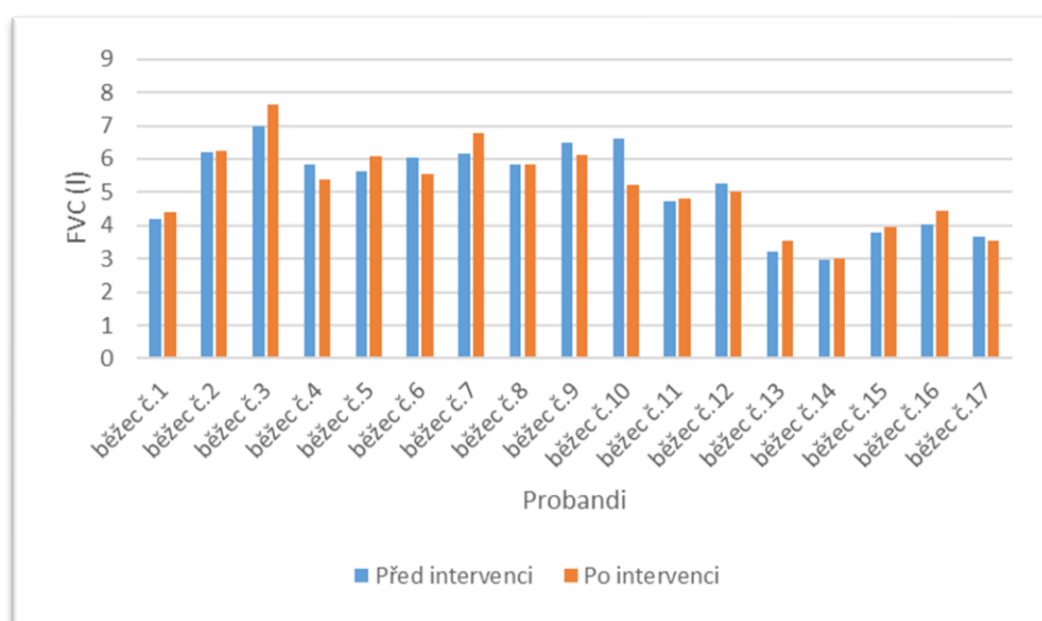
5 Výsledky

5.1 Usilovný výdech vitální kapacity plic (FVC)

Obrázek č. 13 znázorňuje výsledky usilovného výdechu vitální kapacity plic a srovnání hodnot FVC u probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. U 11 účastníků práce došlo po intervenci ke zvýšení této hodnoty, zatímco u 6 probandů nebyl zaznamenán žádný pozitivní efekt. Nejvýraznější nárůst FVC byl pozorován u běžce č. 3, u něhož se hodnota zvýšila z 6,99 l před intervencí na 7,65 l po jejím absolvování. Naopak největší pokles byl zaznamenán u běžce č. 10, u kterého hodnota FVC klesla z původních 6,61 l na 5,21 l po intervenci, což představovalo rozdíl 1,4 l. Nejnížší absolutní hodnota FVC byla naměřena u běžce č. 6, jenž v úvodním měření dosáhl hodnoty 2,96 l. Nejvyšší naměřená hodnota FVC po intervenci byla zjištěna u běžce č. 3, a to 7,65 l. Celkové výsledky usilovného výdechu vitální kapacity plic u sledovaných běžců neprokázaly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d=0,001$) významný efekt intervence. Při výpočtu průměrných hodnot FVC u všech běžců před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení bylo zjištěno, že průměrná hodnota usilovného výdechu vitální kapacity plic klesla pouze nepatrně z $5,2 \pm 1,2$ l na $5,1 \pm 1,2$ l, což naznačuje minimální změnu.

Obrázek 13

Porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic před zahájením a po ukončení dechové intervence



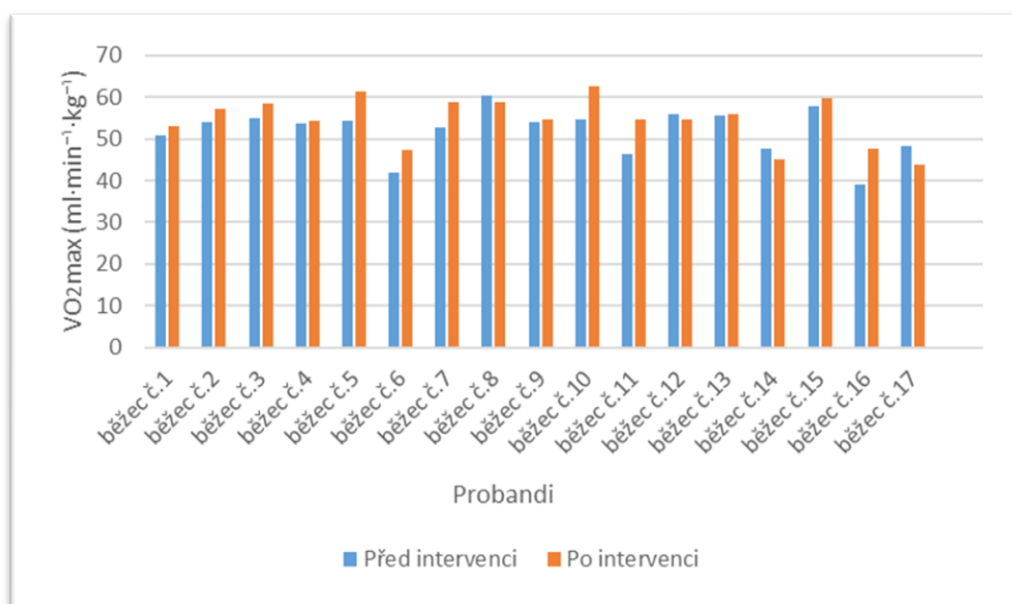
Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota usilovného výdechu vitální kapacity plic.

5.2 Maximální spotřeba kyslíku VO₂max

Obrázek č. 14 znázorňuje výsledky maximální spotřeby kyslíku a porovnání hodnot VO₂max u jednotlivých probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. U 13 z celkových 17 běžců bylo po intervenci zaznamenáno zvýšení hodnoty VO₂max, zatímco u zbývajících čtyř účastníků ke zlepšení této hodnoty nedošlo. Nejvýraznější nárůst VO₂max byl pozorován u běžce č. 16, u kterého se hodnota zvýšila z 39,1 ml·min⁻¹·kg⁻¹ před intervencí na 47,7 ml·min⁻¹·kg⁻¹ po jejím absolvování, což představuje rozdíl 8,6 ml·min⁻¹·kg⁻¹. Naopak největší pokles hodnoty VO₂max byl zaznamenán u probanda č. 17, u nějž došlo k redukci z 48,2 ml·min⁻¹·kg⁻¹ před intervencí na 43,8 ml·min⁻¹·kg⁻¹ po jejím dokončení, tedy o 4,4 ml·min⁻¹·kg⁻¹. Nejvyšší absolutní hodnota VO₂max v rámci druhého testu byla naměřena u běžce č. 10, který dosáhl hodnoty 62,7 ml·min⁻¹·kg⁻¹. Naopak nejnižší hodnota před absolvováním intervence byla zaznamenána u běžce č. 16, a to 39,1 ml·min⁻¹·kg⁻¹. Při analýze průměrných hodnot VO₂max všech probandů bylo zjištěno, že po intervenci došlo k nárůstu z 51,9 ± 5,4 ml·min⁻¹·kg⁻¹ na 54,6 ± 5,4 ml·min⁻¹·kg⁻¹, což potvrzuje pozitivní trend zlepšení. Tento nárůst potvrzuje efekt intervence na zlepšení aerobní kapacity. Ačkoli výsledky neprokázaly věcnou významnost efektu intervence na hodnotu VO₂max u celé skupiny ($d = -0,05$), změna VO₂max po intervenci byla statisticky významná ($p \leq 0,05$).

Obrázek 14

Porovnání hodnot maximální spotřeby kyslíku před zahájením a po ukončení dechové intervence



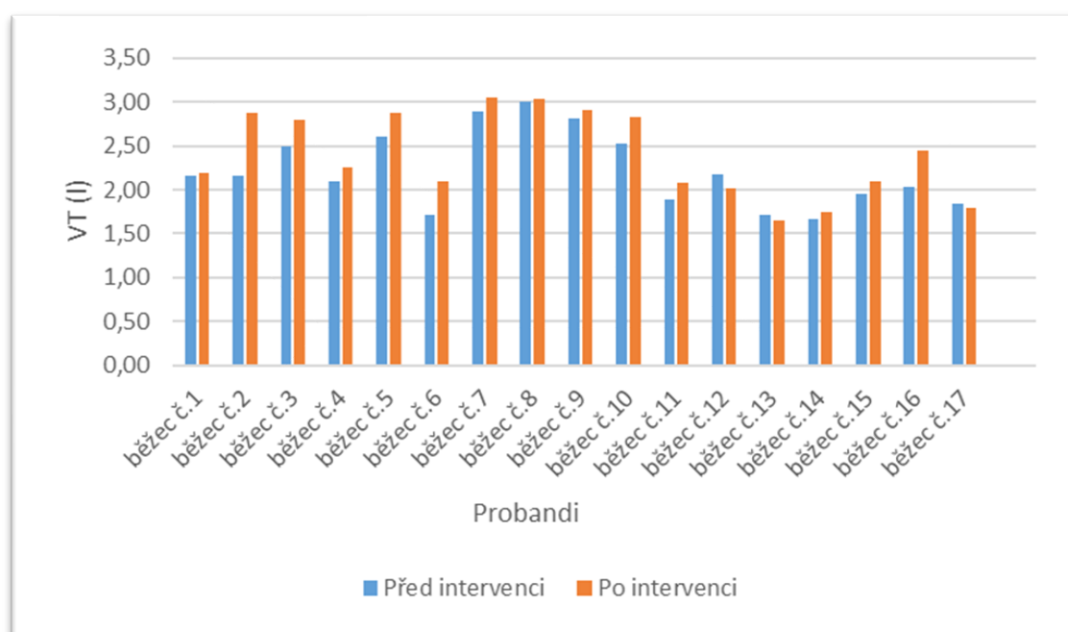
Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota maximální spotřeby kyslíku.

5.3 Dechový objem

Obrázek č. 15 znázorňuje výsledky dechového objemu a porovnání hodnot VT u jednotlivých probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. U 14 z celkových 17 běžců bylo po intervenci zaznamenáno zvýšení hodnoty VT, zatímco u zbývajících tří účastníků ke zlepšení této hodnoty nedošlo. Nejvýraznější nárůst dechového objemu byl pozorován u běžce č. 2, u kterého se hodnota zvýšila z 2,16 l před intervencí na 2,87 l po jejím absolvování, což představuje rozdíl 0,71 l. Naopak největší pokles hodnoty dechového objemu byl zaznamenán u probanda č. 12, u něž došlo k redukci z 2,18 l před intervencí na 2,02 l po jejím dokončení, tedy o 0,16 l. Nejvyšší absolutní hodnota dechového objemu v rámci druhého testu byla naměřena u běžce č. 7, který dosáhl hodnoty 3,05 l. Naopak nejnižší hodnota po absolvování intervence byla zaznamenána u běžce č. 13, a to 1,65 l. Při analýze průměrných hodnot dechového objemu všech probandů bylo zjištěno, že po intervenci došlo k nárůstu z $2,2 \pm 0,4$ l na $2,4 \pm 0,5$ l. Tento pozitivní trend naznačuje, že intervence mohla přispět k mírnému zlepšení dechového objemu u většiny účastníků. Celkové výsledky dechového objemu u sledovaných běžců neprokázaly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d = -0,3$) významný efekt intervence.

Obrázek 15

Porovnání hodnot dechového objemu před zahájením a po ukončení dechové intervence



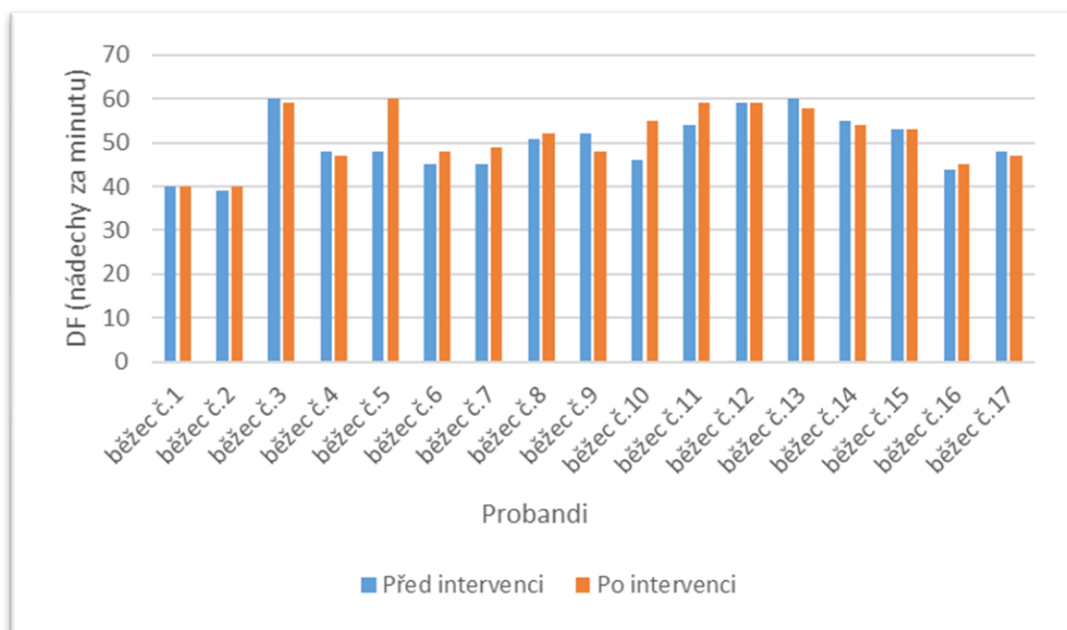
Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota dechového objemu v litrech.

