



Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra tělesné výchovy a sportu

Bakalářská práce

Sledování dynamiky změn saturace kyslíkem při různě dlouhé apnoii

Vypracoval: Dmitriy Bezruk

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

České Budějovice, 2023



University of South Bohemia in České Budějovice

Faculty of Education

Department of Sports Studies

Bachelor thesis

**Monitoring the dynamics of changes in
oxygen saturation with different lengths of
apnea**

Author: Dmitriy Bezruk

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

České Budějovice, 2023

Bibliografická identifikace

Název bakalářské práce: Sledování dynamiky změn saturace kyslíkem při různě dlouhé apnoi

Jméno a příjmení autora: Dmitriy Bezruk

Studijní obor: BTV-1

Pracoviště: Katedra tělesné výchovy a sportu PF JU

Vedoucí bakalářské práce: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2023

Abstrakt:

Cílem naší bakalářské práce je sledování dynamiky změn saturace kyslíkem při různě dlouhé apnoi u skupin běžců, plavců a nesportujících probandů pro zjištění, zda potápěčský trénink na souši bude mít vliv i na jiné skupiny lidí po osmitýdenní intervenci. Po intervenci, která obsahovala dýchací trénink doma čtyřikrát týdně na toleranci kyslíku a na toleranci oxidu uhličitého v organismu, hodnoty saturace u všech probandů byly nižší, hodnota srdeční frekvence u běžců a nesportujících probandů klesla a délka zádrže při maximální apnoi se u všech probandů prodloužila a byla prokázána věcná významnost. Využití kyslíku v praxi je zásadní nejen pro potápěče a vytrvalostní sportovce, ale i pro běžnou populaci.

Klíčová slova: běžci, plavci, nesportující probandi, saturace, srdeční frekvence, dýchání, trénink, intervence.

Bibliographical identification

Title of the bachelor thesis: Monitoring the dynamics of changes in oxygen saturation with different lengths of apnea.

Author's first name and surname: Dmitriy Bezruk

Field of study: BTV-1

Department: Department of Sports studies

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

The year of presentation: 2023

Abstract:

The aim of our bachelor's work is to monitor the dynamics of changes in oxygen saturation during apnea of varying duration in runners, swimmers and non-sporting probands in order to find out whether diving training on land will have an effect on other groups of people after an eight-week intervention. After the intervention, which included breathing training at home four times a week on oxygen tolerance and carbon dioxide tolerance in the organism, the saturation values in all probands were lower, the heart rate value in runners and non-sporting probands decreased, and the duration of maximal apnea was increased in all probands and material significance has been demonstrated. The use of oxygen in practice is essential not only for divers and endurance athletes, but also for the general population.

Keywords: runners, swimmers, non-sporting people, saturation, heart-rate, breathing, training, intervention.

Prohlášení

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

Datum.

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji všem jedincům, kteří byli rádi se připojit k měření v laboratoři a prodělat osmítýdenní domácí intervenci. Také děkuji vedocímu mé bakalářské práci PhDr. Petru Bahenskému, Ph.D. za cenné připomínky, důvěru, podporu, zapůjčení literatury a možnost využití laboratoře KTVS.

Obsah

1 Úvod	10
2 Teoretická východiska zaměřená na funkční zátěžovou diagnostiku a potápění	11
2.1 Sportovní potápění	11
2.2 Dýchání ve sportu	16
2.3 Zátěžová funkční diagnostika ve sportu	18
3 Cíl, úkoly a hypotézy	25
3.1 Cíl práce	25
3.2 Úkoly práce	25
3.3 Hypotézy	25
4 Metodika	27
4.1 Charakteristika testovaných souborů	27
4.2 Design experimentu	28
4.3 Nástin v statistickém zpracování experimentálních prací	40
5 Výsledky	42
5.1 Saturace všech probandů při různě dlouhé apnoi	42
5.2 Srdeční frekvence všech probandů při různě dlouhé apnoi	50
5.3 Zadržení dechu při maximální apnoi	58
5.4 Dechová frekvence při vyšetření na bicyklovém ergometru	62
5.5 Minutová ventilace při vyšetření na bicyklovém ergometru	66
5.6 Dechový objem při vyšetření na bicyklovém ergometru	70
5.7 VO ₂ max při vyšetření na bicyklovém ergometru	74
5.8 Usilovný výdech vitální kapacity (FVC)	78
6 Diskuse	82
7 Závěr	85
Referenční seznam literatury	86
Internetové zdroje	87

1 Úvod

V prvním ročníku svého studia na Katedře tělesné výchovy a sportu jsem dostal velmi zajímavou nabídku pomáhat jako asistenta v Laboratoři funkční zátěžové diagnostiky, kde se provádějí různé velmi zajímavé výzkumy a testování. Od prvního dne se mi tato práce hodně zalíbila a chtěl jsem svoji bakalářskou práci spojit s testováním v naší laboratoři. Jedním z důvodů se zaměřit na tuto práci byly vynikající výsledky potápěčů při postoupení jednoho z mnoha testů u nás v laboratoři, ve kterém oni se zadržením dechem mohli dosáhnout neuvěřitelných tehdy pro mě změn v organismu.

Při měření všem potápěčům výrazně klesaly hodnoty srdeční frekvence a saturace krve kyslíkem v organismu. Následně našemu kolektivu v laboratoři napadlo provést stejné testování i u jiných skupin lidí a sledovat jejich změny v organismu. Zaujalo nás, zda bude potápěčský dechový trénink na souši mít vliv na saturaci krve kyslíkem a srdeční frekvenci u jedinců, kteří se potápěním předtím nikdy nezabývali, ale mají ke sportu přímý vztah a zároveň i u lidí, co se žádnému sportu profesionálně nikdy v životě nevěnovali. Rozhodli jsme se, že provedeme 1. měření v laboratoři a následně všichni probandi budou 8 týdnů opakovat dýchací trénink doma, který je úplně stejný s prováděným měřením v laboratoři. Pak otestujeme probandy znovu a zaznamenejme změny či vliv tréninku. Byly námi vybrané tři skupiny lidí, a to jsou běžci atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice, plavci oddílu PLAVÁNÍ České Budějovice, z. s. a nesportující studenti Jazykové školy Rener Education.

Při měření testů nás též zajímalo, jestli dechový potápěčský trénink na souši bude mít vliv i na fyzický výkon jedinců a skupiny v celku, konkrétně na usilovný výdech vitální kapacity plic, dechovou frekvenci, minutovou ventilaci, dechový objem a maximální spotřebu kyslíku v organismu, což jsme měřili pomocí spiroergometrického vyšetření na bicyklovém ergometru v laboratoři.

2 Teoretická východiska zaměřená na funkční zátěžovou diagnostiku a potápění

2.1 Sportovní potápění

Úvod do potápění

Potápění v dnešní době je jedním z nejmodernějších dobrodružství v našem přetechnizovaném světě. Je to velice klidný sport, který je spíše zaměřen na lidi, co rádi tráví čas individuálně bez ostatních lidí. Potápění je sport, který se dá po důkladné instruktáži rychle a bezpečně naučit. Váš zdravotní stav musí být velmi dobrý, a proto je nutné absolvovat i nezbytná lékařská vyšetření před zahájením výcviku. Věková hranice, v kterém věku je možné se potápět, je dána pouze směrem dolů, a to od 14. roku. Omezení ohledně věku, pokud váš zdravotní stav je dostatečně dobrý, neexistují. Důkazem je žena, která se jmenovala Leni, která začala s potápěním až v 70 letech a později se stala světově známou fotografkou světa pod vodou. Existuje hodně názoru, že potápění je riskantní nebo nebezpečný sport, ale dá se jistě říct, že je to jen dílem lehkomyšlnosti a nedostačujícího proškolení v daném oboru těch, kterým se problémy během potápění stávají (Holzapfel, 2004).

Historie sportovního potápění

V minulosti touha lidí dostat se pod hladinu vody byla přítomna již dlouho. Přesný počátek této touhy se nedá stanovit, ale první dochovaná zpráva o potápění pochází z Asyrského reliéfu z doby přibližně 900 let před n. l. Nejstarší potápěčská zařízení, která byla funkční z fyzikálního hlediska, se datují do doby přibližně před šesti tisíci lety a byly to zásobníky vzduchu v podobě kožených vaků, které potápěči používali k dýchání pod vodou. Řeční potápěči v roce 415 před n. l. zničili opevnění Syrakus. Alexandr Veliký se podle tradice nechal v roce 332 před n. l. spustit v sudu s okny pod hladinu, aby mohl pozorovat práci potápěčů, kteří odstraňovali zátarasy v přístavu města Tyru. V té době se potápěči vybavovali trubicemi s plovákem na konci. Záznamy ukazují, že v oblasti kolem Středozemního moře v období kolem začátku našeho letopočtu byly podvodní práce tak rozšířené, že byla uzákoněna i výše odměny v závislosti na hloubce prováděných prací (Dobeš, 2005).

Začátky teorie sportovního potápění

S postupem vývoje techniky potápění se objevily první poznatky o fyziologii potápění. V knize Roberta Boylea z roku 1660, která se zabývá fyzikálními vlastnostmi vzduchu, se popisuje chování zvířat v přetlaku. Později se touto problematikou začal zabývat Francouz Paul Bert, který se zaměřil na dýchání letců a horolezců v nízkém tlaku ve vyšších nadmořských výškách a na vysoký tlak v tlakové komoře. Paul Bert se také věnoval zdravotním problémům dělníků pracujících v kesonech – uzavřených komorách bez dna, které se používaly při stavbě mostů. Po vynoření z vody mnozí dělníci pociťovali bolesti kloubů nebo dokonce ochrnutí. Paul Bert zjistil, že zvýšený tlak nemá přímý vliv na živé organismy, ale že problémy způsobuje dýchání kyslíku pod vyšším tlakem. Ukázalo se také, že při dýchání kyslíku při větším tlaku dochází k rozpouštění dusíku v tělesných tkáních a při následném snížení tlaku dochází k uvolňování přebytečného dusíku, což může vést k kesonové nemoci - problému s ucpáním krevního řečiště bublinkami dusíku. (Dobeš, 2005).

Potápěčský výcvik

Podle Dvořákové (2005) potápěčský nácvik bychom mohli rozdělovat na 2 části: před zahájením výcviku a po jeho absolvování. Před zahájením výcviku je nutné dodržet určité podmínky. Až po splnění těchto podmínek, člověk může začít s potápěčským výcvikem:

- Minimální věk pro danou výcvikovou školu, která byla zvolena, a daný kvalifikační stupeň (např. výcvikový systém CMAS – potápěčská kvalifikace: potápěč junior SPČR – věk 12 let; kvalifikační stupeň P – věk 14 let),
- prokázat dovednost plavání – nejméně 200 m,
- projít předepsanou lékařskou prohlídkou.

Toto jsou základní dovednosti a znalosti, které by měl každý potápěč ovládat, aby mohl bezpečně potápět. Následuje stručný popis jednotlivých bodů:

Individuální technika potápění – potápěč by měl být schopný ovládat veškerou potápěčskou výstroj a potápěčské dovednosti, jako je používání ploutví, masky, dýchacího přístroje a vyrovnávání tlaku.

Dále by měl umět správně zanořovat a vynořovat, ovládat vztlak a provádět další dovednosti. Záchrané techniky – každý potápěč by měl být schopný zvládnout základní záchrané techniky, jako je nouzový výstup pomocí kompenzátoru vztlaku a vynesení partnera na hladinu a jeho tažení.

Údržba potápěčské výstroje – potápěč by měl umět správně ošetřovat a udržovat potápěčskou výstroj, aby byla vždy v dobrém stavu a bezpečná pro potápění.

Základy problematiky dekomprese – potápěč by měl umět stanovit nulové časy, dobu vysyčení zbytkového dusíku a časový limit letu letadlem po posledním ponoru, aby se vyhnul dekompresní nemoci.

Pravidla bezpečného potápění – potápěč by měl dodržovat pravidla bezpečného potápění, jako je nehyperventilování a nezadržování dechu při výstupu, aby se minimalizovalo riziko nehod.

Potápěčské signály – každý potápěč by měl umět používat potápěčské signály, aby mohl komunikovat s ostatními potápěči.

Plánování ponoru a vedení deníku – potápěč by měl být schopen plánovat ponor a vést deník potápění, aby mohl sledovat své ponory a zlepšovat své dovednosti.

Výpočty předpokládané spotřeby vzduchu – potápěč by měl být schopen vypočítat předpokládanou spotřebu vzduchu při potápění a přepouštět láhve, aby mohl bezpečně potápět.