5.4 Dechová frekvence

Obrázek č. 16 prezentuje výsledky dechové frekvence a srovnání jejích hodnot u jednotlivých probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. Zvýšení dechové frekvence po intervenci bylo zaznamenáno u 8 z celkových 17 běžců, zatímco u šesti probandů došlo k jejímu snížení. U zbývajících tří účastníků práce zůstala hodnota dechové frekvence po absolvování intervence beze změny. Nejvýraznější nárůst dechové frekvence byl pozorován u běžce č. 5, u kterého došlo ke zvýšení z 48 nádechů za minutu před intervencí na 60 nádechů za minutu po jejím absolvování, což představuje rozdíl 12 nádechů za minutu. Naopak největší pokles byl zaznamenán u probanda č. 9, u něhož dechová frekvence klesla z 52 na 48 nádechů za minutu, tedy o čtyři nádechy za minutu. Nejvyšší absolutní hodnota dechové frekvence byla naměřena u běžců č. 3 a č. 13 během prvního testování a u běžce č. 5 při druhém měření, kdy všichni dosáhli hodnoty 60 nádechů za minutu. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u běžce č. 12 při prvním měření, kdy činila 39 nádechů za minutu. Analýza průměrných hodnot dechové frekvence všech probandů ukázala, že po intervenci došlo k nárůstu z $49,8 \pm 6,3$ nádechů za minutu na $51,4 \pm 6,3$ nádechů za minutu. Tento mírný nárůst naznačuje, že intervence měla na dechovou frekvenci u některých běžců určité účinky. Celkové výsledky dechové frekvence u sledovaných běžců však neprokázaly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d = -0,2$) významný efekt intervence.

Obrázek 16

Porovnání hodnot dechové frekvence před zahájením a po ukončení dechové intervence



Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota dechové frekvence.

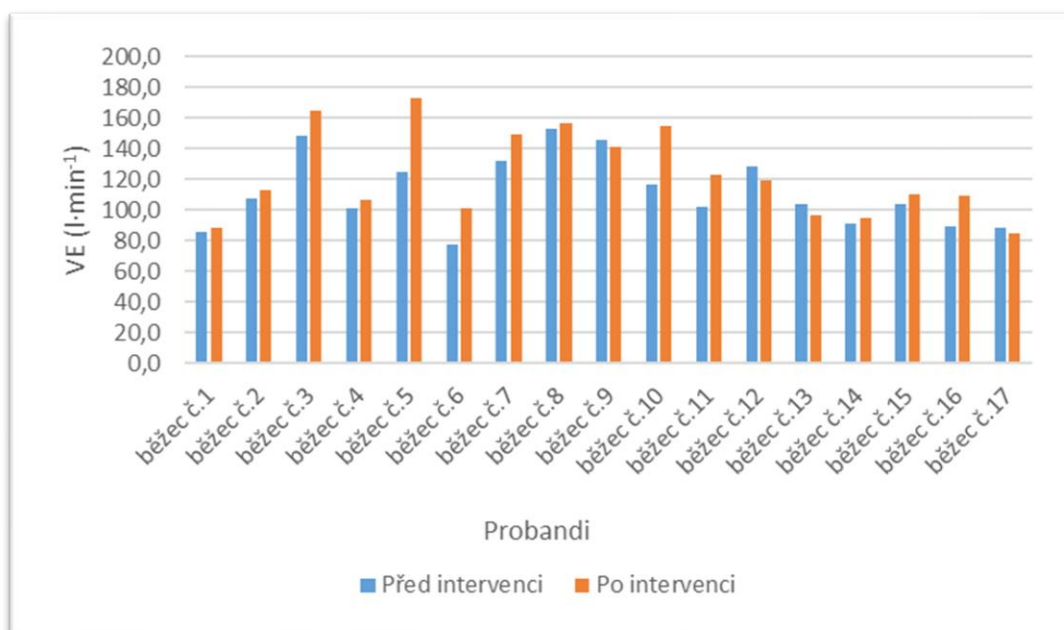
5.5 Minutová ventilace

Obrázek č. 17 znázorňuje výsledky minutové ventilace a porovnání hodnot VE u jednotlivých probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. U 13 z celkových 17 běžců bylo po intervenci zaznamenáno zvýšení hodnoty VE, zatímco u zbývajících čtyř účastníků ke zlepšení této hodnoty nedošlo. Nejvýraznější nárůst minutové ventilace byl pozorován u běžce č. 5, u kterého se hodnota zvýšila z $124,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ před intervencí na $173,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ po jejím absolvování, což představuje rozdíl $48,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Naopak největší pokles hodnoty minutové ventilace byl zaznamenán u probanda č. 12, u nějž došlo k redukci z $128,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ před intervencí na $118,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ po jejím dokončení, tedy o $9,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$.

Nejvyšší absolutní hodnota minutové ventilace v rámci druhého testu byla naměřena u běžce č. 5, který dosáhl hodnoty $173,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u běžce č. 6 před intervencí, a to $77,7 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Při analýze průměrných hodnot minutové ventilace všech probandů bylo zjištěno, že po intervenci došlo k nárůstu z $111,6 \pm 22,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ na $122,7 \pm 27,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Celkové výsledky minutové ventilace u sledovaných běžců neprokázaly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d = -0,4$) významný efekt. intervence.

Obrázek 17

Porovnání hodnot minutové ventilace před zahájením a po ukončení dechové intervence



Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota minutové ventilace.

5.6 Maximální délka zátěžového testu

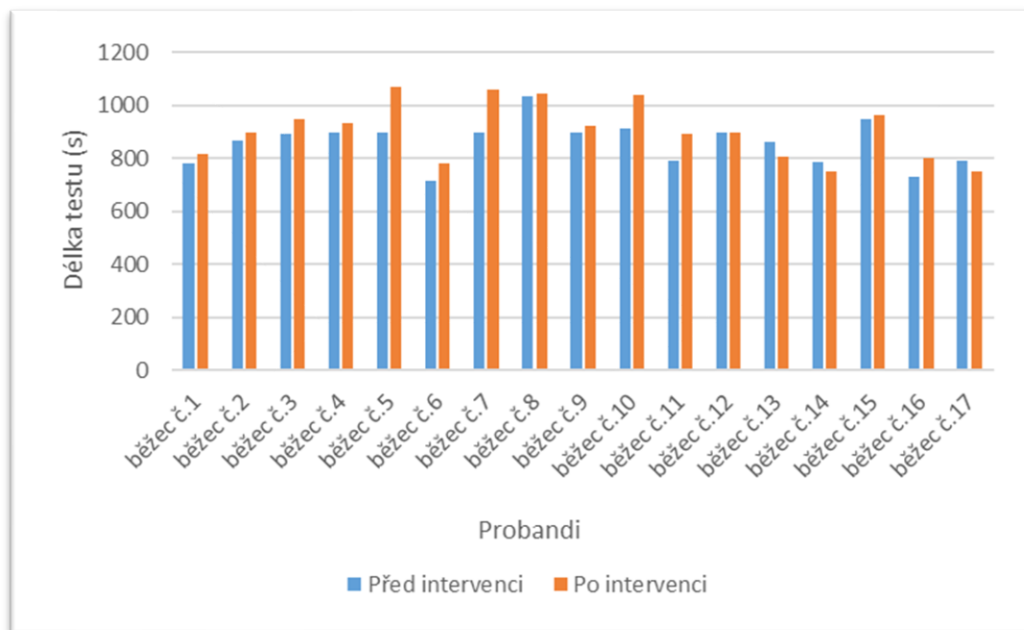
Obrázek č. 18 znázorňuje výsledky délky zátěžového testu a srovnání jeho trvání u jednotlivých účastníků před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. U 14 z celkových 17 běžců bylo po intervenci zaznamenáno prodloužení délky testu, zatímco u tří probandů k prodloužení nedošlo.

Nejvýraznější nárůst délky testu byl zaznamenán u běžce č. 5, u něhož se doba testu prodloužila z 897 sekund před intervencí na 1 069 sekund po jejím absolvování, což představuje rozdíl 172 sekund. Naopak největší pokles délky trvání testu byl pozorován u běžce č. 13, kde došlo ke snížení z 859 sekund na 807 sekund, tedy o 52 sekund. Nejdelší doba trvání testu po intervenci byla naměřena u běžce č. 5, který dosáhl hodnoty 1 069 sekund. Naproti tomu nejkratší doba testu byla před intervencí zaznamenána u běžce č. 6, a to 715 sekund.

Při analýze průměrných hodnot všech probandů bylo zjištěno, že po intervenci došlo k nárůstu průměrné délky testu z $857,5 \pm 79,5$ sekund na $903,7 \pm 104,3$ sekund. Tento rozdíl byl statisticky významný ($p \leq 0,05$). Věcná významnost nebyla prokázána ($d = -0,05$).

Obrázek 18

Porovnání hodnot délky testu před zahájením a po ukončení dechové intervence



Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – doba trvání zátěžového testu.

5.7 Saturace kyslíku ve svalu

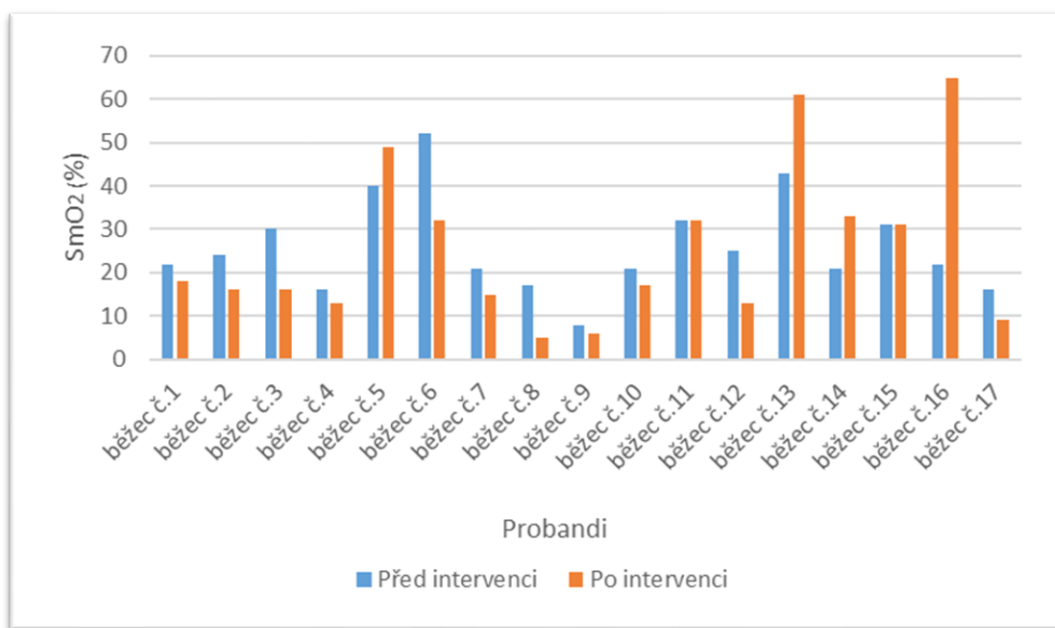
Obrázek č. 19 znázorňuje výsledky saturace kyslíku ve svalu a srovnání hodnot SmO_2 u jednotlivých probandů před zahájením intervenčního programu a po jeho dokončení. Hodnoty saturace kyslíku použité v této práci byly získány z měření provedených na konci testu, kdy probandi dokončovali zátěžový test.

U 11 z celkových 17 běžců bylo po intervenci zaznamenáno snížení hodnoty SmO_2 , zatímco u čtyř probandů došlo ke zvýšení této hodnoty. U dvou účastníků intervence nevedla k žádné změně saturace kyslíku ve svalu. Nejvýraznější nárůst hodnoty SmO_2 byl pozorován u běžce č. 16, u něhož se saturace zvýšila z 22 % před intervencí na 65 % po jejím dokončení, což představuje rozdíl 43 %. Naopak největší pokles saturace kyslíku ve svalu byl zaznamenán u probanda č. 6, kde došlo k poklesu z 52 % na 32 %, tedy o 20 %. Nejvyšší absolutní hodnota saturace kyslíku ve svalu v rámci druhého měření byla naměřena u běžce č. 13, který dosáhl hodnoty 61 %. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u běžce č. 8 po absolvování intervence, kdy činila 5 %.