Potápěčský trénink

Statická apnoe je jednou z nejnáročnějších a nejnebezpečnějších disciplín freedivingu. Proto je důležité, aby se trénink prováděl pod dohledem zkušeného trenéra a v souladu s bezpečnostními pravidly. Tabulka O₂ obsahuje postupné zvyšování času zadržetí dechu, přičemž každá hodnota je větší než předchozí. Tento postupný trénink umožňuje organismu postupně zvyšovat toleranci vůči nedostatku kyslíku. V poslední řadě se čas zadržetí dechu v tabulce O₂ blíží k maximálnímu možnému času zadržetí dechu člověka. Tabulka CO₂ (viz obrázek 2) je zaměřena na zvyšování tolerance organismu vůči přebytku oxidu uhličitého v plicích. Při zadržování dechu se hromadí oxid uhličitý, což může vést k pocitu úzkosti a dokonce ke ztrátě vědomí. Trénink s tabulkou CO₂ umožňuje tělu zvyknout si na vysoké hladiny oxidu uhličitého a snižuje riziko hyperventilace. V obou tabulkách se postupně zvyšuje čas zadržetí dechu a čas odpočinku mezi nimi. Je důležité dodržovat přesně daný tréninkový plán a nepřekračovat své hranice. Při tréninku statické apnoe je nutné dbát na bezpečnost a nepodceňovat potenciální rizika spojená s touto disciplínou (yachtmeni, 2016),

Obrázek 1

Příklad tabulky O₂ (<https://www.yachtmeni.cz/freediving-apnea/apnea-trenink/>)

O ₂ tabulka		
1.	dýchání 1:00	zadrž 0:30
2.	dýchání 1:00	zadrž 1:00
3.	dýchání 1:00	zadrž 1:30
4.	dýchání 1:00	zadrž 2:00
5.	dýchání 1:00	zadrž 2:30
6.	dýchání 1:00	max.zadrž

Další trénink potápěčů na toleranci oxidu uhličitého (CO₂) v organismu je spíše zaměřen na zklidnění organismu při apnoi. Cílem je se naučit snížit srdeční frekvenci při zadržení dýchání. Hladina CO₂ v krvi je organismem používána jako indikátor spouštění dýchání. Zvýšení odolnosti organismu člověka vůči hladině oxidu uhličitého se provádí opačným způsobem. Při tréninku se doba zadrž dechu nemění, ale doba dýchání se zkracuje (viz obrázek 2). Doba zadrž dechu by měla být asi 50 % maxima člověka (yachtmeni, 2016).

Obrázek 2

Příklad tabulky CO₂ (<https://www.yachtmeni.cz/freediving-apnea/apnea-trenink/>)

CO ₂ tabulka a		
1.	dýchání 1:30	zadrž 1:00
2.	dýchání 1:15	zadrž 1:00
3.	dýchání 1:00	zadrž 1:00
4.	dýchání 0:45	zadrž 1:00
5.	dýchání 0:30	zadrž 1:00

Potápěčský reflex

Käsinger (2004) psal, že potápěčský reflex je přirozená fyziologická reakce organismu u savců a u lidí na ponoření do vody. Při ponoření do vody člověk si namočí obličej a nos, což automaticky vyvolává odezvu organismu, při které se zpomaluje srdeční frekvence, snižuje se činnost srdce a dochází k zadržení dechu. Z důvodu těchto fyziologických změn tělo začíná pracovat v úsporném režimu a nedochází ke zbytečnému výdeji energie. Potápěčský reflex lze postupně zlepšovat vhodným tréninkem, což je jednou z nejlepších metod prodloužení času, který člověk může vydržet pod vodou na jeden nádech. U nejlepších potápěčů světa hodnota srdeční frekvence při statické apnoei může klesat do 20 tepů za minutu i méně.

2.2 Dýchání ve sportu

Všichni živé organismy ve světě potřebují kyslík. Dýchání má u každé osoby dvě podstatné funkce: přijímání kyslíku do organismu a jeho rozvedení do těla prostřednictvím krevního oběhu. Dále odbourávání oxidu uhličitého, který vzniká při látkové výměně a dostává se z organismu při výdechu. Při dýchání u člověka se pohybuje pouze bránice, nikoliv plíce. Pohyb je veden žebry, které ovládá svalstvo. Zvětší se objem dutiny a plíce se rozpínají (Käsinger & Munzinger, 2005).

Dýchací cesty v organismu

Mourek (2005) ve své knize uvádí, že Při vdechování proudí vzduch z vnějšího prostředí do plic, kde dochází ke vstřebávání kyslíku a odstraňování oxidu uhličitého. Kyslík se váže na hemoglobin v červených krvinkách a je tak distribuován do tkání po celém těle. Naopak oxid uhličitý se uvolňuje z tkání a váže se na hemoglobin, aby byl vyloučen z těla při výdechu. Výměna dýchacích plynů mezi plicy a krví probíhá přes tenkou vrstvu kapilár, které obklopují každý plicní sklípek. Tento proces se nazývá plynová výměna a je základním mechanismem dýchání. Vzduch v plicích se mísí s krevní plazmou a tvoří se tak arteriální krev, která obsahuje dostatek kyslíku pro živé tkáně. Dýchání je regulováno centrem dýchání v mozku, který ovládá svaly potřebné pro dýchání. Tento mechanismus reaguje na hladinu oxidu uhličitého v krvi a přizpůsobuje frekvenci a hloubku dýchání, aby udržel správnou hladinu kyslíku a oxidu uhličitého v krvi. Dýchání může být ovlivněno řadou faktorů, jako jsou například fyzická aktivita, nadměrná úzkost nebo stres, některé léky a nemoci dýchacího systému. V případech potíží s dýcháním je vždy důležité vyhledat odbornou pomoc.

Ventilace plic

Ventilace (vnější dýchání) je cyklický pohyb se změnou vdechu a výdechu. Vdech (inspirium) je pohyb aktivní. Nejdůležitějším svalem při nádechu je bránice. Jde o sval, který odděluje dutiny hrudní a břišní. Při zkrácení a dýchání v klidu se dutina hrudní zvětšuje o 350 ml, což je objem vzduchu, který se dostává vlastním vdechem do plic. Dalšími aktivními inspiračními svaly v organismu jsou zevní mezižební svaly, které se používají pro rozvinutí hrudního koše. Výdech (expirium) je naopak pohyb pasivní. To je proto, že bránice se vytlačuje zpět a žebra se vracejí do své původní polohy. Také existují různé pomocné svaly, a to jsou ty, které jsou aktivované při zátěži nebo aktivitě. Ty svaly jsou schopné při fixaci horních končetin zvedat prvními dvěma až třemi páry žeber, a tím zvětšit objem hrudníku při

vdechu. Jsou to prsní a podklíčkové svaly, kývači hlavy atd. Klidové dýchání se nazývá eupnoe, zrychlené dýchání je tachypnoe, a prohloubené hyperpnoe. Zastavení dechu je apnoe (Mourek, 2012).

2.3 Zátěžová funkční diagnostika ve sportu

Úvod do zátěžové funkční diagnostiky ve sportu

Fyziologie tělesné zátěže je zaměřena na pozorování reakce organismu na zatížení a na studium přízpůsobení navozených tělesným zatěžováním. Významným faktorem tohoto studia je popis a charakterizace různých fyzicky a psychicky náročných výkonů a identifikace vhodných funkčních charakteristik, které jsou podmínkou úspěšného zvládnutí těchto činností a výkonů. To se týká velkého spektra profesí, jako jsou ozbrojené, bezpečnostní nebo záchranné složky. Také se to týká leteckého a kosmického personálu atd., které jsou v centru zájmu pracovní fyziologie a lékařství, letecké fyziologie a kosmické medicíny a dalších oborů. K oblasti psychofyzicky náročných profesí lze přiřadit i rozmanitou oblast sportovních výkonů, které se vyznačují vysokou variabilitou intenzity a doby trvání zatížení, způsobu energetické úhrady, nároků na rychlost, sílu, vytrvalost a koordinaci, respektive techniku pohybu. Fyziologie tělesné zátěže patří do oblasti sportu, a proto se zaměřuje na popis a charakterizaci sportovního výkonu a identifikaci vhodných fyziologických charakteristik pro různé sportovní odvětví, které se mohou výrazně lišit. Praktickým motivem pro studium je růst sportovních výkonů. Zvyšování intenzity a objemu tréninku může naopak někdy vést k poklesu výkonnosti a syndromu únavy a přetrénování. Dalším motivem jsou zdravotní aspekty pohybu člověka, kde je jasné, že vhodnou fyzickou zátěží, intenzitou tréninku a objemem lze podporovat zdraví a působit pozitivně na řadu zdravotních problémů. Obecně doporučované sporty nemusí být vhodné pro jednotlivce, kteří se odlišují svými dispozicemi (Heller, 2018).

Důležité místo v této diagnostice má zátěžová funkční diagnostika. Laboratorní zátěžová diagnostika zpravidla představuje tzv. „zlatý standard“, ke kterému se vztahují různé zátěžové testy, a to jak terénní, tak i laboratorní. V těchto laboratořích lze provádět různé výkonové či motorické testy, kterými lze posoudit úroveň pohybových schopností nebo komponent zdatnosti, ale většinou ty testy vyžadují i nějakou dovednost nebo techniku pohybu, což může výrazně limitovat výpovědní hodnotu. Výsledky v některých testech jsou často ovlivněny významným způsobem zácvičím, kdy se se zvyšujícím počtem opakování daného testu zlepšuje i jeho výsledek. Funkční zátěžová diagnostika se může kvalifikovaně vyjádřit k reálnosti vytyčených krátkodobých či dlouhodobých výkonnostních cílů s ohledem na aktuální stav jedince a individuální možnosti sportovní přípravy (Heller, 2018).

Historie zátěžové funkční diagnostiky ve sportu

Historicky se posuzování zdatnosti a výkonnosti člověka vyskytuje už ve starověku, například při hodnocení výsledků tvrdého výcviku mladých chlapců v antické Spartě v 8. století před naším letopočtem. V průběhu let se metody hodnocení zlepšovaly, až koncem 17. století francouzský matematik a astronom Philippe de La Hire sepsal pojednání o měření síly člověka se silou koně. Později byl vyvinut dynamometr, který se používal při měření svalové síly bez zapojení synergických svalových skupin. V průběhu 19. století se uplatňovaly různé koncepty a hlediska v hodnocení tělesné zdatnosti, jako například německý turnerský koncept nebo neurologicko-motorické koncepty anglického genetika F. Galtona. Zátěžová funkční diagnostika se začala rozvíjet koncem 19. století. Například již v roce 1883 byla využita kliková ergometrie pro hodnocení pracovního výkonu horních končetin, a o 14 let později byl zkonstruován první mechanický brzděný bicyklový ergometr. V roce 1889 byl vyvinut běhací pás, který byl později využit k fyziologickému výzkumu lokomoce člověka (Heller, 2018).

Počátky zátěžové funkční diagnostiky jako laboratorního vyšetřování zdatnosti a výkonnosti lze zaznamenat již koncem 19. století (Van Praag & Pranca, 1998). Například již roku 1883 využil v Německu hesenský lékař C. Speck klikovou ergometrii pro hodnocení pracovního výkonu horních končetin. Později rokem 1897, ve Francii Elysée Bouny zkonstruoval první mechanický brzděný bicyklový ergometr. V Berlíně Nathan, Zuntz a Lehmann vyvinuli v roce 1889 běhací pás, který byl následně v roce 1915 využit Francisem Gano Benedictem a Hansem Murschhauserem k fyziologickému výzkumu lokomoce člověka (Heller, 2018).

V průběhu 20. století se zátěžová diagnostika stala neodmyslitelnou součástí sportovního tréninku a lékařských vyšetření. Byly vyvinuty různé testy pro hodnocení tělesné zdatnosti a výkonnosti, jako například Cooperův běžecký test, Harvard Step Test, Balke test, Bruceův protokol atd. V této oblasti se také začalo více využívat moderních technologií, jako jsou různé senzory a monitorovací systémy pro sledování srdeční frekvence, krevního tlaku, dýchání a dalších fyziologických funkcí během zátěžových testů. V současné době se zátěžová diagnostika využívá nejen v oblasti sportovního tréninku a lékařských vyšetření, ale také v průmyslu a vojenských organizacích pro posouzení fyzické zdatnosti a výkonnosti zaměstnanců a vojáků (Kolesár & Mikeš, 1981).

Spiroergometrie – test VO₂max

Spiroergometrickým testem rozumíme zátěžové vyšetření na některém z obvyklých zátěžových zdrojů s analýzou vydechovaných plynů v klidu, během zátěže a během zotavovací fáze po vyšetření. V anglické literatuře se spiroergometrické vyšetření často vyjadřuje zkratkou CPX nebo CPET (cardiopulmonary exercise testing). Spiroergometrické vyšetření umožňuje posoudit kapacitu všech součástí transportního systému pro kyslík a určit jeho hlavní faktory (Várnay et al., 2020).

Základním výstupem spiroergometrického vyšetření v oblasti funkční diagnostiky zdatnosti a výkonnosti člověka je maximální aerobní kapacita, která představuje celkové množství mobilizované energie během testu, kterou lze získat oxidativní resyntézou ATP (adenosintrifosfátu). Toto množství energie ale nelze přímo určit, ale v praxi se používá několik nepřímých ukazatelů, které mají těsný vztah k tzv. aerobní zdatnosti. Jedním z nich je maximální spotřeba kyslíku (VO₂max) (Heller, 2018).

Indikace spiroergometrie

Za účelem posouzení funkční zdatnosti u nemocných s funkčním omezením se využívají různé diagnostické metody, jako například spiroergometrie, ergometrie, spirometrie, echokardiografie, magnetická rezonance, elektrokardiografie apod. Tyto metody slouží ke zjištění fyziologických parametrů, jako je například kyslíkový příjem, tepová frekvence, krevní tlak, dechový objem atd. Tyto informace následně pomáhají lékařům a rehabilitačním specialistům posoudit funkční zdatnost pacientů a navrhnout optimální terapeutické postupy, jako jsou například rehabilitace, farmakoterapie, invazivní výkony nebo chirurgické zákroky. Prognóza u nemocných se srdečním selháním je důležitým parametrem pro rozhodnutí o srdeční transplantaci. Prognóza se zvažuje na základě různých kritérií, jako jsou například velikost a funkce srdce, klinické symptomy a zátěžové testy. Stanovení optimální intenzity tréninkového zatížení je důležité pro úspěšnou kardiovaskulární rehabilitaci, rehabilitaci onkologických pacientů a pacientů s plicním onemocněním. Cílem je maximalizovat terapeutický efekt zátěže a minimalizovat riziko komplikací. Odhad perioperačního rizika je důležitým faktorem při plánování nekardiálních hrudních a břišních operací. Zátěžové testy mohou pomoci odhadnout riziko komplikací při operaci a optimalizovat přípravu pacienta. Diferenciální diagnostika plicní a kardiální dušnosti je důležitá pro správné stanovení diagnózy a volbu vhodné léčby. Spiroergometrie může pomoci odlišit mezi kardiální a plicní dušností a určit správnou diagnózu (Várnay et al., 2020).

Kontraindikace spiroergometrie

Seznam absolutních kontraindikací pro provádění spiroergometrického testu je následující:

- Akutní zánětlivá onemocnění, která mohou ovlivnit výkon a výsledky testu,
- akutní infarkt myokardu, nestabilní angina pectoris a symptomatické závažné arytmie, které zvyšují riziko komplikací během testu,
- globální respirační insuficience, která může ovlivnit schopnost pacienta vykonat test,
- hemodynamicky významné srdeční vady a disekce aorty, které představují vážné riziko pro pacienta,
- maligní hypertenze a akutní srdeční selhání nebo akutní respirační insuficience, které mohou vést k akutním komplikacím,
- akutní plicní embolie a akutní cévní mozková příhoda, které jsou akutními stavy, které mohou ovlivnit schopnost pacienta provést test,
- aktivní onemocnění jater, ledvin, endokrinní onemocnění a významná anémie, které mohou ovlivnit výkon a výsledky testu,
- těžké neurologické a ortopedické onemocnění, které mohou ovlivnit schopnost pacienta provést test,
- těžká plicní hypertenze, která může ovlivnit schopnost pacienta provést test a představuje vysoké riziko pro pacienta.

Před prováděním spiroergometrického testu je důležité pečlivě posoudit, zda pacient splňuje kritéria pro jeho provedení a zda neexistují žádné absolutní kontraindikace.

Relativní kontraindikace:

- Méně až středně významné arytmie,
- srdeční a cévní aneuryzma,
- hypertrofická obstrukční kardiomyopatie závažnějšího stupně,
- závažná hypertenze,
- některé nedostatečně kompenzované metabolické poruchy,
- ortopedické nebo neurologické limitace,
- některé psychické poruchy,
- špatná spolupráce s pacientem, neochota (Várnay et al., 2020).

Ukazatele dechových funkcí při fyzickém zatížení

Vitální kapacita plic (VC) je důležitým ukazatelem funkce plic a dýchacího systému jako celku. Zlepšování hodnoty VC lze dosáhnout tréninkem, který zahrnuje cvičení na zlepšení plicních funkcí a kardiovaskulární kondice. Cvičení, která zahrnují aerobní a anaerobní aktivity, jako je běh, cyklistika, plavání, cvičení s využitím odporu nebo jiné formy vytrvalostního tréninku, mohou pomoci zlepšit VC.

Je důležité poznamenat, že vysoká hodnota VC neznamena nutně vysokou úroveň fyzické kondice. Někteří jedinci mohou mít přirozeně větší hrudník nebo jsou geneticky predisponováni k větší kapacitě plic. Kromě toho, i když jsou potápěči schopni dosáhnout velmi vysokých hodnot VC, není tento ukazatel vždy spojen s vysokou úrovní celkové fyzické kondice.

Klinické měření usilovného výdechu vitální kapacity (FVC) se často používá ke sledování progresu různých plicních onemocnění, jako je například astma nebo chronická obstrukční plicní nemoc (COPD). Měření FVC umožňuje lékařům monitorovat, jak dobře pacienti dýchají a jak se jejich plicní funkce mění v průběhu času.

Celkově lze říct, že vitální kapacita plic je důležitým ukazatelem zdraví plic a dýchacího systému. Zlepšení VC lze dosáhnout tréninkem, ale vysoká hodnota VC nemusí nutně znamenat vysokou úroveň fyzické kondice (Bartůňková et al., 2013).

Dechová frekvence (DF) je důležitý parametr, který ovlivňuje ventilaci plic, a tedy i množství kyslíku a oxidu uhličitého v krvi. Vyšší dechová frekvence vede k rychlejšímu a mělkému dýchání, což může vést ke zhoršenému výkonu a únavě dýchacího svalstva. Naopak nižší dechová frekvence umožňuje hlubší dýchání, a tedy i větší množství vdechovaného vzduchu. Je důležité rozlišovat mezi vynucenou a spontánní dechovou frekvencí. Vynucená dechová frekvence je způsobena aktivitou a pohybem, jako například běh nebo plavání, kde se vyžaduje rychlejší dýchání. Spontánní dechová frekvence je ta, kterou si tělo určuje samo v klidu nebo při mírné aktivitě. Při vyšší intenzitě zátěže je důležité zvyšovat objem dýchání a snižovat dechovou frekvenci. Tento typ dýchání umožňuje větší množství kyslíku a oxidu uhličitého v krvi, což zlepšuje výkon a snižuje riziko únavy dýchacího svalstva. Pokud je dechová frekvence příliš vysoká, může dojít ke snížení dechového objemu a tím i k omezení množství kyslíku, které tělo získá. Kromě toho se dechová frekvence může lišit v závislosti na pohlaví a věku. U žen bývá v průměru vyšší než u mužů a u starších lidí může být nižší než u

mladších. Nicméně, vždy záleží na individuálních charakteristikách a zdravotním stavu jedince (Bartůňková et al., 2013).

Minutová ventilace (V) je objem vzduchu, který projde plicemi za 1 minutu. Vyjadřuje se v $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ (Várnay et. al., 2020). Minutová ventilace odpovídá součinu dechové frekvence a dechového objemu, někdy se rozlišuje expirační minutová ventilace V_E měřená na výdechu a inspirační V_I měřená na vdechu, které se navzájem odlišují teplotou i obsahem vodních par, které jsou vyšší ve vydechovaném vzduchu (Heller, 2018). Bartůňková et al. (2013) konstatuje, že klidová minutová ventilace činí $7\text{--}10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, ale při zatížení stoupá až na $80\text{--}90 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ u žen, a na $100\text{--}130 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ u mužů. Trénovaní jedinci s velkou vitální kapacitou dosahují až $150\text{--}200 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Při různých sportovních činnostech je minutová ventilace díky restriktivním okolnostem prostředí snižena, např. při plavání, což pak pomáhá k nižší spotřebě kyslíku.

Dechový objem (VT) se měří v litrech a představuje množství vzduchu, které se vdechne nebo vydechne jedním dechem. Jeho hodnota závisí na dechové frekvenci, která se udává počtem nádechů za minutu, a na vitální kapacitě plic. Při vysoké dechové frekvenci se dechový objem zvyšuje jen málo nebo se vůbec nezvyšuje, protože se jedinec nedokáže dostatečně nadechnout. Dechový objem v klidu činí obvykle mezi 0,5 až 0,7 litru, při středním zatížení se zvyšuje na 1,0 až 2,0 litru a při vysokém zatížení může dosáhnout až 2,5 až 3,0 litru. Pro objektivnější posouzení se používá relativní hodnota dechového objemu v procentuálním podílu vitální kapacity. Vitální kapacita plic je maximální objem vzduchu, který je možné vydechnout po maximálním nádechu. Při středním zatížení by měl být dechový objem kolem 30 % vitální kapacity plic a při vyšší intenzitě zatížení by měl stoupnout na 50 % vitální kapacity plic. Výkonnostní sportovci mohou dosáhnout dechového objemu až 70 % vitální kapacity plic, což může činit kolem 4 litrů. Je důležité mít na paměti, že dechový objem není jediným faktorem ovlivňujícím příjem kyslíku a výdej oxidu uhličitého. Na celkovou ventilaci plic má vliv také dechová frekvence a alveolární ventilace, tedy množství vzduchu, který se skutečně dostává do plic a vyměňuje se s krví (Bartůňková et al., 2013).

Maximální spotřeba kyslíku ($VO_{2\max}$) je maximální a vrcholová spotřeba (příjem) kyslíku: podle některých fyziologických koncepcí by měl být pojem $VO_{2\max}$ vyhrazen pouze pro nejvyšší minutové hodnoty spotřeby kyslíku v testu, kde bylo dosaženo plato ve spotřebě kyslíku (a to i přes další stupňování zatížení). Proto by to mělo plnit aspoň jedno z dalších tří kritérií, tj. poměr respirační výměny RER by měl přesahovat hodnotu 1,00 (u sportovců by měl přesáhnout 1,1), koncentrace laktátu v prvních minutách po testu by měla přesahovat 8

mmol. l⁻¹ (u sportovců 10 mmol. l⁻¹) a srdeční frekvence by se měla blížit teoretické maximální hodnotě. Pokud nejsou tato kritéria splněna měla by sa hodnota maximální spotřeby kyslíku se označovat jako VO₂peak, tedy vrcholová, nikoli maximální spotřeba kyslíku (Heller, 2018). Bartůňková et al. (2013) píše, že hodnota maximální spotřeby kyslíku činí u 25letých nesportovců 3,2 l.min⁻¹, u stejné starých žen 2,2 l.min⁻¹, ale věkem tato hodnota klesá.

3 Cíl, úkoly a hypotézy

3.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je sledování dynamiky změn saturace kyslíkem při různě dlouhé apnoi před a po absolvování osmitýdenního potápěčského tréninku na souši u probandů adolescentního věku s různým zaměřením.

3.2 Úkoly práce

- Vymezení teoretických východisek a na jejich základě vytvořit teoretickou část pro tuto bakalářskou práci,
- výběr vhodných probandů,
- provedení první části měření u všech probandů,
- zavedení osmitýdenního tréninku doma,
- absolvování osmitýdenní intervence doma,
- pravidelná kontrola správného provedení dvouměsíčního domácího cvičení, které je stejné s prováděním měření v laboratoři,
- provedení druhé části měření u všech probandů, které je stejné s prvním měřením v laboratoři a domácími cvičení,
- zpracování a analýza výsledků,
- diskuse a závěr.

3.3 Hypotézy

H1: Předpokládáme, že vlivem potápěčského tréninku u všech probandů dojde k významnému poklesu saturace krve kyslíkem po intervenci při testu na toleranci kyslíku.

H2: Předpokládáme, že vlivem potápěčského tréninku u všech probandů dojde k prodloužení času zadržení dechu při maximální apnoi při testu na toleranci kyslíku.

H3: Předpokládáme, že vlivem potápěčského tréninku u všech probandů dojde ke snížení hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého.

H4: Předpokládáme, že vlivem potápěčského tréninku u všech probandů dojde k významnému zlepšení hodnoty usilovného výdechu vitální kapacity plic.

H5: Předpokládáme, že u nesportujících probandů se výsledky saturace po intervenci sníží více, než u běžců a plavců z důvodu předchozí nezkušenosti s dýchacími cvičení.

Výzkumná otázka: Bude mít vliv dýchací cvičení na fyzické hodnoty jedinců a konkrétně na hodnoty $VO_2\max$, usilovný výdech vitální kapacity plic, dechovou frekvenci, minutovou ventilaci, dechový objem, poměr respirační výměny při vyšetření na bicyklovém ergometru?

4 Metodika

4.1 Charakteristika testovaných souborů

Naše bakalářská práce je experimentálního typu, ale při provádění měření v laboratoři chyběla kontrolní skupina.

Při výběru testovaných jedinců pro naše měření nutnou podmínkou byla ochotnost všech probandů projít čtyřmi testy u nás v laboratoři a prodělat domácí dvouměsíční tréninkový plán spojený s dýchacími cvičení vycházející z potápěčského tréninku na souši. Všichni probandi před zahájením měření byli informováni, že jejich výsledky budou anonymní a použité pouze pro výzkumy. Pro naši práci byly vybrány tři skupiny lidí: běžci atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice, plavci oddílu Plavání České Budějovice a nesportující skupina jedinců jazykové školy Rener Education v Českých Budějovicích.