Analýza průměrných hodnot saturace kyslíku ve svalu u všech probandů ukázala, že po intervenci došlo k mírnému snížení z $25,9 \pm 10,7$ % na $25,4 \pm 17,7$ %. Celkové výsledky saturace kyslíku ve svalu u sledovaných běžců však neprokázaly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d = -0,05$) významný efekt intervence.

Obrázek 19

Porovnání hodnot svalů kyslíkem před zahájením a po ukončení dechové intervence



Osa x – čísla běžců a termín testování; osa y – hodnota saturace kyslíku ve svalu.

5.8 Zapojení dechových sektorů

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů v klidu před zátěží

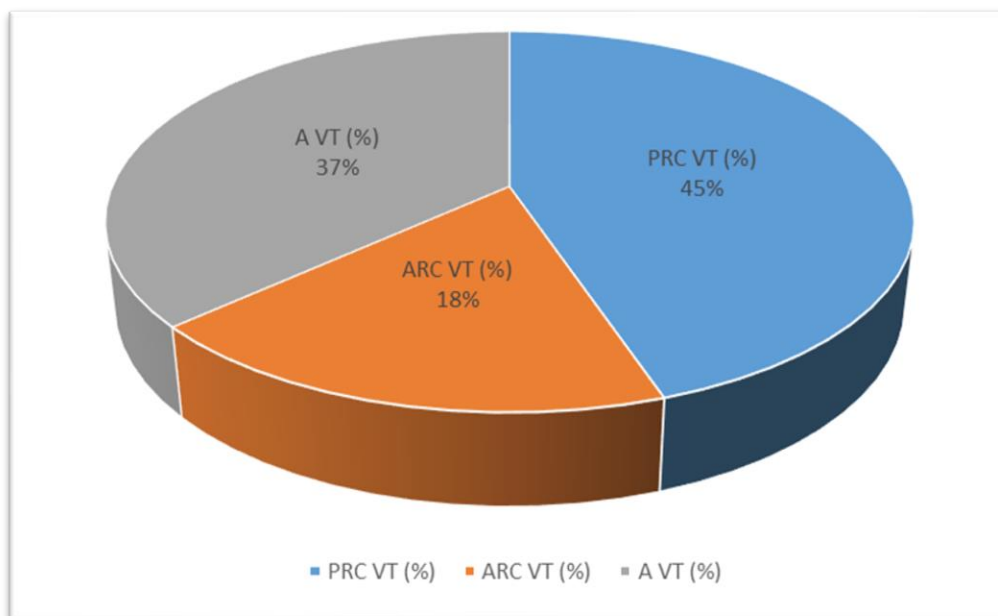
Následující obrázky č. 20 a č. 21 znázorňují výsledky srovnání zapojení jednotlivých dechových sektorů u všech účastníků práce před zahájením zátěžového testu, před dechovou intervencí, a po jejím absolvování. Z dostupných údajů vyplývá, že poměrné zastoupení jednotlivých sektorů dýchání před a po intervenci zůstalo téměř beze změny. Nejvíce využívaným sektorem bylo podklíčkové, jehož podíl činil 45 % před intervencí a mírně vzrostl na 46 % po jejím absolvování. Druhým nejvíce aktivním sektorem bylo břicho, kde došlo k minimálnímu poklesu z 37 % na 36 %. Hrudní sektor si zachoval konstantní podíl 18 % před i po intervenci.

Při individuální analýze dat byl nejvýraznější nárůst zapojení podklíčkového sektoru po intervenci zaznamenán u běžce č. 3, kde se hodnota zvýšila o 14 %. Naopak největší pokles v této oblasti byl pozorován u běžce č. 16, kde došlo ke snížení o 8 %. V případě břišního dýchání se nejvýznamnější zvýšení projevilo u běžce č. 16, a to o 11 %, zatímco běžec č. 15 zaznamenal největší pokles o 10 %. U hrudního sektoru bylo nejvýraznější zvýšení pozorováno u běžce č. 8, kde hodnota vzrostla o 5 %, zatímco největší pokles byl evidován u běžce č. 7, kde došlo k redukci o 7 %.

Celkové výsledky naznačují, že i přes individuální rozdíly mezi jednotlivými účastníky zůstalo celkové rozložení dechových sektorů před a po intervenci relativně stabilní.

Obrázek 20

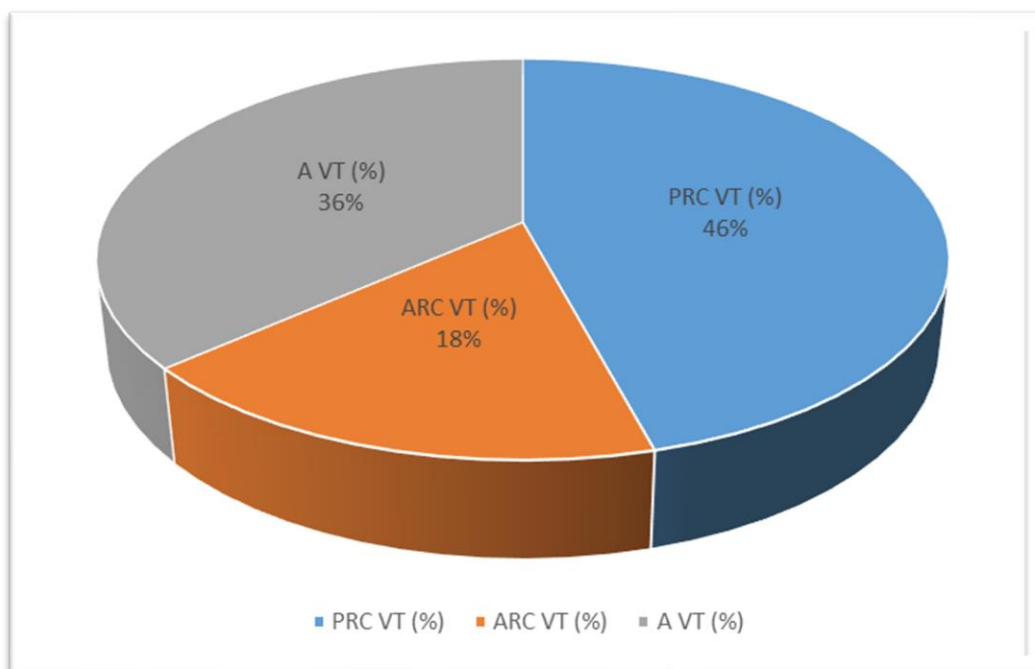
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem v klidu před zátěží



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru.

Obrázek 21

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem v klidu po zátěži



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (3. minuta zátěže)

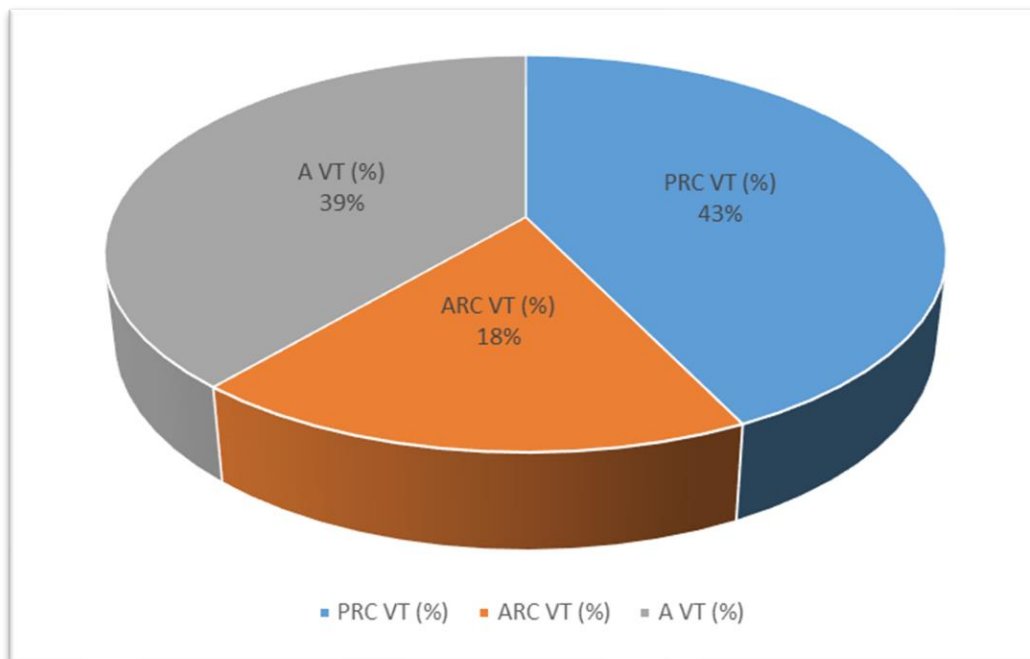
Obrázky č. 22 a č. 23 prezentují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů ve třetí minutě zátěžového testu, a to jak před absolvováním dechové intervence, tak po jejím ukončení. Z naměřených dat vyplývá, že celkové zastoupení jednotlivých dechových sektorů zůstalo před i po intervenci téměř neměnné.

Nejdominantnějším sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl před intervencí činil 43 % a po jejím absolvování mírně vzrostl na 44 %. Druhým nejvíce zapojeným sektorem bylo břišní dýchání, kde poměr zůstal konstantní na úrovni 39 %. Hrudní dýchání zaznamenalo mírný pokles z 18 % na 17 %.

Detailní individuální analýza odhalila nejvýraznější nárůst zapojení podklíčkového dýchání u běžce č. 8, kde došlo ke zvýšení o 4 %. Naopak největší úbytek v této oblasti byl zaznamenán u běžce č. 2, kde se hodnota snížila rovněž o 4 %. V případě břišního dýchání byl největší nárůst pozorován opět u běžce č. 8, a to o 4 %, zatímco běžec č. 2 vykázal nejvýraznější pokles ve stejné hodnotě. U hrudního dýchání byl nejvýznamnější nárůst zaznamenán u běžce č. 2, kde se podíl zvýšil o 6,5 %, zatímco nejvýraznější pokles byl evidován u běžce č. 15, kde došlo ke snížení o 12 %.

Obrázek 22

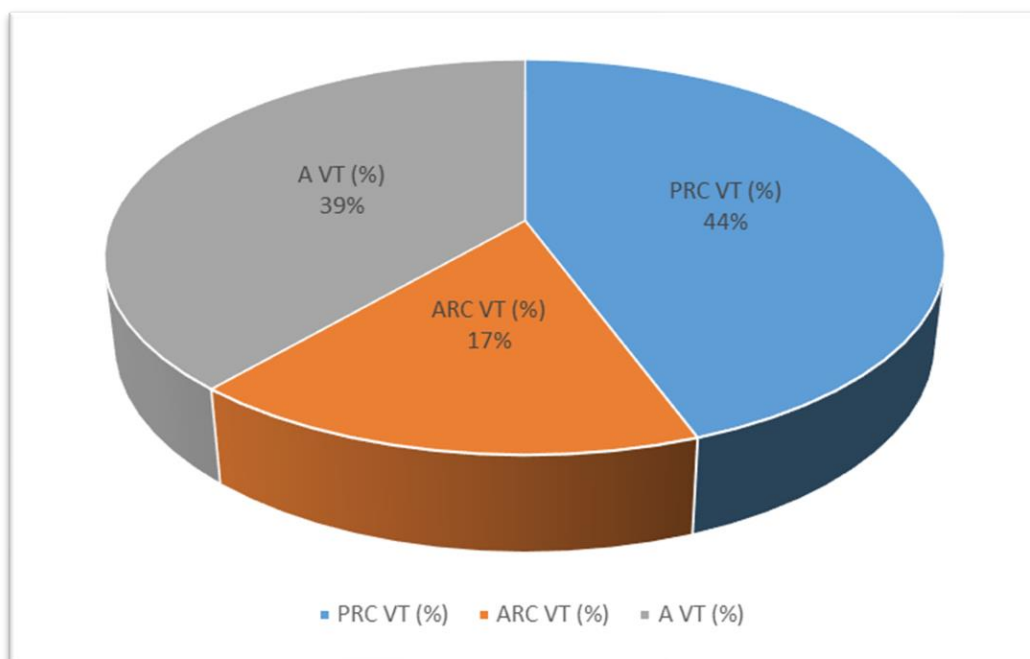
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 3. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 23

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 3. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (6. minuta zátěže)

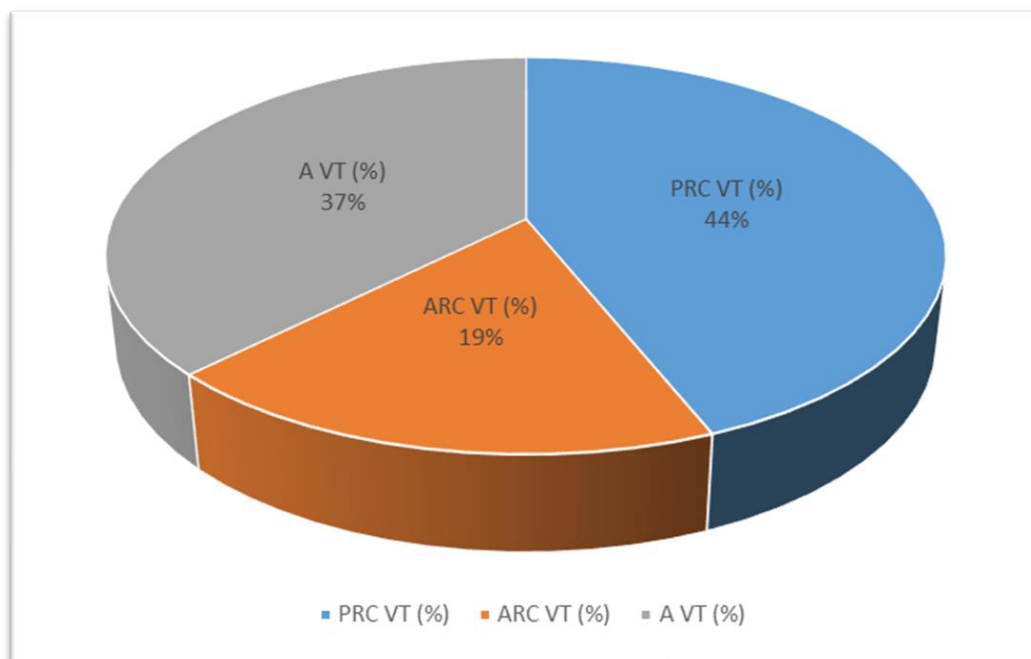
Obrázky č. 24 a č. 25 zobrazují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů v šesté minutě zátěžového testu, a to jak před zahájením dechové intervence, tak po jejím ukončení. Na základě naměřených dat lze konstatovat, že celkové rozložení dechových sektorů zůstalo před i po intervenci téměř nezměněné.

Nejvýznamněji zastoupeným sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl před intervencí činil 44 % a po jejím absolvování mírně vzrostl na 46 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, kde došlo k mírnému poklesu z 37 % na 36 %. U hrudního dýchání byla zaznamenána obdobná tendence, kdy se hodnota snížila z 19 % na 18 %.

Podrobnější individuální analýza ukázala největší nárůst zapojení podklíčkového dýchání u běžce č. 11, kde se hodnota zvýšila o 17 %. Naopak nejvýraznější pokles v této oblasti byl pozorován u běžce č. 12, kde došlo ke snížení o 18 %. Co se týče břišního dýchání, největší nárůst byl zaznamenán u běžce č. 12, kde se podíl zvýšil o 17 %, zatímco běžec č. 15 vykázal největší pokles, a to o 21 %. U hrudního dýchání byl nejvýznamnější nárůst identifikován u běžce č. 15, kde hodnota vzrostla o 6 %, zatímco největší pokles byl pozorován u běžce č. 11, kde došlo ke snížení o 7 %.

Obrázek 24

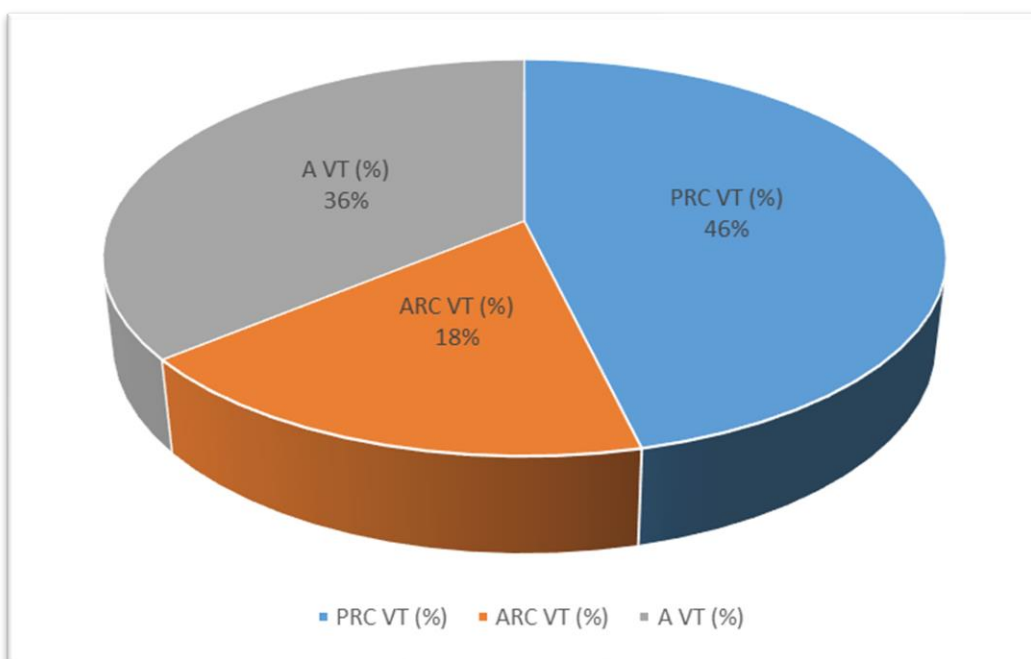
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 6.minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 25

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 6.minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

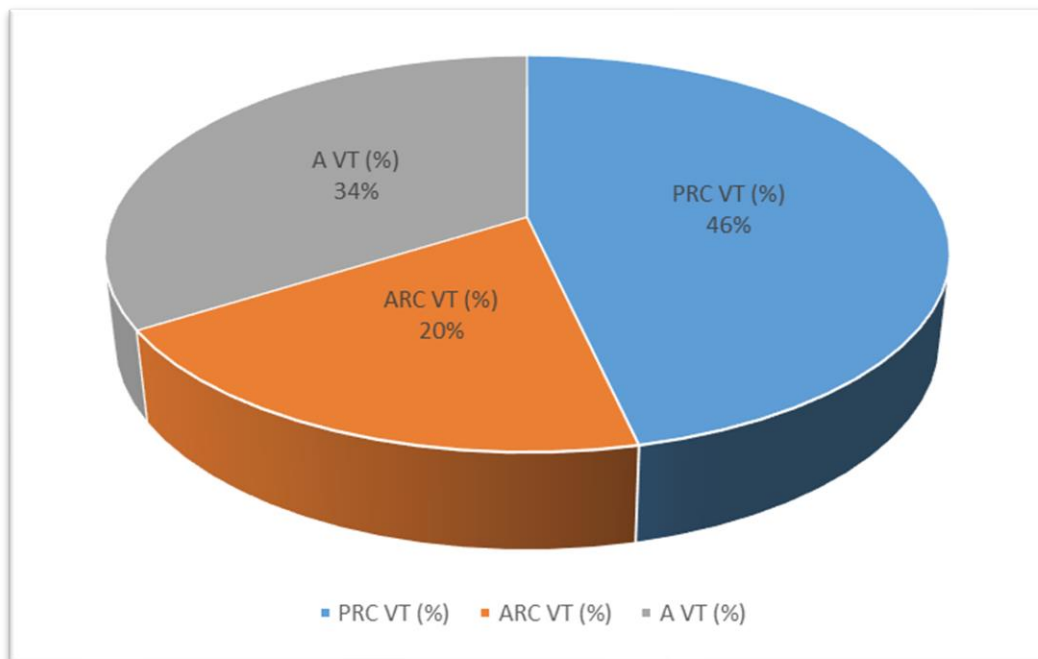
Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (9. minuta zátěže)

Obrázky č. 26 a č. 27 ilustrují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů v deváté minutě zátěžového testu, přičemž srovnávají hodnoty před zahájením dechové intervence a po jejím absolvování. Z provedených měření vyplývá, že celkové rozložení dechových sektorů zůstalo před i po intervenci víceméně konstantní.

Nejvíce zastoupeným dechovým sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl činil před intervencí 46 % a po jejím ukončení došlo k mírnému nárůstu na 48 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, kde podíl zůstal beze změny na hodnotě 34 %. Hrudní dýchání oproti tomu vykázalo mírný pokles, a to z 20 % na 18 %. Detailnější individuální analýza odhalila nejvýraznější nárůst podklíčkového dýchání u běžce č. 15, kde se hodnota zvýšila o 9 %. Naopak největší snížení v této oblasti bylo zaznamenáno u běžce č. 16, kde došlo k poklesu o 7 %. V oblasti břišního dýchání bylo nejvýznamnější zvýšení pozorováno u běžce č. 16, kde se podíl zvýšil o 12 %, zatímco běžec č. 15 vykázal největší pokles, a to o 8 %. U hrudního dýchání byl největší nárůst identifikován u běžce č. 8, kde hodnota vzrostla o 3 %, zatímco nejvýraznější pokles byl zaznamenán u běžce č. 16, kde došlo ke snížení o 6 %.

Obrázek 26

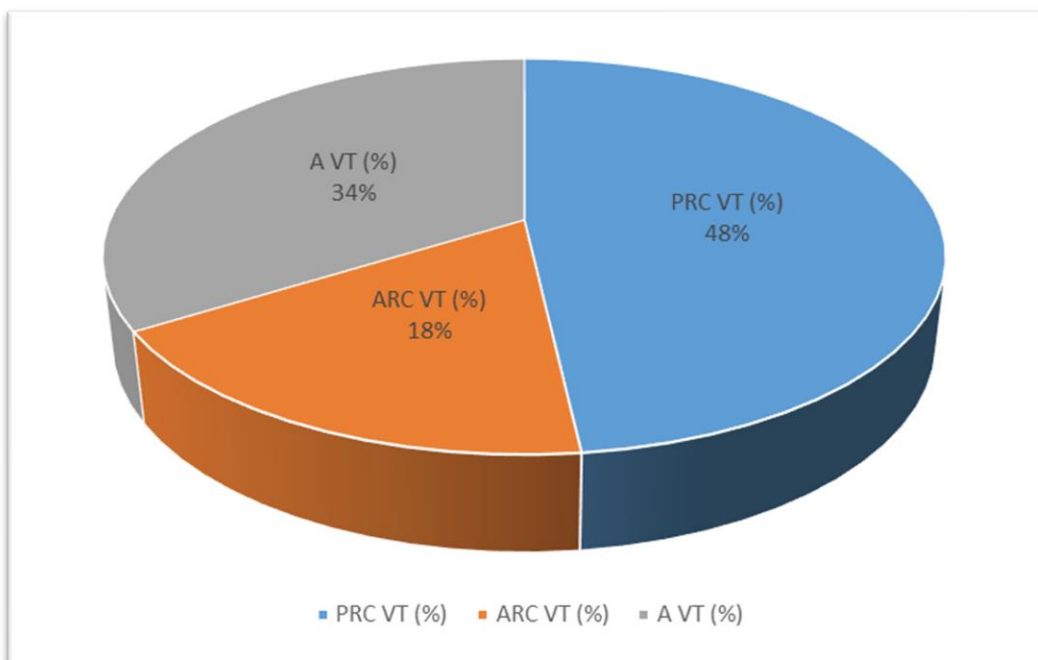
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 9. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 27

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 9. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

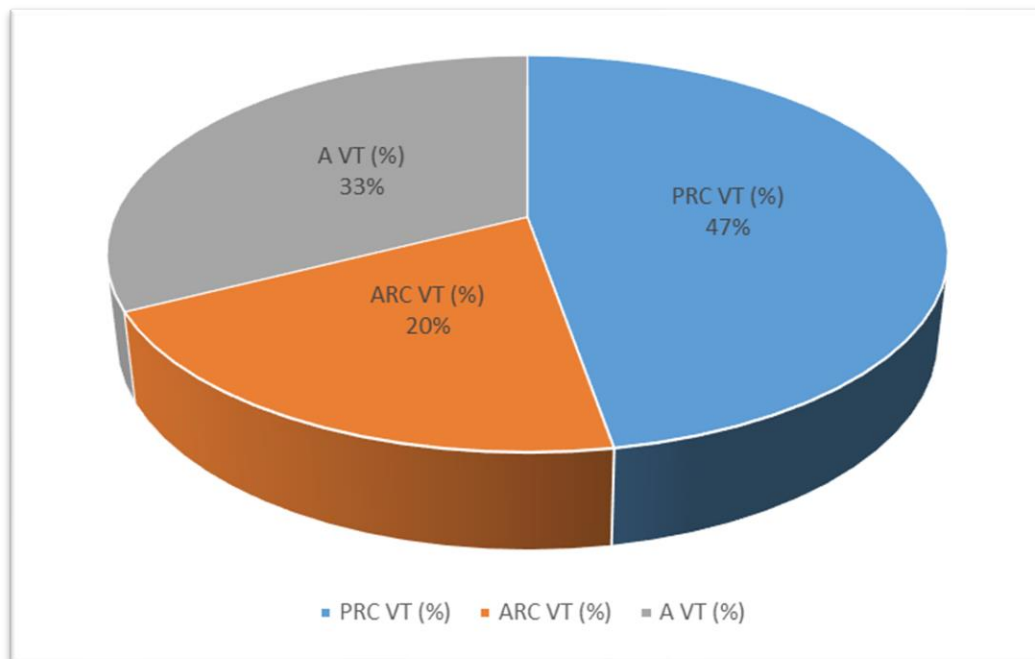
Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (12. minuta zátěže)

Obrázky č. 28 a č. 29 zobrazují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů ve dvanácté minutě zátěžového testu, přičemž porovnávají hodnoty naměřené před zahájením dechové intervence a po jejím absolvování. Z provedených měření vyplývá, že celkové rozložení dechových sektorů zůstalo před i po intervenci relativně stabilní.