Oddíl Plavání České Budějovice

Z plaveckého oddílu Plavání České Budějovice jsme sehnali 5 plavců adolescentního věku na výkonnostní úrovni. Všichni probandi byli mužského pohlaví a na moment provedení testování jejich průměrný věk byl $18 \pm 1,0$ let, průměrná hmotnost probandů činila $75,1 \pm 11,1$ kg a průměrná výška byla $181,4 \pm 7,1$ cm.

T. J. Sokol České Budějovice, atletický oddíl

Z atletického oddílu T. J. Sokol České Budějovice se k našemu výzkumu také připojilo 5 běžců mužského pohlaví. Všichni běžci jsou na výkonnostní úrovni a pravidelně se účastní různých výkonnostních závodů. Průměrný věk běžců na moment provedení testování byl $20,8 \pm 5,7$ let, průměrná hmotnost činila $74,6 \pm 10,5$ kg a průměrná výška byla $189,4 \pm 4,6$ cm.

Jazyková škola Rener Education

Z Jazykové školy Rener Education námi bylo vybráno 5 nesportujících probandů mužského pohlaví, kteří na moment provedení testování nesportovali již minimálně 1 rok. Jejich průměrný věk na moment provedení testu byl $18,2 \pm 1,6$ let, průměrná výška činila $178,2 \pm 8,5$ cm a průměrná hmotnost byla $71,4 \pm 15,2$ kg.

4.2 Design experimentu

Při našem výzkumu v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky u všech probandů jsme provedli 4 rozdílná měření na lehátku a dvě spiroergometrická vyšetření na bicyklovém ergometru (test $VO_2\max$) a to v rozmezí dvou měsíců. Každý jedinec absolvoval dvě měření v laboratoři následujícím způsobem. První den probandi absolvovali měření s názvem **test na toleranci kyslíku v organismu**, který zjišťuje nejnižší hodnotu saturace krve kyslíkem, na kterou se probandi dokážou dostat. Dalším dnem probandy byl prodělán **test na toleranci oxidu uhličitého v organismu**, při kterém probandi nemuseli se dostávat na maximální hodnoty saturace krve kyslíkem během měření a pro všechny probandy ten test byl výrazně jednodušší než test na toleranci kyslíku v organismu. Po absolvování druhého měření v laboratoři hned následovalo spiroergometrické vyšetření na bicyklovém ergometru. Důležité bylo, aby všichni probandi absolvovali měření v zhruba stejném fyzickém stavu a ze stejných podmínek. Proto cílem našeho kolektivu bylo zajistit testování v laboratoři vždycky ve stejný čas a snažili jsme se při měření dodržovat průměrně stejnou teplotu vzduchu v laboratoři.

Před samotným měřením se sportujícími jedinci (plavci a běžci) vždycky předem bylo domluveno, aby předchozí den nikdo ze sportujících probandů neměl náročné tréninky, nebo neměli trénink vůbec. Pro kolektiv laboratoře a pro všechny probandy to nebylo velkým problémem, protože naše laboratoř už docela dlouho spolupracuje s jejich trenéry a sportovními oddíly. Dále jsme se domlouvali s probandy, aby vždycky po cestě do laboratoře, jedinci byli dobře a teplo oblečení, a to je z důvodu přesnějšího měření saturace krve v organismu.

Procedura měření začala zápisem osobních údajů každého probanda do elektronického protokolu, kde bylo uvedeno jméno, příjmení, datum narození a tělesná výška v centimetrech. Tělesná výška byla stanovena pomocí manuálního antropometrického výškoměru v laboratoři. Každý jedinec se před měřením svlékl do spodního prádla a postavil se narovnaný na výškoměr. Asistent pak zaznamenal výšku do elektronického systému.

Dalším krokem našeho výzkumu bylo měření tělesné hmotnosti na speciálním přístroji Tanita BC 418 MA. Každý jedinec jenom ve spodním prádle nastupoval na tento přístroj a čekal, než zazní vhodné zvukové oznámení, které informovalo jedince o tom, že jedinec může na Tanitu nastoupit. Dále bylo potřeba vyčkat několik sekund a na povel od testujícího

asistenta proband si mohl vzít ruční madla do ruky. Po uplynutí určité doby na váze, která byla spojená se speciálními zvukovými signály, jedinec byl vyzván k odložení madel a mohl sestoupit z přístroje. Všechny zaznamenané hodnoty byly automaticky a okamžitě uloženy do počítače a následně vytištěny v protokolu.

Následujícím krokem pro probandy bylo navlečení ponožek a případně kraťasu, aby probandům nebyla zima a nemělo to negativní vliv na měření saturace krve kyslíkem v organismu. Poté všichni probandi byli vyzváni se položit na lehátko a bylo jim nasazeny všechna potřebná pro měření přístroje a příslušenství, a to jsou: EKG elektrody Kendall H92SG, Custo Med Cardio 100 BT, spiroergometrická maska a Prince – 100 B Fingertape Oximeter. Během připojování všech přístrojů a příslušenství jedinec byl informován a poučen asistentem laboratoře o průběhu samotného měření.

Dále po vysvětlení průběhu testu nastupovalo samotné měření, při kterém jedinec poslouchal speciální mobilní aplikaci Apnea Trainer, která přesně oznamovala okamžik, kdy je potřeba se na zádrž připravit, kdy zádrž začíná, kdy zádrž končí a oznamovala jedince o uplynutí každých 30 sekund. První test začínal 10sekundovou přípravou a hned po přípravě a uplynutí 10 sekund následovala první zádrž dobou 30 sekund, před kterou každý jedinec dělal jeden maximální nádech. Po uplynutí 30 sekund každý proband měl na rozdýchání 1 minutu, což vlastně všichni probandi měli po každé apnoi při testu na toleranci kyslíku v organismu. Po hlubokém minutovém dýchání následovala další zádrž, která už trvala jednu minutu. Po minutové apnoi jedinci znovu měli 1 minutu na hluboké dýchání a zásobování kyslíkem organismu. Po vyzvání k další apnoi jedinec po hlubokém nádechu zadržoval dech na dobu 1 minuta 30 sekund. Poté ukončení třetí zádrží jedinci znovu měli jednu minutu na vyrovnání dechu. Poté se na to navazovala další zádrž, která byla nastavená na 2 minuty. Po uplynutí dvou minut probandi znovu měli jednu minutu na rozdýchání. Dále následovala předposlední zádrž dobou 2 minuty 30 sekund, ale ne všichni probandi dokázali tuto zádrž zvládnout, což pro jedince, kteří nedokázali tuto dobu vydržet znamenalo konec prvního měření. Pro probandy, co zvládli vydržet dvě a půl minutovou zádrž zase následovalo minutové dýchání v klidu. Poté pro všechny probandy, kteří se dostali do závěrečné části testu po hlubokém nádechu následovala poslední zádrž na maximální dobu, kterou každý jedinec zvládne vydržet. Poslední zádrž nebyla doprovázená zvukovými signály a byla měřená na stopkách.

Po každé různě dlouhé apnoi testující asistent zapisoval hodnoty saturace krve kyslíkem a hodnoty srdeční frekvence na papír.

Druhé měření na toleranci oxidu uhličitého v organismu vždy probíhalo hned další den ve stejný čas v naší laboratoři. Jedinec znovu absolvoval měření váhy na Tanitě BC 418 MA stejným způsobem, jako den předtím. Výška se při dalších testováních u probandů neměřila.

Příprava a nasazování všech přístrojů a příslušenství byla také absolutně stejná. Probandi byli znovu informováni o odlišném průběhu měření a testování znovu začínalo 10vteřinovou přípravou a rozdýchání. Odlišovalo se to testování tím, že probandi měli tentokrát vždycky stejnou dobu zádrží a to je 1 minuta, ale doba hlubokého dýchání se postupně zkracovala o 15 vteřin od 1 minuty 30 sekund až po 30 sekund.

Každý proband po začátku testu a 10vteřinovém rozdýchání měl 1 minutu zádrž. Poté následovala nejdelší doba dýchání a to je 1 minuta 30 sekund. Dále na to znovu navazovala další minutová zádrž, po které jedinci už měli kratší dobu rozdýchání v čase 1 minuta 15 sekund. Následně probandi znovu zadržovali dech na jednu minutu a poté dýchací doba se zase zkracovala o 15 sekund a dýchání trvalo 1 minutu. Dále po následné minutové zádrží jedinci měli 45 sekund na hluboké dýchání a potom následovala předposlední minutová zádrž a posledních 30 sekund dýchání. Měření končilo poslední minutovou zádrží.

Po každé stejné dlouhé apnoi testující znovu zapisoval na papír hodnotu saturace krve kyslíkem a hodnotu srdeční frekvence.

Po ukončení druhého měření následovala fyzická část našeho výzkumu, která probíhala na spiroergometrickém bicyklu u nás v laboratoři. Testující sundával z probandů nepotřebná pro testování příslušenství, a to jsou: EKG elektrody Kendall H92SG, Custo Med Cardio 100 BT a Prince – 100 B Fingertape Oximeter. Probandi opatrně se obouvali do sportovních bot, vhodných pro jízdu na bicyklovém ergometru. Testující nasazoval hrudní pás pro měření srdeční frekvence a po nasazení hrudního pásu proband se mohl postavit z lehátka. Po postavení byl měřen usilovný výdech vitální kapacity plic (FVC). Každý z probandů provedl 2 pokusy na maximální usilovný výdech vitální kapacity plic a do protokolu byla zaznamenána nejlepší hodnota z obou pokusů.

Po měření klidové spirometrii následovalo nastavení pozice sedla a řídítek pro každého jedince zvlášť. I sedlo i řídítka lze korigovat ve čtyřech směrech: nahoru, dolů, dopředu a dozadu. Poté všem probandům byly vysvětleny signály pro zastavení testu. Signálem pro zastavení testu pro nás bylo zvednutí pravé ruky probandu, zároveň tento signál jsme použili pro oznámení, že jedinec se nachází skoro na hraní svých sil, ale může vydržet ještě zhruba 30

sekund. Před samotným testováním byl každému z probandů nasazen pulzní oxymetr na ukazováček levé ruky, který byl následně připojen ke speciálnímu bicyklovému ergometru.

Následoval samotný stupňovaný test VO₂max na bicyklovém ergometru. V první fázi testu měl každý z plavců 2 minuty na rozjetí a případnou úpravu sedla a řídítek podle svých potřeb. Všichni probandi začali s stejnou zátěží 25 W a měli dodržovat zhruba stejnou rychlost otáček a to je 80 až 90 otáček.min⁻¹. Po rozjetí v testu následovala dvouminutová pauza. Případně během pauzy individuálně byly prováděny korekce řídítka a sedla. Po ukončení dvouminutové pauzy následovala část stupňované zátěže. U všech probandů počáteční výkon zátěže se lišil a upravoval se ručně podle situace. Každou minutu se zátěž zvyšovala o 20 W nebo testující ji upravoval podle vlastních zkušeností, aby zátěžový test netrval příliš dlouho a byly dodrženy všechny podmínky pro úspěšné a co nejpřesnější absolvování testu. Během doby stupňované zátěže všichni probandi se snažili dodržovat rychlost v rozmezí 95 až 100 otáček.min⁻¹.

Po fázi stupňované zátěže následovala fáze vyjetí a zotavení, která trvala 3 minuty. Při poslední fázi probandi dodržovali rychlost otáček na hodnotě zhruba 60 otáček.min⁻¹. Zátěž u všech probandů byla stejná a to je 25 W.

Závěrem testu bylo subjektivní hodnocení testu pomocí Borgovy škály, kde každý proband hodnotil náročnost zátěžového testu.

Poté u každého probandu nastupovala doba, kdy oni měli provádět osmitýdenní domácí cvičení, který byly stejná s předchozími měřeními (test na toleranci kyslíku v organismu a test na toleranci oxidu uhličitého v organismu). Každé pondělí a středu jejich cílem bylo provést stejné s prvním měřením cvičení doma (test na toleranci kyslíku). Každé úterý a čtvrtek probandi také prováděli cvičení doma, ale už stejné s druhým měřením (test na toleranci oxidu uhličitého v organismu). Hned po každém cvičení jedinci posílali nám výsledky, a to jsou: doba poslední (maximální) apnoe při cvičení na toleranci kyslíku v organismu a svoje vlastní pocity z tohoto testu, jestli jim při cvičení nebylo zlé nebo například netlačilo v hrudníku atd.

Po osmitýdenním tréninku doma probandi znovu dorazili do naší laboratoře a prodělali jsme 3 stejné testy (test na toleranci kyslíku a oxidu uhličitého v organismu a test VO₂max na bicyklovém ergometru).