Nejvíce zastoupeným sektorem bylo podklíčkové dýchání, které před intervencí tvořilo 47 % a po jejím ukončení došlo k mírnému poklesu na 46 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, u kterého bylo zaznamenáno nepatrné zvýšení z 33 % na 34 %. Naopak hrudní dýchání si udrželo konstantní hodnotu 20 %. Podrobnější analýza individuálních výsledků ukázala, že nejvýraznější nárůst podklíčkového dýchání byl zaznamenán u běžce č. 12, kde došlo ke zvýšení o 6 %. Naopak největší pokles v této oblasti byl pozorován u běžce č. 11, kde se hodnota snížila o 6 %. Co se týče břišního dýchání, nejvýznamnější nárůst byl zaznamenán u běžce č. 16, kde došlo ke zvýšení o 7 %, zatímco největší pokles byl evidován u běžce č. 5, kde hodnota klesla o 5 %. V případě hrudního dýchání byl nejvýraznější nárůst zaznamenán u běžce č. 8, kde se podíl zvýšil o 4 %, zatímco největší pokles byl pozorován u běžce č. 7, kde došlo ke snížení o 6 %.

Obrázek 28

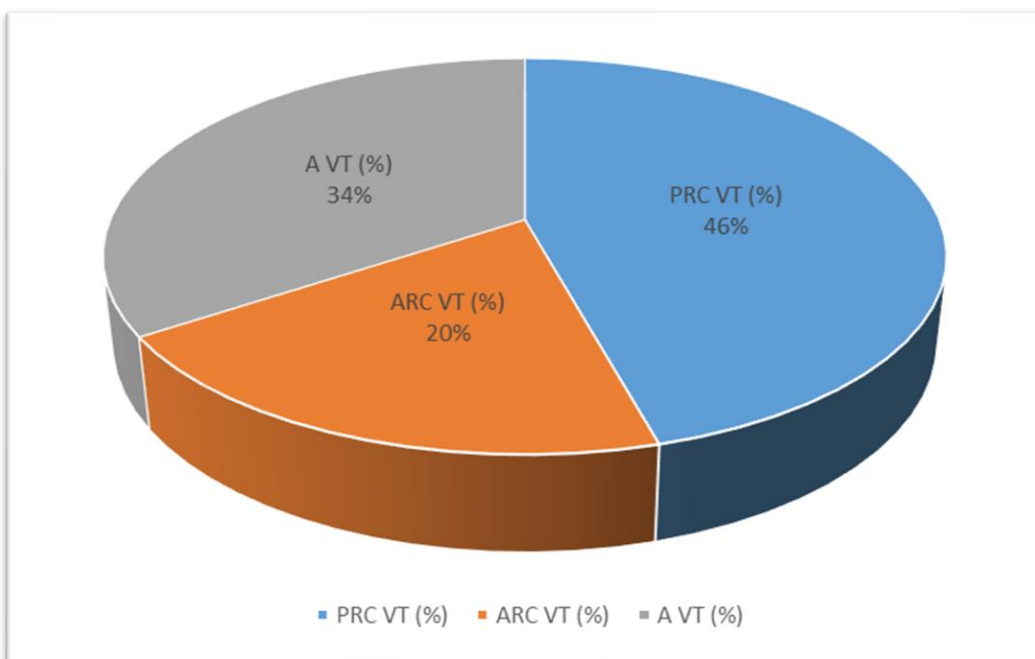
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 12. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 29

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 12. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (15. minuta zátěže)

Obrázky č. 30 a č. 31 zobrazují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů v patnácté minutě zátěžového testu, přičemž porovnávají hodnoty naměřené před zahájením dechové intervence a po jejím absolvování. Z provedených měření vyplývá, že celkové rozložení dechových sektorů zůstalo relativně stabilní jak před, tak po intervenci. Do patnácté minuty testu se před zahájením intervenčního programu dostalo 9 z 17 probandů, zatímco po jeho absolvování se jejich počet zvýšil na 10.

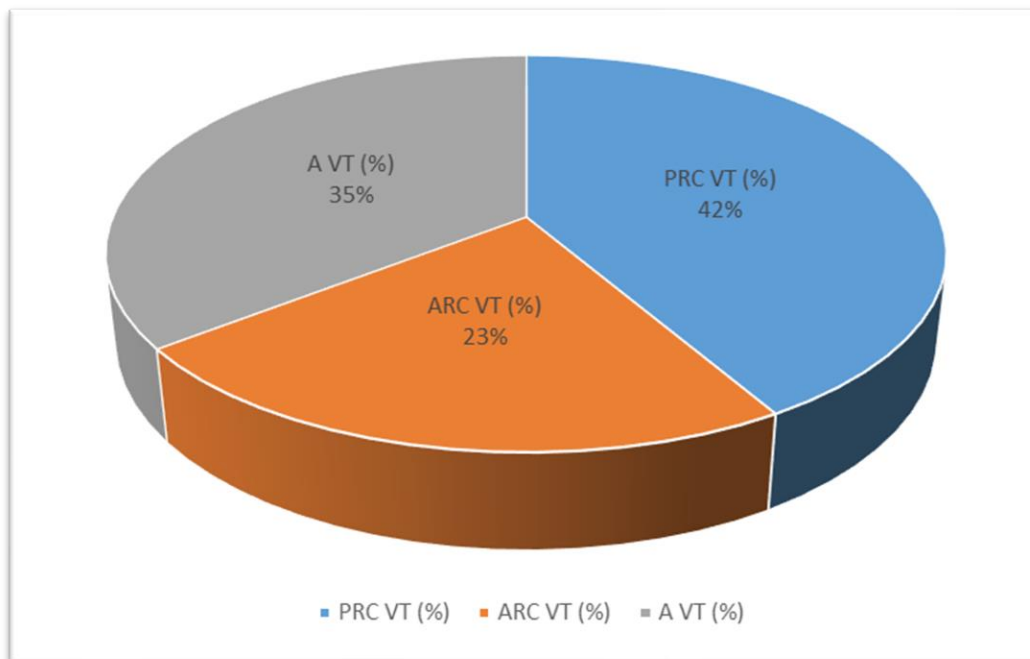
Nejvíce zastoupeným dechovým sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl před intervencí činil 42 % a po jejím dokončení se mírně zvýšil na 45 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, kde byl zaznamenán nepatrný pokles z 35 % na 34 %. Hrudní dýchání rovněž vykázalo mírný pokles, a to z 23 % na 21 %.

Detailnější individuální analýza ukázala, že nejvýraznější nárůst podklíčkového dýchání byl pozorován u běžce č. 9, kde došlo ke zvýšení o 8 %. Naopak největší pokles v této oblasti byl zaznamenán u běžce č. 3, kde hodnota klesla o 10 %. V případě břišního dýchání byl nejvýraznější nárůst naměřen u běžce č. 3, kde se podíl zvýšil o 13 %, zatímco největší pokles byl evidován u běžce č. 10, u něhož došlo k redukci o 5 %. Hrudní dýchání zaznamenalo nejvýraznější nárůst u běžce č. 8, kde se podíl zvýšil o 4 %, zatímco největší pokles byl pozorován u běžce č. 7, u něhož se hodnota snížila o 7 %.

Individuální analýza byla provedena pouze u probandů, kteří se v obou testech dostali do patnácté minuty měření.

Obrázek 30

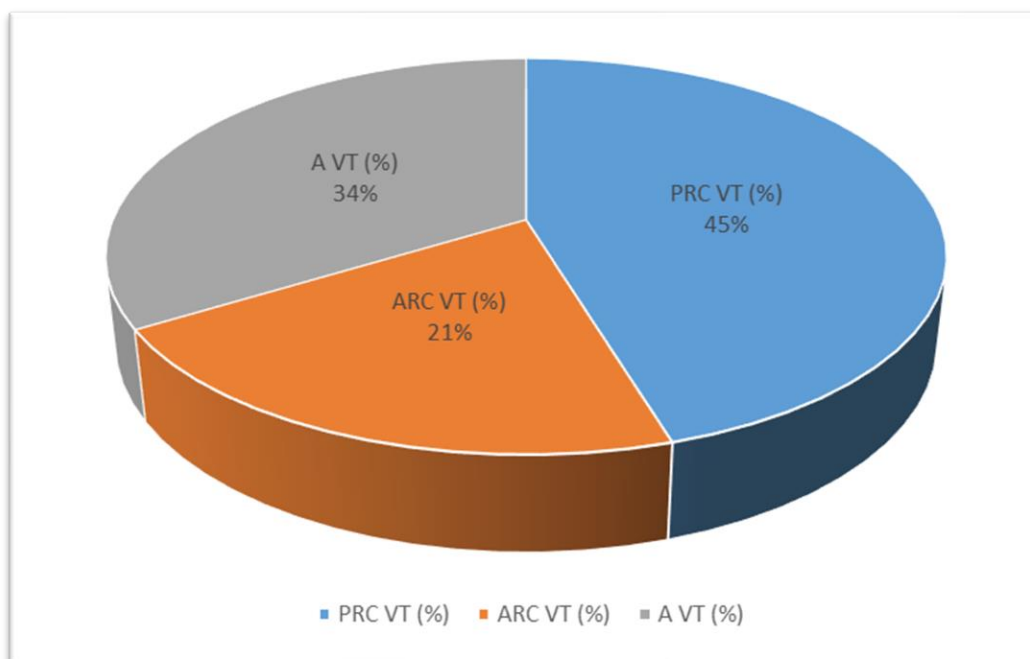
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 15. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 31

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 15. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů při zátěži (18. minuta zátěže)

Obrázky č. 32 a č. 33 prezentují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů v osmnácté minutě zátěžového testu, přičemž porovnávají hodnoty naměřené před zahájením dechové intervence a po jejím absolvování. Z naměřených dat vyplývá, že celkové rozložení dechových sektorů zůstalo relativně stabilní jak před, tak po intervenci. Nicméně tyto výsledky nelze interpretovat skupinově, neboť osmnácté minuty měření dosáhl před intervencí pouze jeden proband, zatímco po jejím absolvování dva.

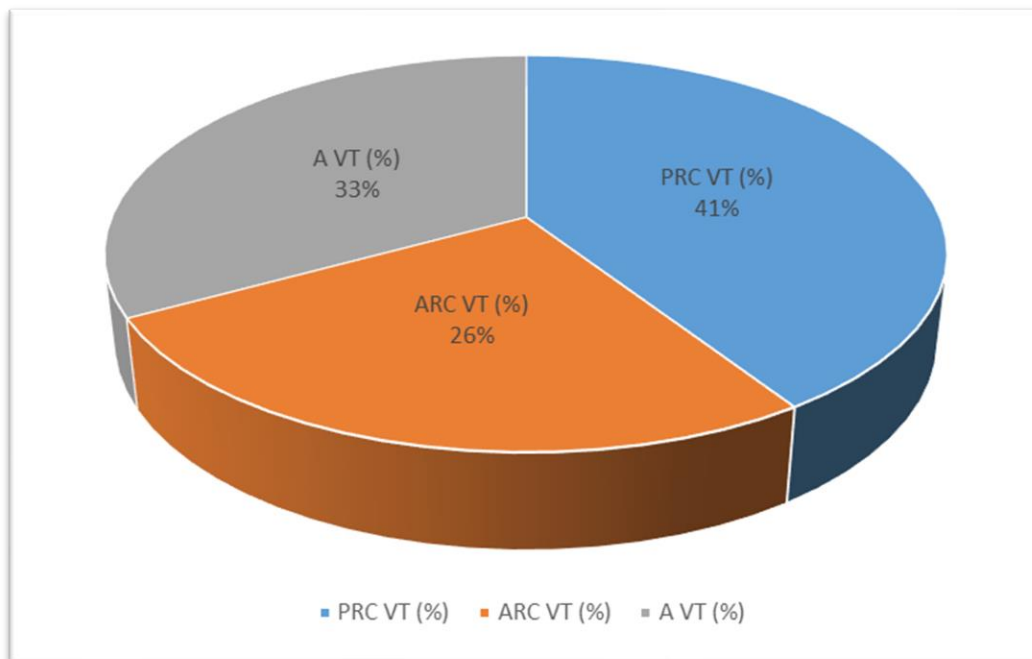
Nejvýrazněji zastoupeným dechovým sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl před intervencí činil 41 % a po jejím dokončení mírně klesl na 39 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, kde bylo pozorováno nepatrné zvýšení z 33 % na 35 %. Hrudní dýchání zůstalo na stejné úrovni, a to 26 %.

U běžce č. 8, který dosáhl osmnácté minuty měření v obou testech, došlo po intervenci k poklesu podílu podklíčkového dýchání o 3 % a snížení zapojení břišního sektoru o 2 %, zatímco podíl hrudního dýchání vzrostl o 5 %. U běžce č. 5, který dosáhl osmnácté minuty až po absolvování dechové intervence, bylo zaznamenáno zapojení podklíčkového sektoru ve výši 40 %, břišního sektoru 38,9 % a hrudního sektoru 21,1 %.

Vzhledem k omezenému počtu probandů, kteří dosáhli této fáze testu, je nutné k výsledkům přistupovat s rezervou a spíše je chápat jako individuální než skupinovou analýzu.

Obrázek 32

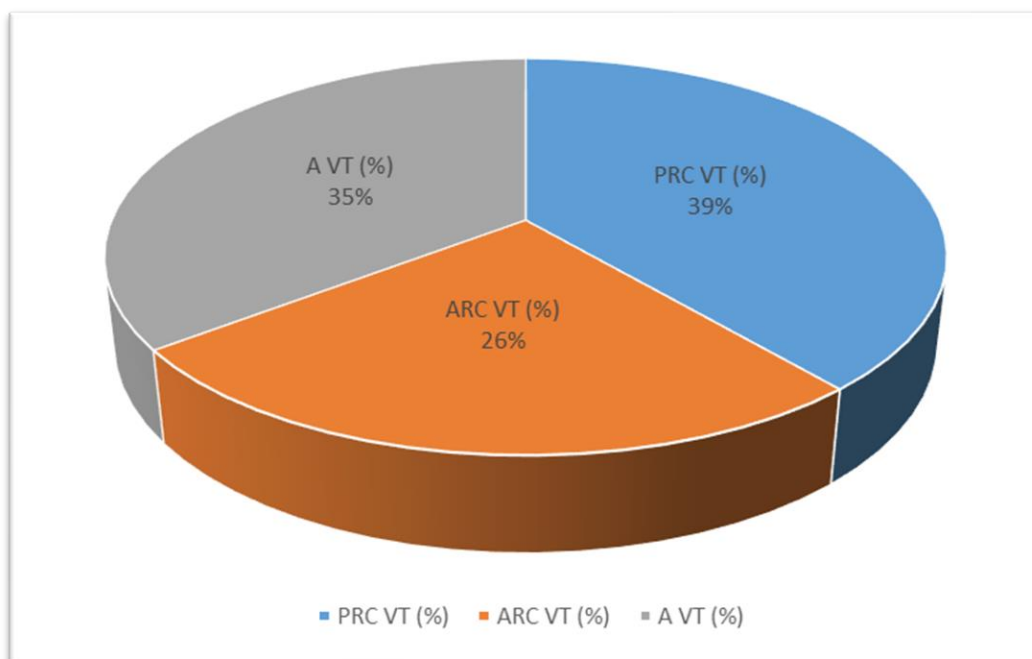
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem 18. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 33

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu 18. minuta zátěže



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Výsledky zapojení jednotlivých dechových sektorů v klidu po zátěžovém testu

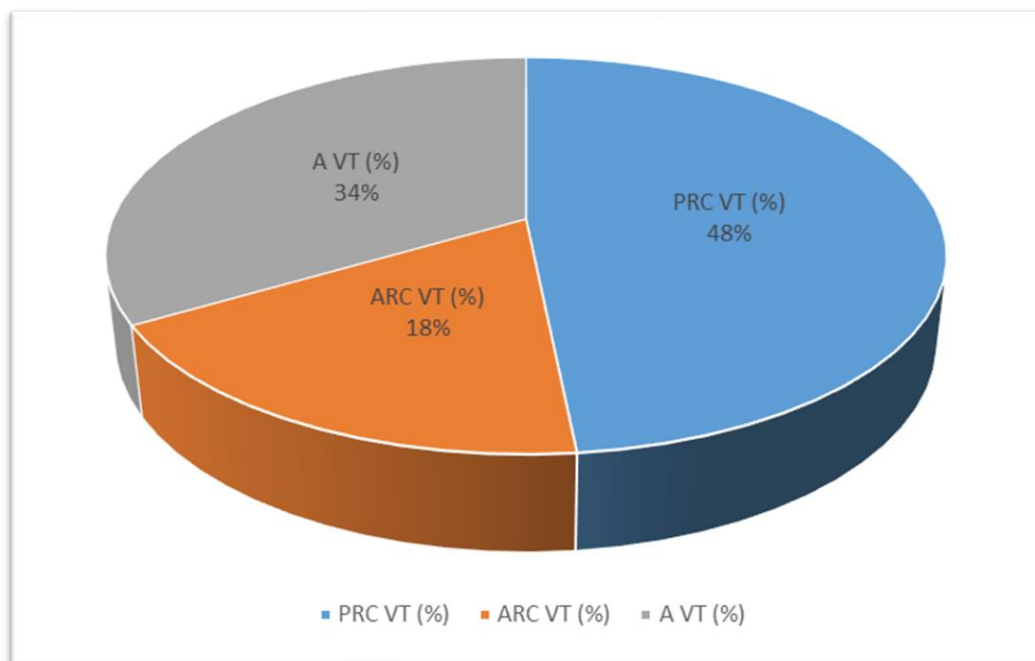
Obrázky č. 34 a č. 35 prezentují výsledky analýzy zapojení jednotlivých dechových sektorů v klidové fázi po zátěžovém testu, přičemž porovnávají hodnoty naměřené před zahájením dechové intervence a po jejím absolvování. Z naměřených dat vyplývá, že celkové rozložení dechových sektorů se po intervenci mírně změnilo.

Nejvýrazněji zastoupeným dechovým sektorem bylo podklíčkové dýchání, jehož podíl před intervencí činil 48 % a po jejím dokončení mírně vzrostl na 52 %. Druhým nejčastěji využívaným sektorem bylo břišní dýchání, kde byl zaznamenán drobný pokles z 34 % na 32 %. Hrudní dýchání rovněž vykazovalo mírné snížení, a to z 18 % na 16 %.

Detailnější individuální analýza ukázala, že nejvýraznější nárůst podklíčkového dýchání byl zaznamenán u běžce č. 15, kde došlo ke zvýšení o 10,6 %. Naopak nejvýraznější pokles v této oblasti byl pozorován u běžce č. 13, kde hodnota klesla o 10 %. V případě břišního dýchání byl největší nárůst naměřen u běžce č. 13, kde se podíl zvýšil o 11,8 %, zatímco nejvýznamnější pokles byl evidován u běžce č. 15, kde došlo ke snížení o 12 %. U hrudního dýchání byl největší nárůst zaznamenán u běžce č. 8, kde hodnota vzrostla o 2 %, zatímco nejvýraznější pokles byl pozorován u běžce č. 2, kde se podíl snížil o 7 %.

Obrázek 34

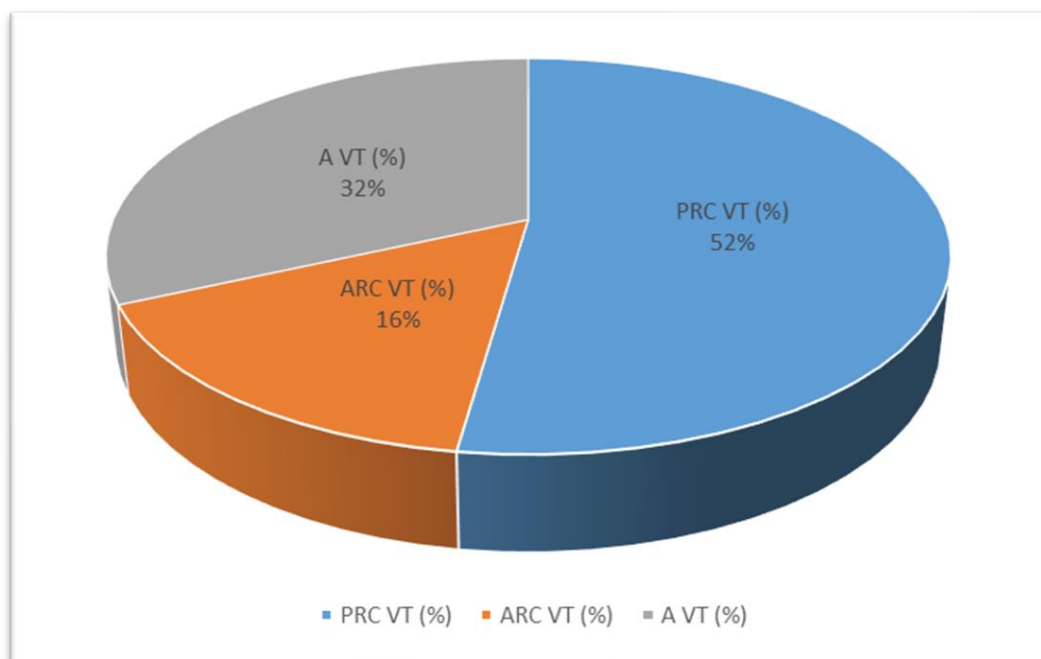
Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů před intervenčním programem v klidu po zátěži



PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Obrázek 35

Poměr zapojení jednotlivých dechových sektorů po intervenčním programu v klidu po zátěži



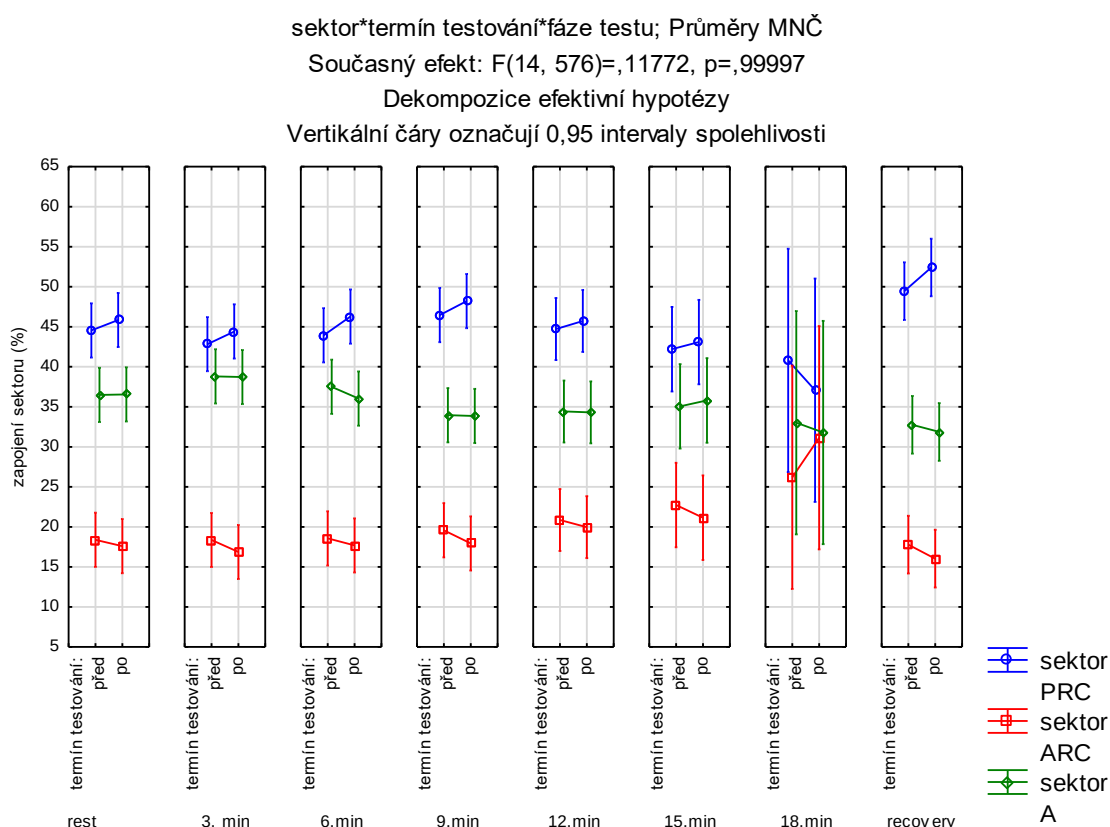
PRC VT – zapojení podklíčkového sektoru; ARC VT – zapojení hrudního sektoru; A VT – zapojení břišního sektoru

Změny v zapojení jednotlivých sektorů dýchání během celého testu

Obrázek č. 36 znázorňuje změny v aktivaci jednotlivých dechových sektorů v průběhu celého zátěžového testu, a to jak v klidové fázi před a po testu, tak i během jednotlivých úrovní zátěže před absolvováním dechové intervence i po jejím dokončení. Výsledky zaznamenané v 18. minutě testu je však třeba interpretovat s opatrností, jelikož pro statistické zpracování byly k dispozici pouze údaje jediného běžce, který dokončil tuto fázi testu jak před intervencí, tak po ní. Z grafického znázornění je patrné, jakým způsobem se po intervenci měnilo zapojení jednotlivých dechových sektorů, konkrétně podklíčkového, hrudního a břišního dýchání.