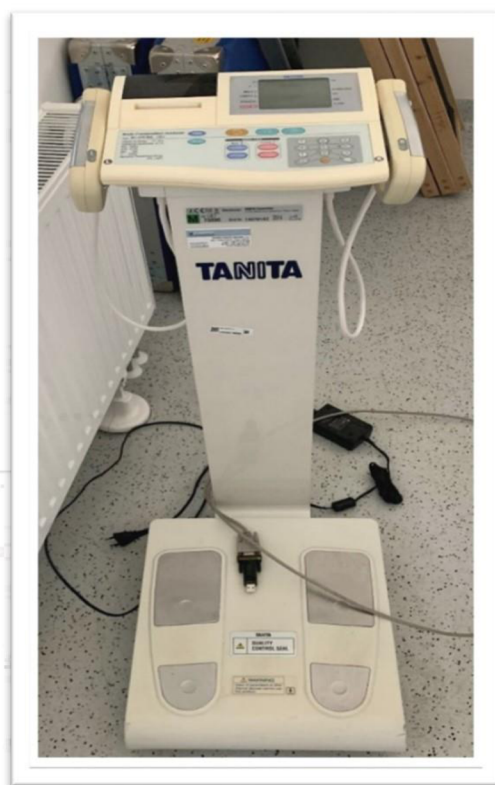
Použité testovací přístroje.

Při měření v naší laboratoři byly využity další testovací přístroje:

Tanita BC 418 MA. Na obrázku č. 3 lze vidět přístroj Tanita BC 418 MA. Tanita BC 418 MA je špičkový segmentální tělesný analyzátor s vestavěnou tiskárnou, který se využívá jak v sportu, tak i v medicíně a určen pro velmi široké množství oborů, jak jsou kardiologie, obezitologie nebo rehabilitační terapie. Analyzátor používá metodu multifrekvenční analýzy, což je v podstatě jediná metoda, která dokáže rozlišovat obsah celulární a extracelulární tekutiny v organismu. Měření probíhá pomocí snímacích katod, ze kterých 4 se nacházejí na spodní platformě a další 4 jsou umístěny v ručních madlech. Pomocí Tanity lze změřit další hodnoty: celková hmotnost, hmotnost svalové tkáně a tělesného tuku, celková tělesná voda, procento tělesného tuku, svalovou hmotu atd (Fitham, 2022),

Obrázek 3

Tanita BC 418 MA (zdroj vlastní)



Na obrázku č. 4 je zobrazen **Cortex MetaLyzer 3 B**, což je snadný přístroj, který slouží pro kardiopulmonální zátěžové testy a používá se v tréninkových centrech, nemocnicích nebo sportovních ordinacích. Pomocí MetaLyzeru lze provést kompletní vyšetření plic, srdce a metabolismu jak v klidovém stavu, tak i při zátěži. Tento přístroj funguje ve spojení se

software Metasoft a dokáže změřit až 100 kardiopulmonálních parametrů, což z něj dělá špičkový systém pro měření výkonnosti sportovců (Compek, 2022),

Obrázek 4

Cortex MetaLyzer 3 B (zdroj vlastní)



EKG elektrody Kendall H92SG pomocí kvalitního senzoru Ag/AgCl a konektoru, který zajišťuje snadné připojení svodů, lze provádět dlouhodobý monitoring EKG. Elektrody, které jsou zobrazeny na obrázku č. 5, lze použít prakticky u každého pacienta, z důvodu velmi širokého výběru nosných materiálů (Medikoots, 2022).

Obrázek 5

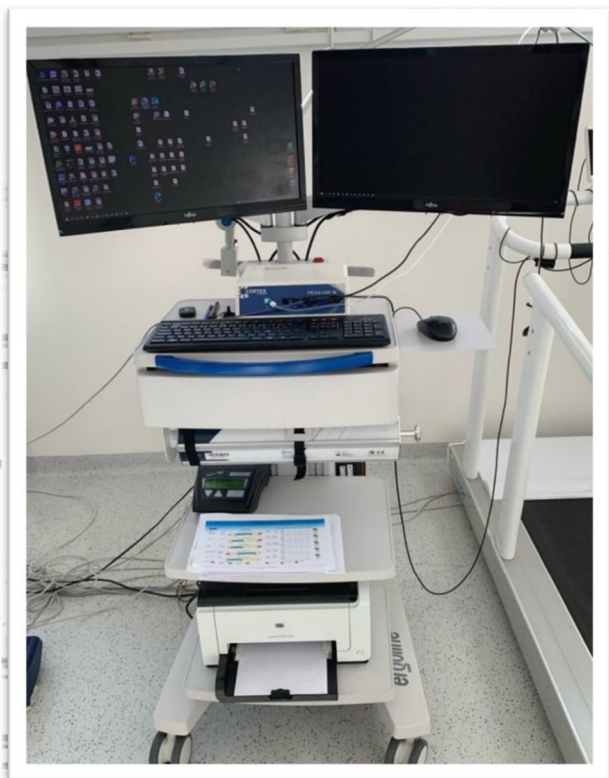
EKG elektrody Kendall H92SG (zdroj vlastní)



Cortex Meta Control 3000 je sestavený systém přístrojů pro spiroergometrická měření, který lze vidět na obrázku č. 6. Systém zajišťuje maximální spolehlivost při provádění CPET testů. Všechna zařízení jsou připojena k výkonnému počítači a spolu s přístrojem pro kardiopulmonální testy (Cortex Metalyzer) se nacházejí v přístrojovém vozíku. V jeho horní části jsou umístěny dva monitory určené pro zobrazení spirometrických a ergometrických parametrů spolu s EKG křivkou (Compek, 2010).

Obrázek 6

Cortex Meta Control 3000 (zdroj vlastní)



Ergometr LODE Excalibur Sport je známý na celý svět ergometr díky své přesnosti a spolehlivosti, který je zobrazen na obrázku č.7. Říká se mu „zlatý standard v ergometrii“. Design ergometru zaručuje maximální pohodlnost a stabilitu při vysoké zátěži. Mezi jeho funkce patří: zátěž nezávislá na otáčkách, horizontálně a vertikálně nastavitelná výška řídítek a sedla a možnost využití volitelného příslušenství, které umožňuje měření tlaku krve, srdeční frekvence, síly na pedálech atd (Compek, 2018).

Obrázek 7

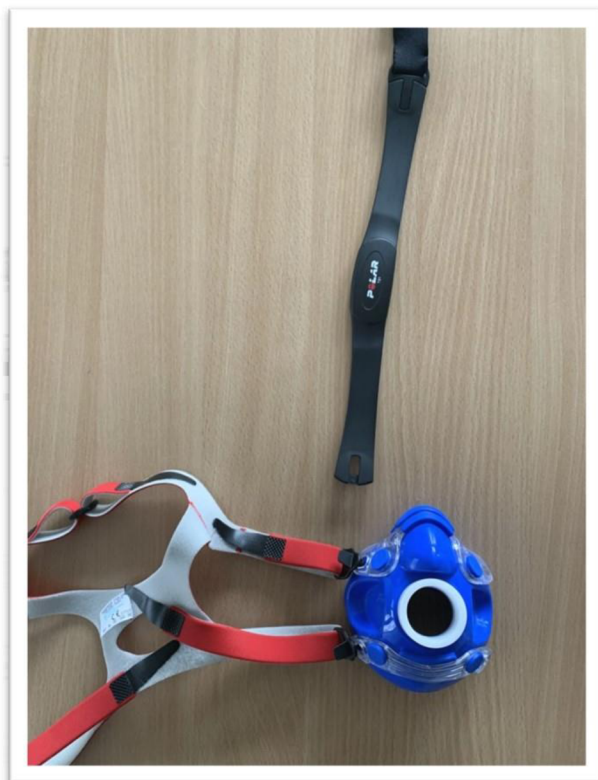
Ergometr LODE Excalibur Sport (zdroj vlastní)



Hrudní pás Polar a spiroergometrická maska jsou velmi důležitým a nezbytným členem každé zátěžové laboratoři. Lze je pozorovat na obrázku č. 8. Hrudní vysílač Polar H7 pomocí technologie bluetooth 4.0 dokáže vysílat souběžně na dvou frekvencích a má dosah signálu až 10 metrů. Obvodový pás má propojené snímací elektrody, které mají vysokou stupeň odolnosti vůči vodě a korozi způsobené potem (Polar, 2022).

Obrázek 8

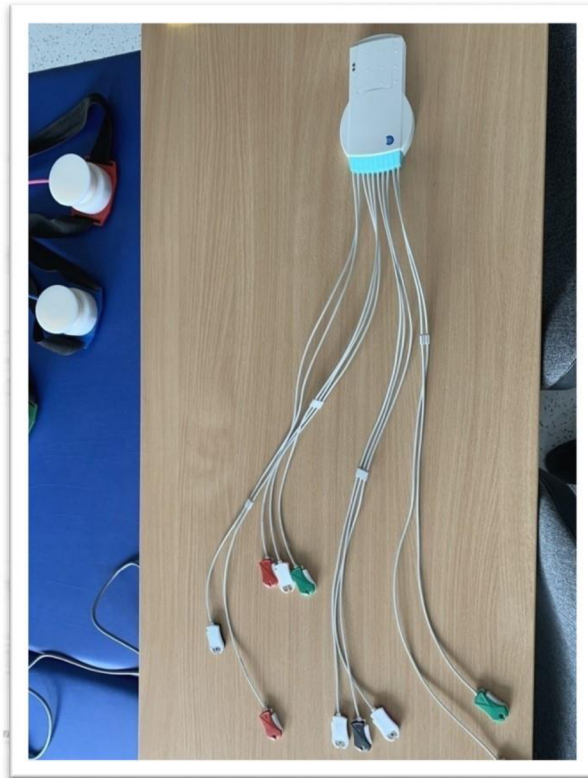
Hrudní pás Polar a spiroergometrická maska (zdroj vlastní)



Custo Med Cardio 100 BT je 290 gramový výkonný modul s vysokou vzorkovací frekvencí pro detekci kardiostimulátorů a záznam EKG (viz obrázek č. 9). Modul zahrnuje USB port, což umožňuje jeho použití beze zbytku. Kvalita všech devíti přiložených elektrodových svodů se ověřuje při registraci před záznamem EKG, a to minimalizuje možnost chyby při měření (Martsoft, 2012).

Obrázek 9

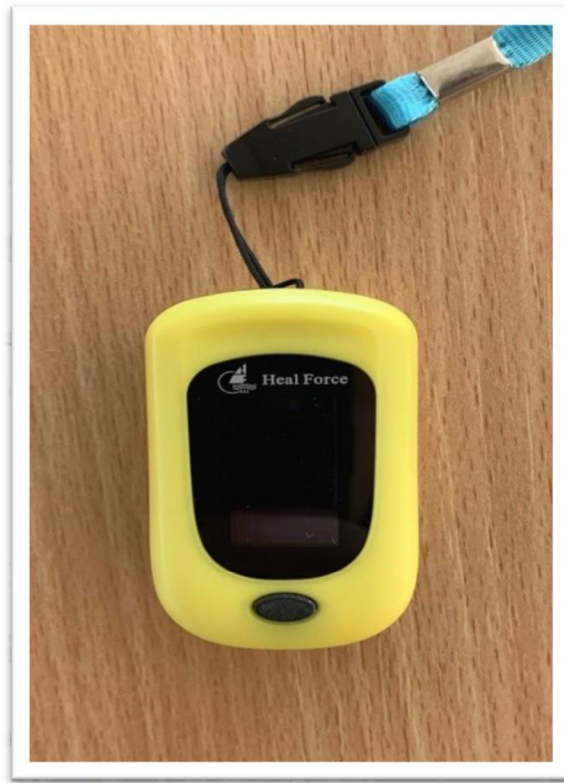
Custo Med Cardio 100 BT (zdroj vlastní)



Prince – 100 B Fingertape Oximeter je malý, lehký a velmi komfortní oximetr, který po vložení prstu do lůžka prstů může zobrazovat na displeji hodnoty saturace krve kyslíkem, tepovou frekvenci, index prokrvení krve a křivku objemu pulzu (viz obrázek č. 10) (Shenzhen Greatmade Tech Limited, 2017).

Obrázek 10

Prince – 100 B Fingertape Oximetr (zdroj vlastní)



4.3 Statistická analýza experimentálních prací

Obsahová analýza

Metoda obsahové analýzy byla použita v teoretické části práce. Soukup (2013) konstatuje, že obsahová analýza představuje již dlouhé období standardní metodu pedagogického výzkumu zaměřenou na vyhodnocení a interpretaci obsahu textů. Byla spolehlivě aplikována v nespočetném množství výzkumů, které se soustředili na různé typy a formy textů a prokázala při nich vysokou funkčnost. Od doby vzniku obsahové analýzy v padesátých letech minulého století se svět textu změnil. Přibýly nové žánry, jiné se modifikovaly a změnily se i obsahy. Objevily se nová témata a ideje. Markantním způsobem stouplо množství vytvářených a produkovaných textů.