Obrázek 36

Porovnání změny zapojení jednotlivých sektorů před a po intervenčním programu po fázích testu

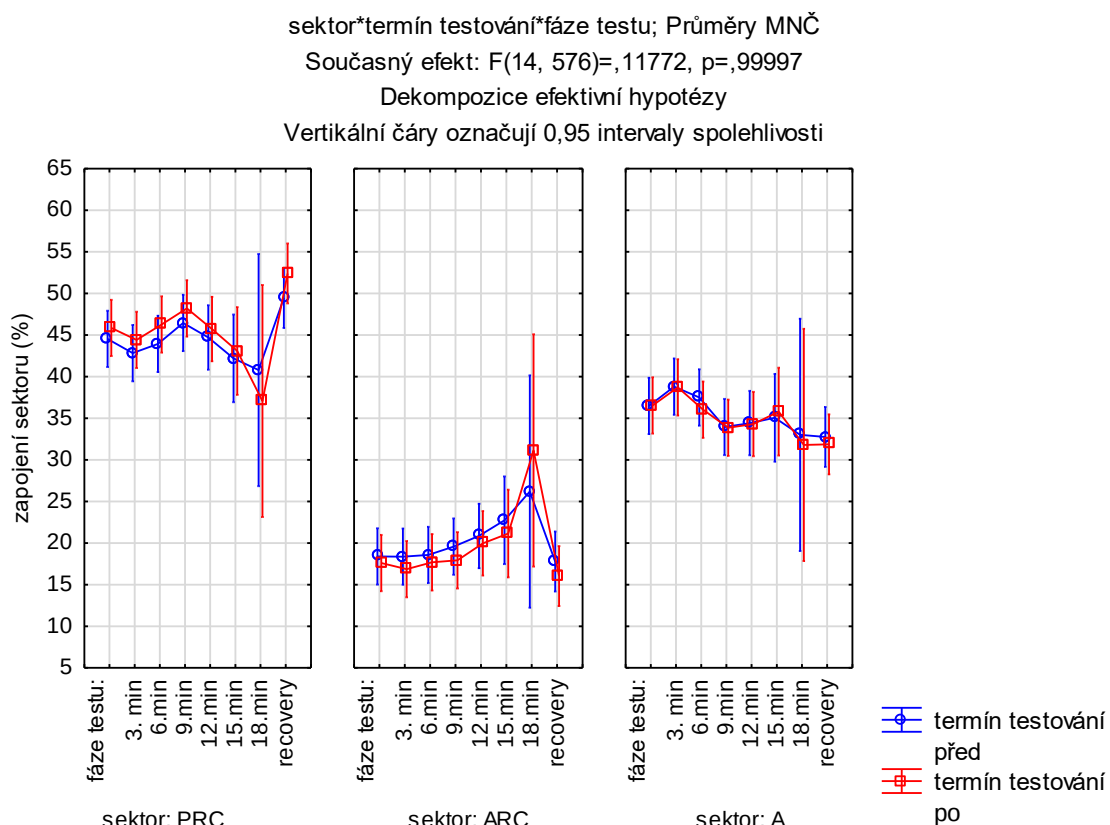


Sektor PRC – zapojení podklíčkového sektoru; sektor ARC – zapojení hrudního sektoru; sektor A – zapojení břišního sektoru

Obrázek č. 37 zobrazuje konkrétní změny v aktivaci jednotlivých dechových sektorů před a po absolvování dechové intervence. Je však důležité mít na paměti, že výsledky zaznamenané v 18. minutě měření vycházejí pouze z údajů jednoho běžce, a proto je nelze považovat za reprezentativní ani vhodné k širšímu srovnání.

Obrázek 37

Porovnání zapojení v určitých sektorech dýchání před a po intervenčním programu



Sektor PRC – zapojení podklíčkového sektoru; sektor ARC – zapojení hrudního sektoru; sektor A – zapojení břišního sektoru

Obrázek č. 38 představuje srovnání aktivace jednotlivých dechových sektorů v průběhu celého zátěžového testu. Grafické znázornění umožňuje sledovat dynamiku zapojení jednotlivých sektorů a jejich vzájemné změny během testu. Statistická analýza ukázala, že samotný intervenční program neměl statisticky ani věcně významný efekt. Nicméně, zapojení jednotlivých dechových sektorů se ukázalo jako statisticky významné, stejně tak jako rozdíly v jejich aktivaci v závislosti na jednotlivých fázích zátěžového testu ($p \leq 0,05$).

Obrázek 38

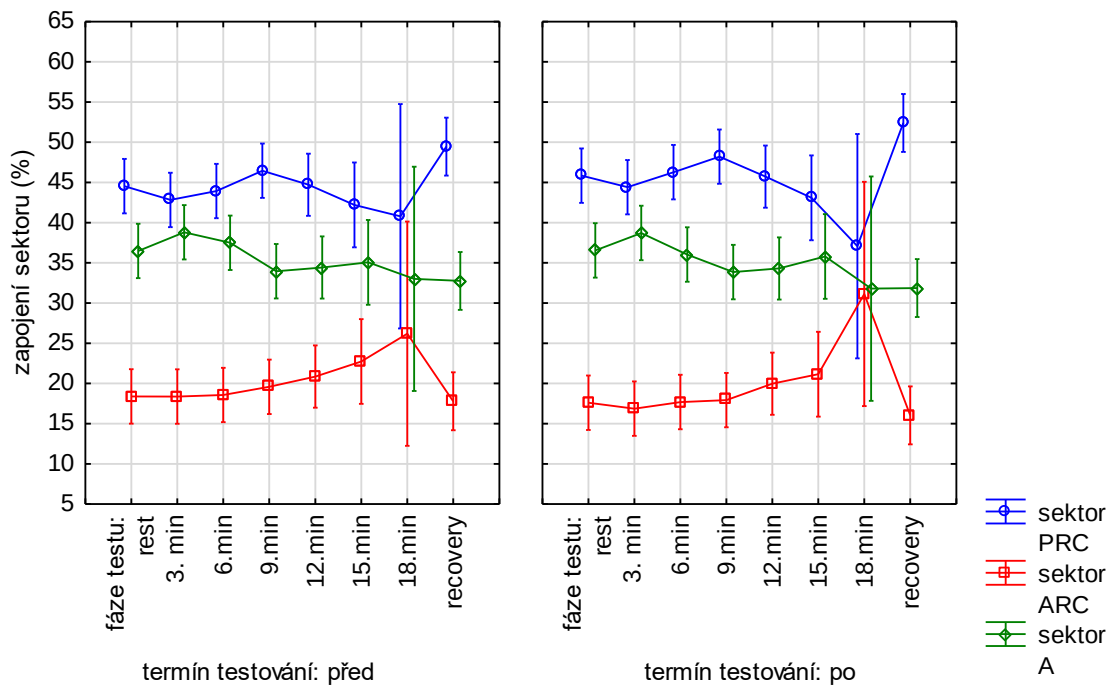
Srovnání aktivace jednotlivých dechových sektorů podle termínu testování

sektor*termín testování*fáze testu; Průměry MNČ

Současný efekt: $F(14, 576)=,11772$, $p=,99997$

Dekompozice efektivní hypotézy

Vertikální čáry označují 0,95 intervaly spolehlivosti



Sektor PRC – zapojení podklíčkového sektoru; sektor ARC – zapojení hrudního sektoru; sektor A – zapojení břišního sektoru

6 Diskuse

Osmítýdenní dechová intervence založená na jógových dechových cvičeních, zaměřená na prohloubení dýchání, nevedla k významným změnám v aktivitě jednotlivých dechových sektorů, tedy podklíčkového, hrudního a břišního dýchání. Celkové rozložení těchto dechových komponent zůstalo po intervenci do značné míry stabilní, přičemž zaznamenané změny byly pouze marginální a statistická analýza neprokázala jejich významnost. Tento výsledek naznačuje, že aplikovaná dechová technika nevyvolala zásadní změny v zapojení jednotlivých částí dýchacího systému během ventilace.

V posledních letech se však ukazuje, že detailní analýza dechového vzoru může poskytnout cenné poznatky o funkční kapacitě dýchacího systému a jeho schopnosti adaptace na zátěžové podmínky (Tobin, 1992). Kvalita dýchání je úzce spojena s vytrvalostním výkonem, úrovní trénovanosti jedince, intenzitou a délkou fyzické zátěže, přičemž efektivitu dýchání lze ovlivnit cílenými dechovými cvičeními (Bahenský et al., 2019). Významnou roli ve vytrvalostních sportech hraje také dechová ekonomika, jejíž nízká úroveň je charakterizována především nadměrnou dechovou frekvencí a nízkým dechovým objemem (VT) v důsledku mělkého dýchání (Marko et al., 2022).

Práce se proto zaměřila nejen na přímé hodnocení vlivu dechové intervence na dechový vzor, ale i na její potenciální dopad na klíčové fyziologické parametry, mezi něž patří minutová ventilace, dechový objem a dechová frekvence. Je známo, že individuální variabilita v dýchacím stereotypu je značná a odvíjí se od faktorů, jako je objem vdechovaného vzduchu, rychlost ventilace či dynamika proudění vzduchu dýchacími cestami. Tyto charakteristiky jsou u dospělých jedinců poměrně stabilní, avšak mohou mít zásadní vliv na celkovou efektivitu dýchání i sportovní výkon (Benchetrit, 2000). Dosavadní výzkumy potvrzují, že jógové dechové techniky mají potenciál snižovat dechovou frekvenci (Tharion et al., 2021), avšak v rámci této práce tento efekt pozorován nebyl a hypotéza č.1 nebyla potvrzena. Rovněž bylo prokázáno, že různé dechové techniky mohou vést ke zlepšení hodnoty usilovné vitální kapacity plic (FVC) (Bezruk et al., 2024), což se však v našich výsledcích nepotvrdilo, a to vyvrací hypotézu č. 2.

Výsledky naznačují, že aktivace jednotlivých dechových sektorů zůstala po intervenci převážně neměnná. Současná odborná literatura přitom upozorňuje, že

sportovci mohou vykazovat dysfunkční dechové vzorce, které mohou být spojeny se zvýšeným rizikem muskuloskeletálních obtíží (Sikora et al., 2024). V tomto kontextu lze předpokládat, že aplikovaná dechová technika mohla přispět alespoň k udržení stability dechového vzoru, i když zásadní modifikaci nevyvolala. Měření rovněž ukázala, že s rostoucí intenzitou zátěže došlo k mírnému poklesu podklíčkového dýchání, zatímco aktivita hrudního sektoru měla tendenci narůstat. Procentuální zastoupení břišního dýchání se během testování změnilo jen minimálně, což naznačuje relativní stabilitu dechového stereotypu i v průběhu zátěže. Tato zjištění podporují hypotézu, že bez ohledu na absolvovanou intervenci zůstala základní strategie dýchání v rámci zátěžového protokolu zachována, což může být výsledkem přirozených fyziologických adaptací na intenzivní pohyb.

Přestože většina původních hypotéz nebyla potvrzena, výsledky ukázaly statisticky významné zvýšení maximální spotřeby kyslíku ($VO_2\text{max}$), což podporuje domněnku, že jógová dechová cvičení mohou pozitivně ovlivnit aerobní kapacitu (Doijada et al., 2013). Ostatní spirometrické parametry, jako je dechová frekvence, minutová ventilace či usilovný výdech vitální kapacity plic, však nevykázaly signifikantní změny. Kromě toho nebyl zaznamenán pozitivní efekt na svalovou saturaci kyslíkem. Důležitým zjištěním je také statisticky významné prodloužení doby trvání zátěžového testu u běžců po absolvování intervence, což naznačuje možný vliv dechových technik nejen na fyziologické, ale i psychologické faktory ovlivňující sportovní výkon (Laborde et al., 2024).

V kontextu formulovaných výzkumných otázek lze tedy konstatovat, že osmitýdenní dechová intervence založená na jógových dechových cvičeních nevedla ke statisticky významným změnám v zapojení jednotlivých dechových sektorů. I když se vyskytly drobné odchylky, jejich velikost nebyla dostatečná k potvrzení zásadního vlivu intervence. Na druhou stranu analýza ukázala, že rozložení dechových sektorů bylo signifikantně ovlivněno intenzitou zátěže. S rostoucí zátěží docházelo k vyššímu zapojení hrudního dýchání, a naopak k poklesu aktivity podklíčkového sektoru. Bartůňková et al. (2013) zdůrazňují, že brániční dýchání představuje klíčovou složku efektivního ventilačního mechanismu. Nicméně výsledky této práce naznačují, že právě tento dechový sektor byl v celkovém zapojení zastoupen v nejmenší míře a jeho podíl se s rostoucí intenzitou zátěže dále snižoval. Tento jev může být důsledkem individuálních

rozdílů v dechových vzorcích běžců a jejich specifických adaptačních mechanismů během fyzické aktivity. Existují rovněž poznatky naznačující, že dechový vzor může být ovlivněn tělesnou konstitucí jedince a jeho držení těla. V českém prostředí je historicky patrný vliv sokolské tradice, která kladla důraz na „správné“ držení těla charakterizované stažením lopatek, výrazným vysunutím hrudníku a aktivním zatažením břišní stěny (Kolář et al., 2009).

Při interpretaci těchto výsledků je nezbytné zohlednit možné vlivy vnějších faktorů, které nebylo možné zcela eliminovat. Mezi tyto faktory patří například laboratorní podmínky, jako je teplota a osvětlení, aktuální fyzická a psychická kondice probandů, jejich motivace k absolvování testu, kvalita spánku v předchozí noci či individuální adaptační schopnosti na měřicí prostředí. Přestože byla dodržena veškerá metodologická opatření ke standardizaci testování, úplné odstranění všech externích vlivů nebylo možné. Tyto aspekty je proto nutné brát v úvahu při interpretaci získaných dat i při plánování budoucích studií zaměřených na dechové intervence ve sportovním kontextu. Rovněž je známo, že při delší době intervence jsou pozorované změny výraznější ve srovnání s hodnotami zjištěnými po dvouměsíčním období intervence (Bahenský et al., 2020).

7 Závěr

Tato diplomová práce se zaměřila na vliv osmitýdenního tréninku jógových dechových cvičení na dechový vzor běžců ve věku 15–25 let. Výsledky ukázaly, že dechová intervence neměla zásadní dopad na zapojení jednotlivých dechových sektorů, jako je podklíčkové, hrudní a břišní dýchání. Na druhou stranu byl potvrzen pozitivní vliv na dvě klíčové proměnné – maximální spotřebu kyslíku ($VO_2\text{max}$) a dobu trvání zátěžového testu. To naznačuje, že pravidelné dechové cvičení může pomoci zlepšit celkovou vytrvalost a efektivitu dýchání během fyzické aktivity, i když nezpůsobí výrazné změny ve způsobu dýchání.

Přestože práce přinesla zajímavé poznatky, je třeba vzít v úvahu její limity. Jedním z omezení byla frekvence kontroly správného provádění dechových cvičení – kontrola jednou týdně mohla být nedostatečná k dosažení výraznějších změn v dechovém vzoru. Dalším faktorem je složení výzkumného vzorku, který tvořili běžci s podobnou trénovaností. Zapojení širší skupiny sportovců s různými úrovněmi zkušeností by mohlo přinést odlišné výsledky. Také by bylo přínosné sledovat další faktory, například psychologické aspekty, které mohou ovlivňovat dýchání a celkový sportovní výkon.

Výsledky této práce mohou být užitečné pro trenéry i sportovce, kteří chtějí využít dechová cvičení k podpoře vytrvalostního výkonu. I když nebyly potvrzeny zásadní změny v dechovém vzoru, pozitivní efekt na $VO_2\text{max}$ a vytrvalost naznačuje, že dechová cvičení mohou být užitečným doplňkem tréninkového programu. Mohou se uplatnit nejen při zlepšování sportovní výkonnosti, ale i jako součást regenerace a prevence dechových dysfunkcí. Budoucí výzkum by se mohl zaměřit na delší intervenční období, podrobnější sledování dechových vzorců a propojení s psychologickými faktory, které mohou hrát důležitou roli při řízení dýchání během výkonu.

Referenční seznam literatury

- Badawy, M. M., & Muaidi, Q. I. (2019). Cardio respiratory response: Validation of new modifications of Bruce protocol for exercise testing and training in elite Saudi triathlon and soccer players. *Saudi journal of biological sciences*, 26(1), 105–111.
- 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., 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*, 60(8), 1101–1109.
- Bahenský, P., Marko, D., Malátová, R., Krajcigr, M., & Schuster, J. (2021). *Fyziologie tělesných cvičení*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta.
- Bezruk, D., Bahenský, P., Marko, D., Krajcigr, M., Bahenský Jr, P., Novák-Nowická, E., & Mrkvička, T. (2024). The Effect of Static Apnea Diving Training on the Physiological Parameters of People with a Sports Orientation and Sedentary Participants: A Pilot Study. *Sports*, 12(6), 140.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Benchetrit, G. (2000). Breathing pattern in humans: diversity and individuality. *Respiration physiology*, 122(2-3), 123–129.
- Bockenbauer, S. E., Chen, H., Julliard, K. N., & Weedon, J. (2007). Measuring thoracic excursion: Reliability of the cloth tape measure technique. *The Journal of the American Osteopathic Association*, 107(5), 191–196.
- Burgos-Vargas, R., Castelazo-Duarte, G., Orozco, J. A., Garduno-Espinosa, J., Clark, P., & Sanabria, L. (1993). Chest expansion in healthy adolescents and patients with the seronegative enthesopathy and arthropathy syndrome or juvenile ankylosing spondylitis. *The Journal of Rheumatology*, 20(9), 1957–1960.
- Bursová, M. (2005). *Kompenzační cvičení*. Grada.
- Clifton-Smith, T. (2017). Breathing Pattern Disorders and the Athlete. Recognizing and Treating Breathing Disorders. *Churchill Livingstone*, 215–224.
- Citherlet, T., Crettaz von Roten, F., Kayser, B., & Guex, K. (2021). Acute effects of the wim hof breathing method on repeated sprint ability: a pilot study. *Frontiers in sports and active living*, 3, 700–757.
- Dhaniwala, N. K. S., Dasari, V., & Dhaniwala, M. N. (2020). Pranayama and breathing exercises-types and its role in disease prevention & rehabilitation. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 9(44), 3325–3331.
- Doijad, V. P., Kamble, P., & Surdi, A. D. (2013). Effect of Yogic exercises on aerobic capacity (VO₂ max). *International journal of physiology*, 1(2), 47–50.
- Gumming, G. R., Everatt, D., & Hastman, L. (1978). Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. *The American journal of cardiology*, 41(1), 69–75.
- Havlíčková, L., Bartůňková, S., Dlouhá, R., Melichna, J., Šrámek, P., & Vránová, J. (2006). *Fyziologie tělesné zátěže 1: obecná část*. Karolinum.
- Heller, J., & Vodička, P. (2018). *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže (2. vydání)*. Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.
- Hof, W. (2020). *The Wim Hof method: activate your full human potential*. Sounds True.

- Kaneko, H., & Horie, J. (2012). Breathing movements of the chest and abdominal wall in healthy subjects. *Respiratory care*, 57(9), 1442-1451.
- Kolář, P., Bitnar, P., Horáček, O., Dyrhonová, O., Kříž, J., Adámková, M., Černý, R., Babková, L., Čumpelík, J., Calta, J., Danielová, B., Cikánková, V., Dobeš, M., Čákr O., Druga, R., Čech, Z., Hátlová, B., Hoskovcová, M., Komárek, V., ... Vařeka, I. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Galén.
- Laborde, S., Zammit, N., Iskra, M., Mosley, E., Borges, U., Allen, M. S., & Javelle, F. (2024). The influence of breathing techniques on physical sport performance: A systematic review and meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 17(2), 1222-1277.
- Lysebeth, A. V. (2017). *Jóga. Zdokonaluji se v józe*. Argo.
- Mahéšvaránanda, P. S. (2010). *Jóga v denním životě a diabetes*. Praha.
- Malátová, R., Bahenský, P., Mareš, M., & Rost, M. (2017). Breathing pattern of restful and deep breathing. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(1), 28-39.
- Malátová, R. (2019). *Význam dechového stereotypu a možnosti jeho ovlivnění*. (Habilitationní práce, Masarykova univerzita, Brno, Česká Republika). Získáno z https://is.muni.cz/do/rect/habilitace/1451/115215/habilitacni_prace/Habilitacni_prace_Malatova_Renata.pdf.
- Malhotra, V., Javed, D., Wakode, S., Bharshankar, R., Soni, N., & Porter, P. K. (2022). Study of immediate neurological and autonomic changes during kapalabhati pranayama in yoga practitioners. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 11(2), 720-727.
- Marko, D., Bahenský, P., Bunc, V., Grosicki, J. G., & Vondrasek, D. J. (2022). Does Wim Hof Method Improve Breathing Economy during Exercise? *Journal of Clinical Medicine*, 11(8), 2218.
- Massaroni, C., Carraro, E., Vianello, A., Miccinilli, S., Morrone, M., Levai, I. K., Schena, E., Saccomandi, P., Sterzi, S., Dickinson, J. W., Winter, S., & Silvestri, S. (2017). Optoelectronic plethysmography in clinical practice and research: a review. *Respiration*, 93(5), 339-354.
- Moll, J. M., & Wright, V. (1972). An objective clinical study of chest expansion. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 31(1), 1-8.
- Mourek, J. F. (2005). *Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Grada.
- Neumannová, K., Kolek, V., Zatloukal, J., & Klimešová, I. (2018). *Astma bronchiale a chronická obstrukční plicní nemoc*. Mladá fronta.
- Paleček, F., Feitová, S., Herget, J., Kandus, J., Novák, M., Paleček, F., Pokorný, J., Vízek, M., Vojanec, V. & Zapletal, A. *Patofyziologie dýchání*. Academia.
- Ragnarsdóttir, M., & Kristinsdóttir, E. K. (2006). Breathing movements and breathing patterns among healthy men and women 20-69 years of age. *Reference values. Respiration*, 73(1), 48-54.
- Rokyta, R. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. ISV.
- Shah, B. N. (2013). On the 50th anniversary of the first description of a multistage exercise treadmill test: re-visiting the birth of the 'Bruce protocol. *Heart*, 99(24), 1793-1794.
- Sikora, M., Mikołajczyk, R., Lakomy, O., Karpinski, J., Zebrowska, A., Kostorz-Nosal, S., & Jastrzębski, D. (2024). Influence of the breathing pattern on the pulmonary function of endurance-trained athletes. *Scientific Reports*, 14(1), 1113.

- Singh, G., & Raghavendran, M. (2021). Buteyko Breathing Technique. *Journal of Nursing Education and Practice*, 7(2), 13–16.
- Slavíková, J., & Švíglerová, J. (2024). *Fyziologie dýchání*. Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Tharion, E., Samuel, P., Rajalakshmi, R., Gnanasenthil, G., & Subramanian, R. K. (2012). Influence of deep breathing exercise on spontaneous respiratory rate and heart rate variability: a randomised controlled trial in healthy subjects. *Indian J Physiol Pharmacol*, 56(1), 80-87.
- Tobin, M. J. (1992). Breathing pattern analysis. *Intensive care medicine*, 18(4), 193–201.
- Trojan, S., Langmeier, M., Hrachovina, V., Kittnar, O., Koudelová, J., Kuthan, V., ... Wunsh, Z. (2003). *Lékařská fyziologie*. Grada.
- Várnay, F., Homolka, P., Mífková, P., & Dobšák, L. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Grada.

Elektronické zdroje

- inbodyusa.com. (2025). InBody: Revolutionary Body Composition Analyzer. Přístup dne 22.3.2025, z <https://inbodyusa.com/>
- inbody.cz. (2025). Automatický přenosný stadiometr BSM 370. Přístup dne 22.3.2025, z https://www.inbody.cz/katalog_bsm370_cz.pdf
- polar-eshop.cz. (2025). Polar H1. Přístup dne 22.3.2025, z <https://www.polar-eshop.cz/polar-h1>
- oxylabs.cz. (2025). Moxy Monitoring. Sleduj spotřebu O₂ v reálném čase. Přístup dne 22.3.2025, z <https://oxylabs.cz/moxy-monitor/>
- btsbioengineering.com. (2025). SMART-DX EVO. Highest precision motion capture camera. Přístup dne 22.3.2025, z https://www.btsbioengineering.com/products/smart-dx-evo/?_gl=1*_edjkh7*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAiArKW-BhAzEiwAZhWslPn5rjFYXbTwZRoWJsJiXZrh_XdzQQ7uDrqGwpuaauky_jzjCiQo2xoCv7YQAvD_BwE
- compek.cz. (2025). Běhací pás Lode Valiant 2 CPET. Přístup dne 22.3.2025, z https://www.compek.cz/e-shop/behaci-pas-lode-valiant-2-cpet_707-201.html/
- compek.cz. (2025). Cortex MetaLyzer 3B, komplet. Přístup dne 22.3.2025, z https://www.compek.cz/e-shop/cortex-metalyzer-3b-komplet_823-002.html/#tab-description
- compek.sk. (2025). Cortex MetaControl 3000. Přístup dne 22.3.2025, z <https://www.compek.sk/cortex-metacontrol-3000.htm>