Metoda měření

V laboratoři na katedře tělesné výchovy a sportu jsme provedli měření pomocí různých přístrojů a příslušenství, včetně Tanita BC 418 MA, Cortex Metalyzer 3 B, Cortex Metacentru 3000, Ergometr LODE Excalibur Sport, Hrudní pás Polar H7, spiroergometrická maska, EKG elektrod Kendall H92SG, Custo Med Cardio 100 BT a Prince-100 B Fingertape Oximeter. Toto měření proběhlo ve třech fázích, přičemž jsme nejprve měřili testy na toleranci kyslíku a oxidu uhličitého v organismu všech probandů, následně jsme provedli test $VO_2\max$ na bicyklovém ergometru, a nakonec jsme vybrali několik hodnot z celého měření pro porovnání výsledků. Měření na bicyklovém ergometru se zaměřovalo na parametry fyzické kondice a výkonnosti.

Komparativní metoda

V našem výzkumu jsme použili komparativní metodu, také nazývanou metodu srovnávací, pro porovnání naměřených hodnot všech jedinců. Tato metoda nám umožnila sledovat změny hodnot u skupin jako celku a také porovnávat výsledky jednotlivých probandů. Prostřednictvím pozorování výsledků a porovnání hodnot jsme mohli potvrdit nebo vyvrátit hypotézy, které jsme si stanovili. Tato metoda nám umožnila získat podrobnější a srovnatelné informace o měřených parametrech a usnadnila nám interpretaci výsledků na základě porovnání s ostatními subjekty v naší studii.

Věcná a statistická významnost

Ve výsledkové části naší práci byla použita statistická významnost pro zjištění, zda výsledky nejsou dosažené náhodou. Pro zjištění užitečnosti výsledků v reálném světě byla použita věcná významnost. Podle tzv. Cohenového d vymezujeme další intervaly věcné významnosti:

- Vysoký efekt – 0,8 a vyšší,
- střední efekt – 0,5–0,8,
- nízký efekt – 0,2–0,5.

Statistická významnost byla ověřena pomocí Wilcoxonového testu, kde výsledek byl významný na hodnotě pod 0,05.

5 Výsledky

5.1 Saturace všech probandů při různě dlouhé apnoei

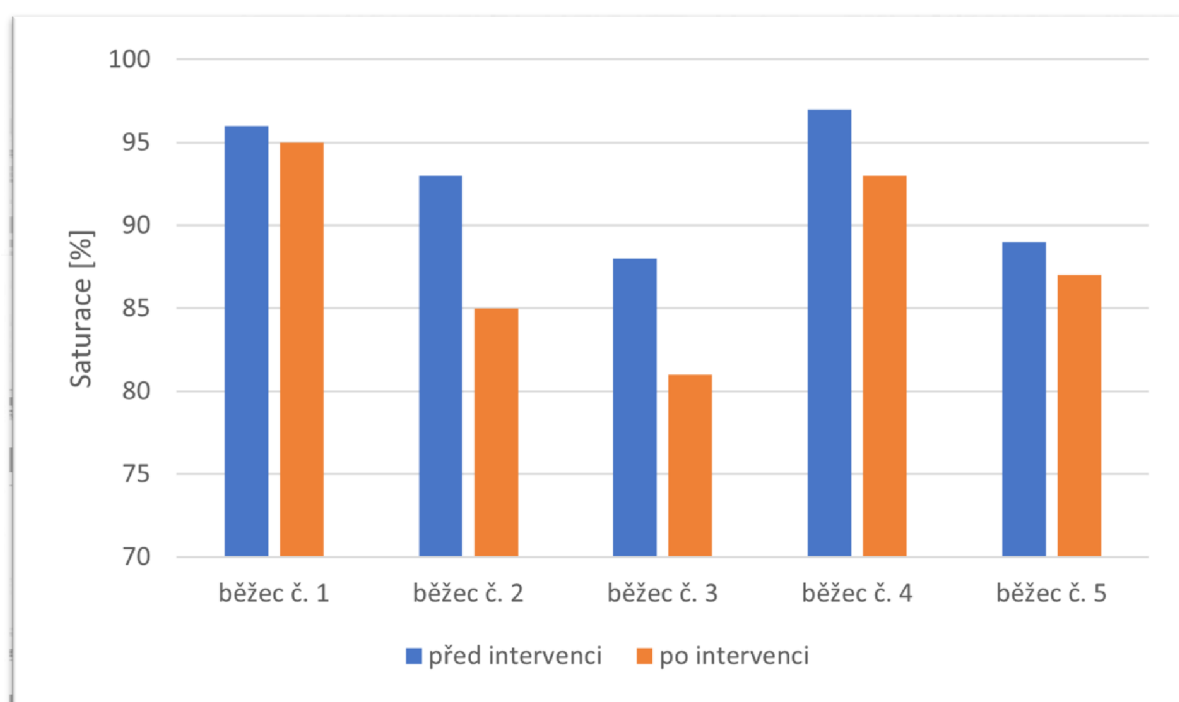
Saturace při toleranci kyslíku u běžců

Nejdůležitější hodnotou při našem měření a pro porovnání mezi probandy a skupinami v celku byla hodnota saturace krve kyslíkem na konci nejdelší (maximální) apnoei.

Obrázek č. 11 zobrazuje nejnižší hodnotu saturace krve kyslíkem u každého běžce zvláště při toleranci kyslíku v organismu před dvouměsíčním cvičením doma a po prodělání dvouměsíčního cyklu. U všech běžců nejnižší hodnota byla dosažena při nejdelším (posledním) zadržetí dechu. Největšího rozdílu o 8 % dosáhl běžec č. 2 a to je z 93 na 85 %. Nejmenší snížení hodnoty saturace měl běžec č. 1, rozdíl činil pouze 1 % z 96 na 95 %. Celkově ze všech běžců nejnižších hodnot při obou testech dosáhl běžec č. 3, který po 1. testu měl 88 % a po 2. testu 81 %. Výsledky všech běžců byly statisticky významné ($p \leq 0,05$) a prokázaly věcnou významnost s vysokým efektem ($d=0,98$),

Obrázek 11

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u běžců při toleranci kyslíku po 1. a 2. měření



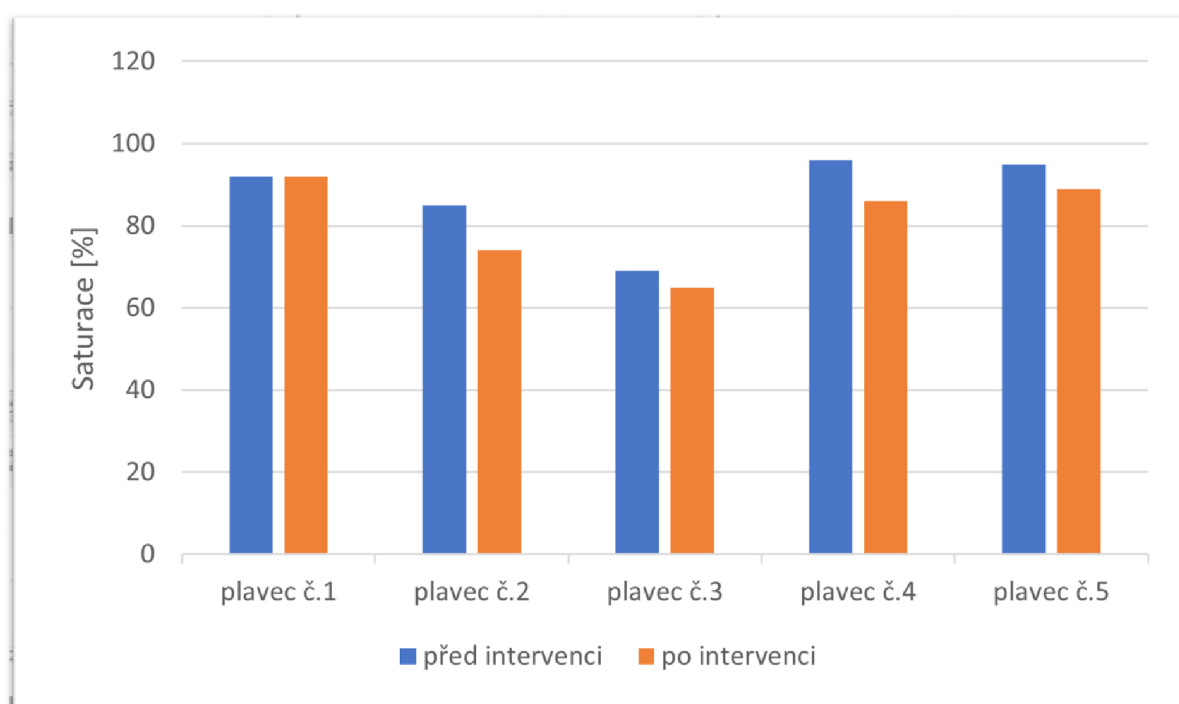
Saturace při toleranci kyslíku u plavců

Obrázek č. 12 zobrazuje nejnižší hodnotu saturace krve kyslíkem, kterou dosáhl každý plavec zvláště před tréninkovým cyklem a po něm. Všichni plavci dosáhli nejnižší saturace při nejdelším (posledním) zadržetí dechu. U všech plavců táto hodnota po 2. měření klesla,

kromě plavce č. 1, u kterého se tato hodnota nezměnila. Největší rozdíl mezi měření měl plavec č. 2, který dokázal po intervenci snížit hodnotu saturace krve kyslíkem o 11 %. Po 1. měření jeho výsledek byl 85 % a po druhém 74 %. Plavec č. 3 měl nejmenší rozdíl po tréninkovém cyklu, jeho hodnota se změnila o 4 %, z 69 na 65 %, což je zároveň nejnižší hodnota saturace ze všech plavců v celku. Výsledky všech plavců při toleranci kyslíku byly statisticky nevýznamné ($p \geq 0,05$), ale byla prokázána věcná významnost se středním efektem ($d=0,6$),

Obrázek 12

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u plavců při toleranci kyslíku po 1. a 2. měření



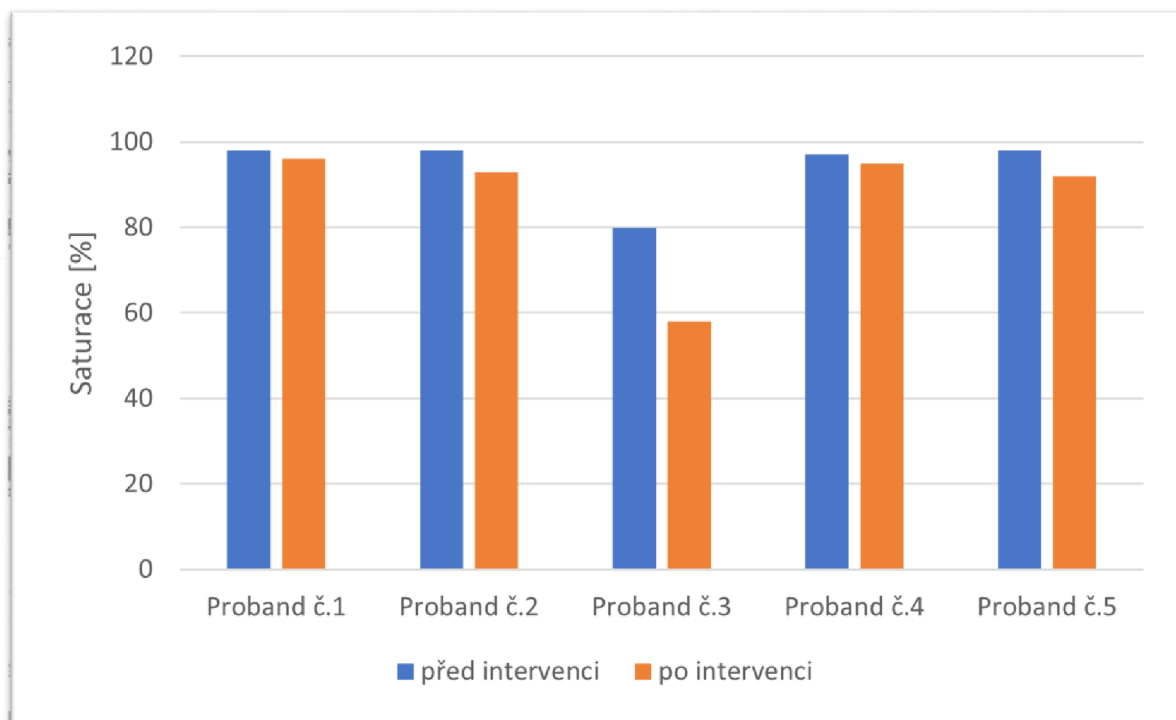
Saturace při toleranci kyslíku u nesportujících probandů

Na obrázku č. 13 je zobrazena nejnižší hodnota saturace krve kyslíkem, kterou dosáhl každý nesportující proband zvlášť po 1. měření před tréninkovým procesem doma a po 2. měření po tréninkovém cyklu. Všichni nesportující jedinci dosáhli minimální hodnoty při nejdelším (posledním) zadržení dechu. U všech probandů hodnota saturace krve po 2. měření byla nižší, než po 1. měření. Největšího rozdílu dosáhl proband č. 3, a to je o 22 %. Po 1. testu jeho hodnota činila 80 % a po 2. až 58 %, což je zároveň nejnižší hodnota ze všech nesportujících jedinců. Nejmenší rozdíl ukázali probandi č. 1 a 4. Jejich hodnota klesla z 98 a 97 % na 96 a 94 %. Nesportujícími probandy při toleranci kyslíku byla ukázaná věcná

významnost se středním efektem ($d=0,6$). Také výsledky nesportovců byly statisticky významné ($p \leq 0,05$),

Obrázek 13

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u nesportujících jedinců při toleranci kyslíku po 1. a 2. měření

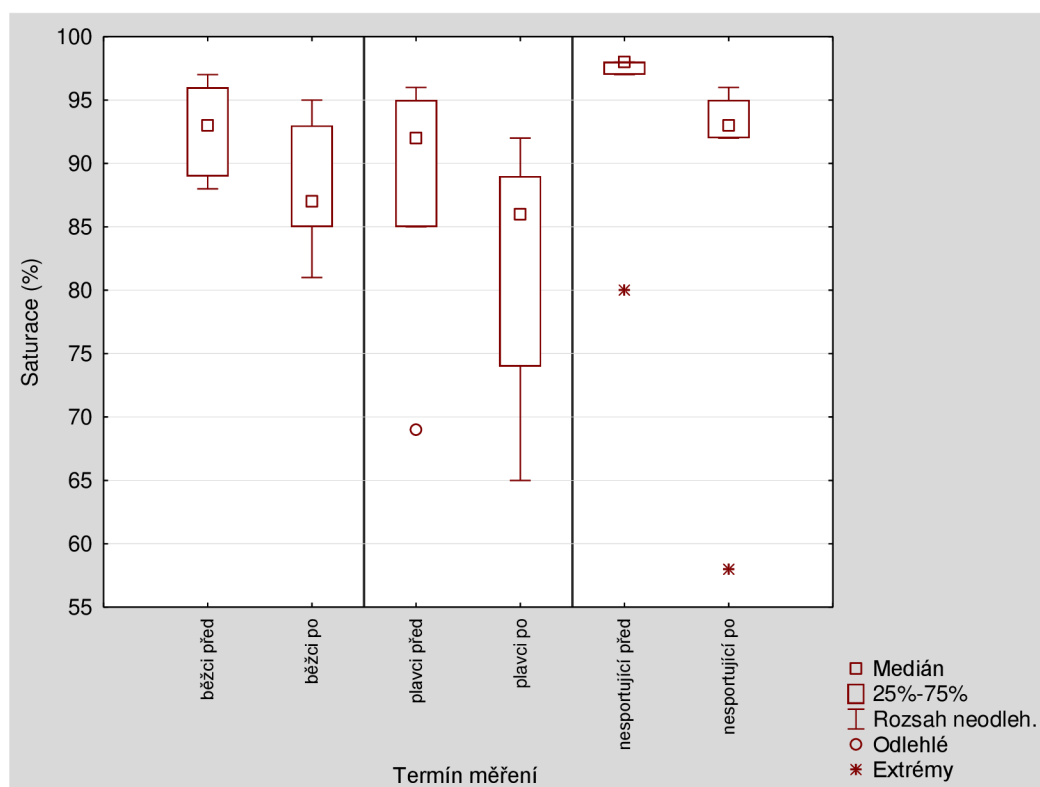


Porovnání hodnot saturace při toleranci kyslíku u běžců, plavců a nesportujících probandů

Obrázek č. 14 ukazuje porovnání průměrné hodnoty saturace krve kyslíkem při obou měřeních u všech skupin a porovnání mezi skupinami. Při 1. měření průměrná hodnota saturace krve kyslíkem na konci maximální apnoe u běžců činila $92,6 \pm 3,6$ %, ale při 2. měření po prodělání tréninku doma se tato hodnota snížila na $88,2 \pm 5,1$ %. Průměrná hodnota saturace u všech plavců byla při 1. měření $87,4 \pm 10$ % a po 2. měření činila $81,2 \pm 10,1$ %. U nesportujících probandů průměrná hodnota saturace před proděláním tréninku činila $94,2 \pm 7,1$ % a po jeho absolvování $86,8 \pm 14,5$ %. U běžců se hodnota saturace snížila o 4,8 % po intervenci. U plavců o 7,09 % a u nesportujících probandů o 8,57 %. Dohromady výsledky všech skupin byly statisticky významné ($p \leq 0,01$). Také byla ukázaná věcná významnost se středním efektem ($d=0,6$).

Obrázek 14

Porovnání průměrných hodnot saturace u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci při toleranci kyslíku

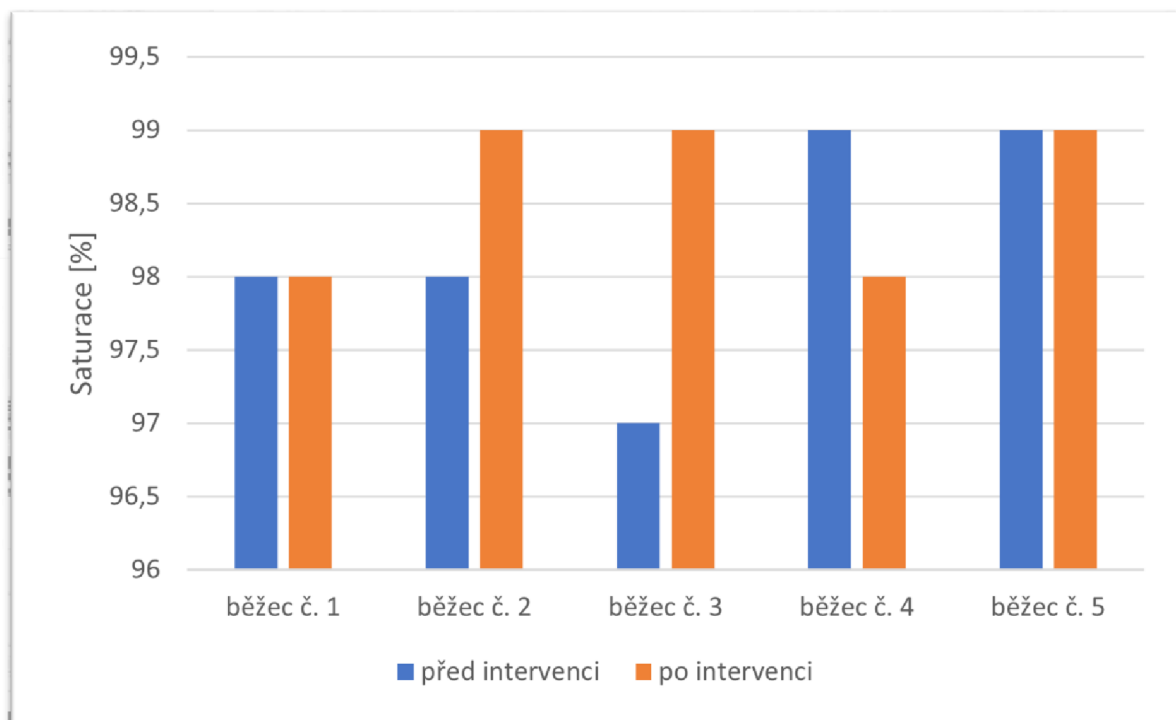


Saturace při toleranci oxidu uhličitého u běžců

Na obrázku č. 15 lze pozorovat nejnižší hodnoty saturace krve kyslíkem při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u každého běžce zvlášť. Je vidět, že hodnoty se téměř neměnily. U dvou z pěti běžců se tato hodnota vůbec nezměnila a největší změnu měl běžec č. 3, u kterého se saturace zvýšila o 2 % z 97 před tréninkovým cyklem na 99 % po jeho absolvování. U ostatních běžců rozdíl nečinil více, než 1 %. Hodnota saturace při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u běžců nebyla věcně a statisticky významná.

Obrázek 15

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u běžců při toleranci oxidu uhličitého po 1. a 2. měření

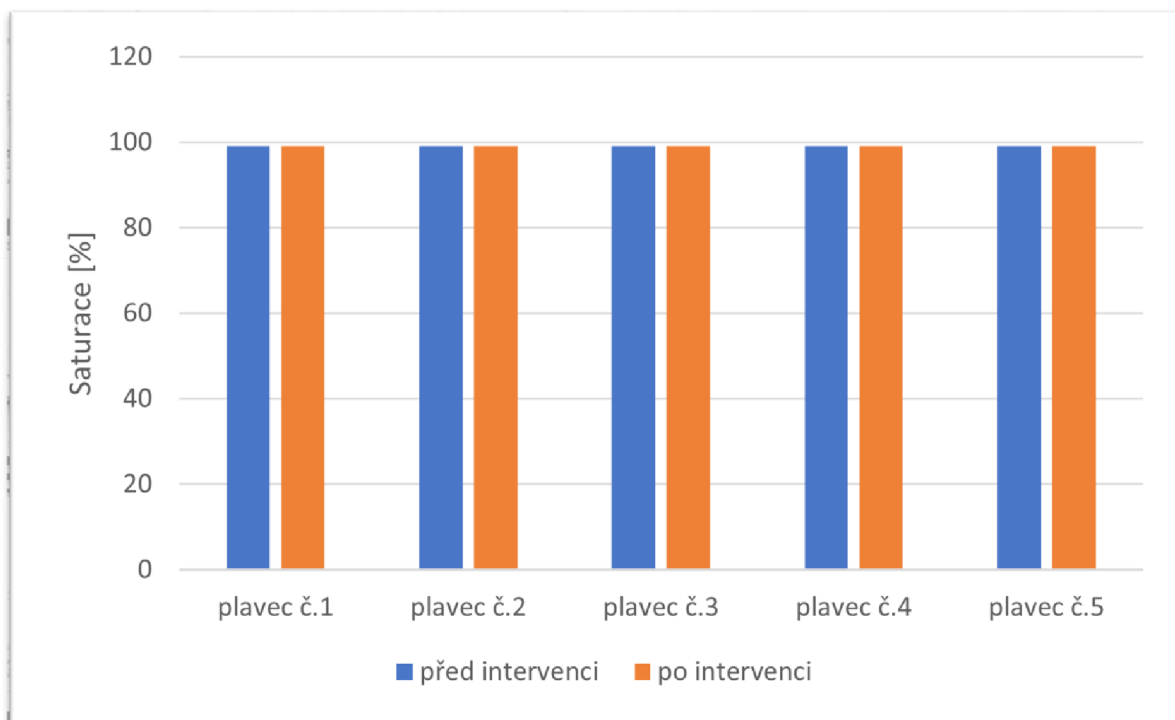


Saturace při toleranci oxidu uhličitého u plavců

Obrázek č. 16 ukazuje nejnižší hodnoty saturace krve kyslíkem při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u každého plavce zvlášť. Ani u jednoho plavce se tato hodnota nezměnila. Každý plavec po 1. a 2. měření měl hodnotu saturace krve 99 %. Hodnota saturace při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu nebyla u plavců statisticky ani věcně významná.

Obrázek 16

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u plavců při toleranci oxidu uhličitého po 1. a 2. měření

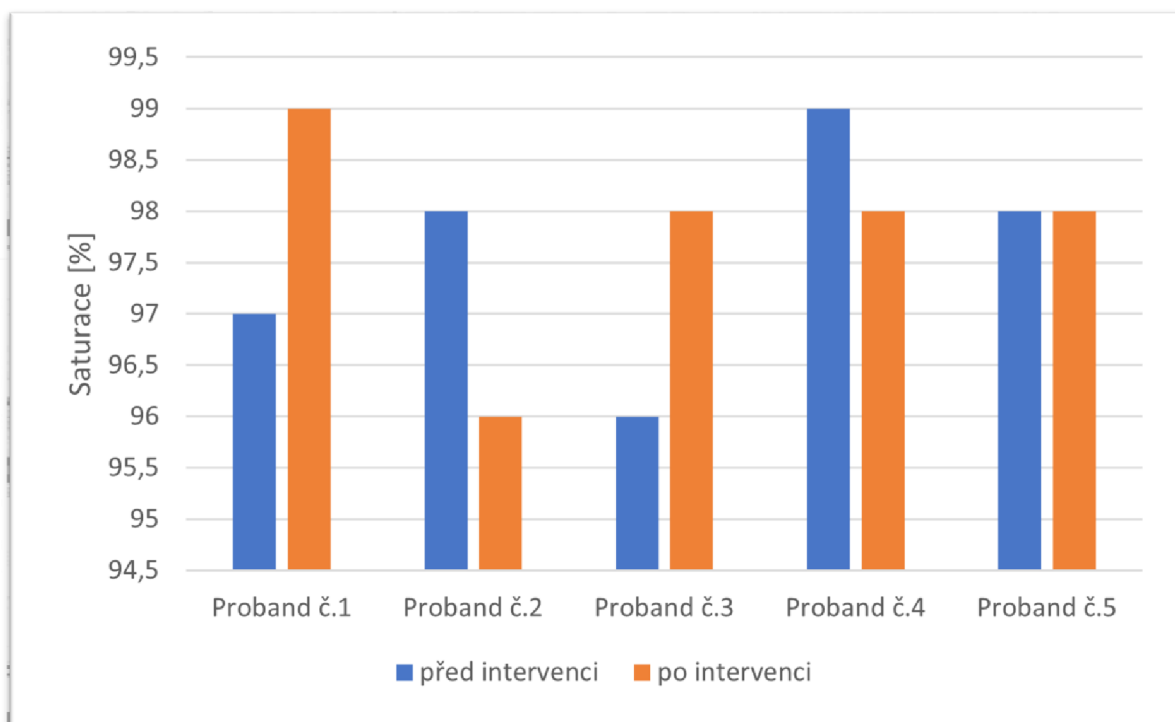


Saturace při toleranci oxidu uhličitého u nesportujících jedinců

Na obrázku č. 17 lze vidět nejnižší hodnoty saturace krve kyslíkem při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u každého nesportujícího jedince zvlášť. U jedince č. 5 se hodnota saturace nezměnila. U probandů č. 1 a 3 se saturace o 2 % zvýšila. Při 1. měření probandi měli 97 a 96 % a po 2. měření saturace stoupla na 99 a 98 %. U probandů č. 2 a 4 saturace dokonce klesla. Probandovi č. 2 o 2 % a č. 4 o 1 %. Hodnota saturace u nesportujících probandů při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu nebyla statisticky ani věcně významná.

Obrázek 17

Nejnižší hodnota saturace kyslíku u nesportujících jedinců při testu na toleranci oxidu uhličitého po 1. a 2. měření

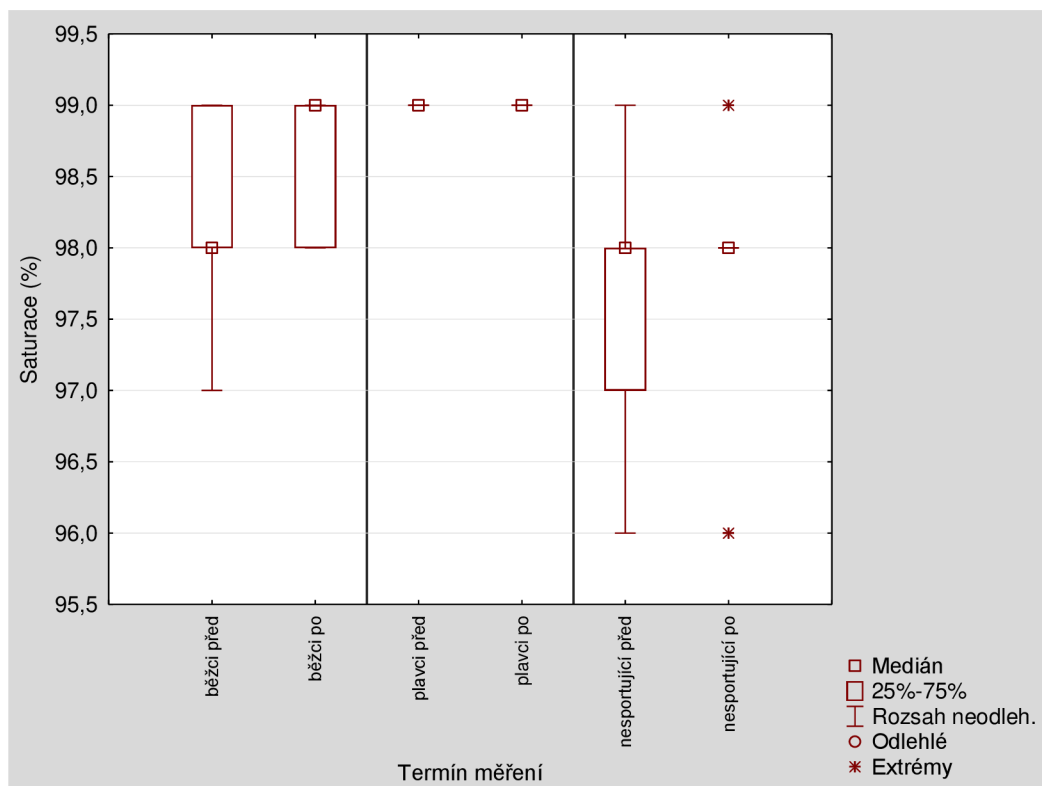


Saturace při toleranci oxidu uhličitého u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na následujícím obrázku č. 18 lze vidět porovnání průměrných hodnot saturace všech skupin probandů při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu před tréninkem doma a po jeho absolvování. U běžců průměrná hodnota před intervencí činila $97,6 \pm 1$ % a po intervencí $97,8 \pm 0,9$ %. U nesportujících probandů průměrná hodnota byla absolutně stejná jako u běžců. U plavců se průměrná hodnota saturace krve před a po intervencí absolutně nezměnila. Při obou testech průměrná hodnota činila 99 %. Všechny výsledky nebyly statisticky ani věcně významné.

Obrázek 18

Porovnání průměrných hodnot saturace u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci při testu na toleranci oxidu uhličitého



5.2 Srdeční frekvence všech probandů při různě dlouhé apnoe

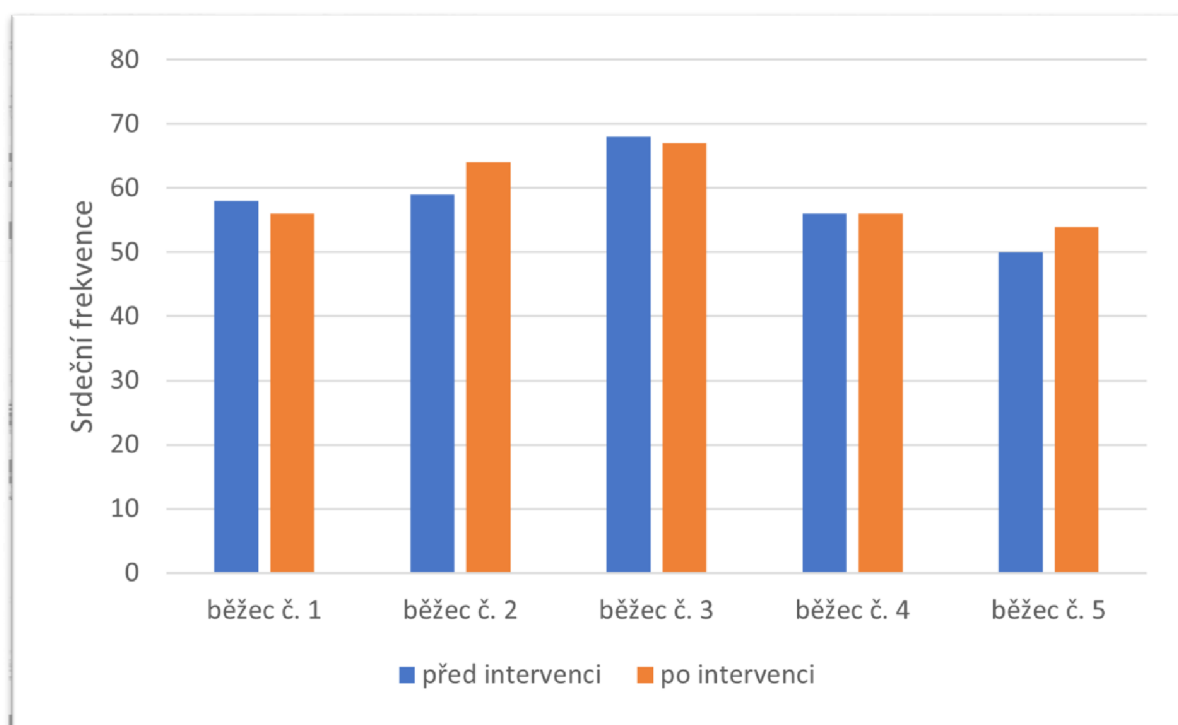
Srdeční frekvence při toleranci kyslíku v organismu u běžců

Další důležitou hodnotou při našem měření byla hodnota srdeční frekvence při nejdelším (posledním) zadržetí dechu.

Obrázek č. 19 zobrazuje hodnotu srdeční frekvence na konci nejdelší, maximální apnoe při testu na toleranci kyslíku v organismu u běžců. U dvou z pěti běžců se tato hodnota zvýšila. U běžce č. 2 o 5 a u běžce č. 4 o 4 úderů za minutu. U běžce č. 1 se hodnota srdeční frekvence snížila o 2 úderů za minutu z 56 na 54. U běžce č. 3 hodnota klesla z 68 na 67 úderů za minutu. U běžce č. 4 se hodnota srdeční frekvence nezměnila. Hodnota srdeční frekvence při testu na toleranci kyslíku v organismu u běžců nebyla statisticky a věcně významná.

Obrázek 19

Hodnota srdeční frekvence při toleranci kyslíku u běžců na konci maximální apnoe



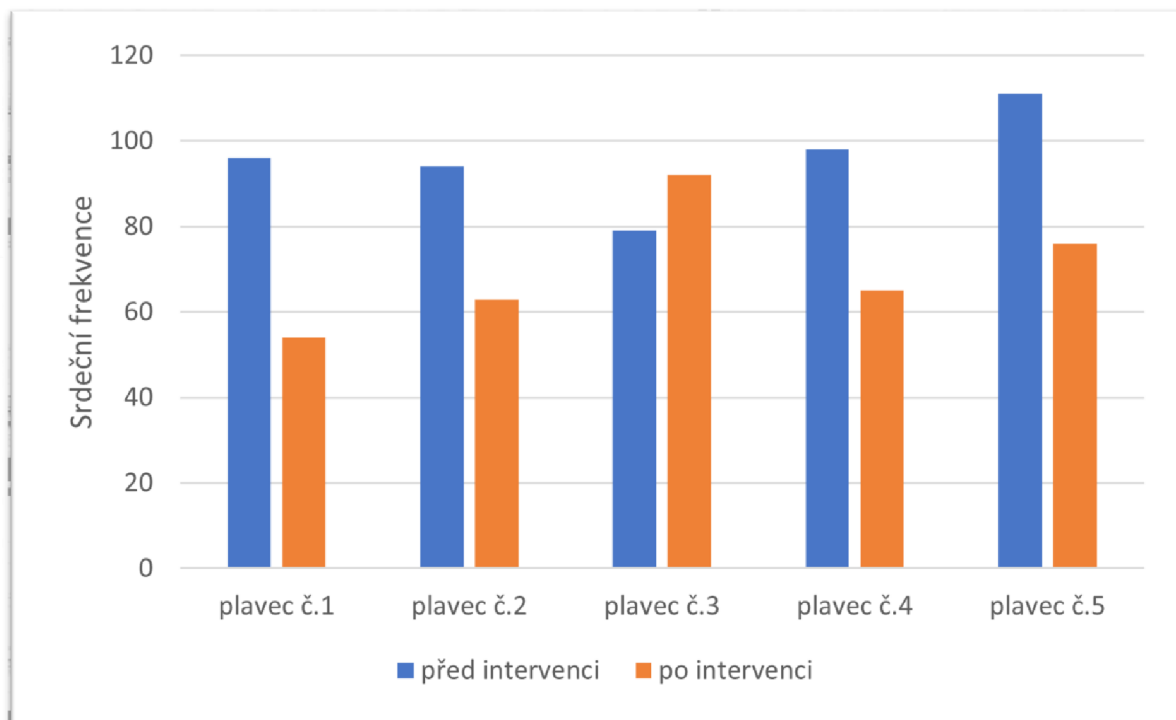
Srdeční frekvence při toleranci kyslíku v organismu u plavců

Na obrázku č. 20 lze vidět hodnotu srdeční frekvence na konci nejdelší, maximální apnoe při testu na toleranci kyslíku v organismu u plavců. U čtyř z pěti plavců hodnota srdeční frekvence výrazně klesla. Nejvíce tato hodnota klesla u plavce č. 1, a to je o 42 úderů za minutu. Po 1. měření plavec č. 1 měl 96 úderů a po 2. 54 úderů za minutu. Nejméně hodnota srdeční frekvence klesla u plavce č. 2 s rozdílem 31 úderů za minutu. Pouze u plavce č. 3 se hodnota srdeční frekvence zvýšila, a to je o 13 úderů za minutu. Hodnoty srdeční frekvence

při testu na toleranci kyslíku v organismu u plavců nebyly statisticky významné. Naopak věcná významnost byla prokázána s vysokým efektem ($d=2,1$),

Obrázek 20

Hodnota srdeční frekvence při toleranci kyslíku u plavců na konci maximální apnoe

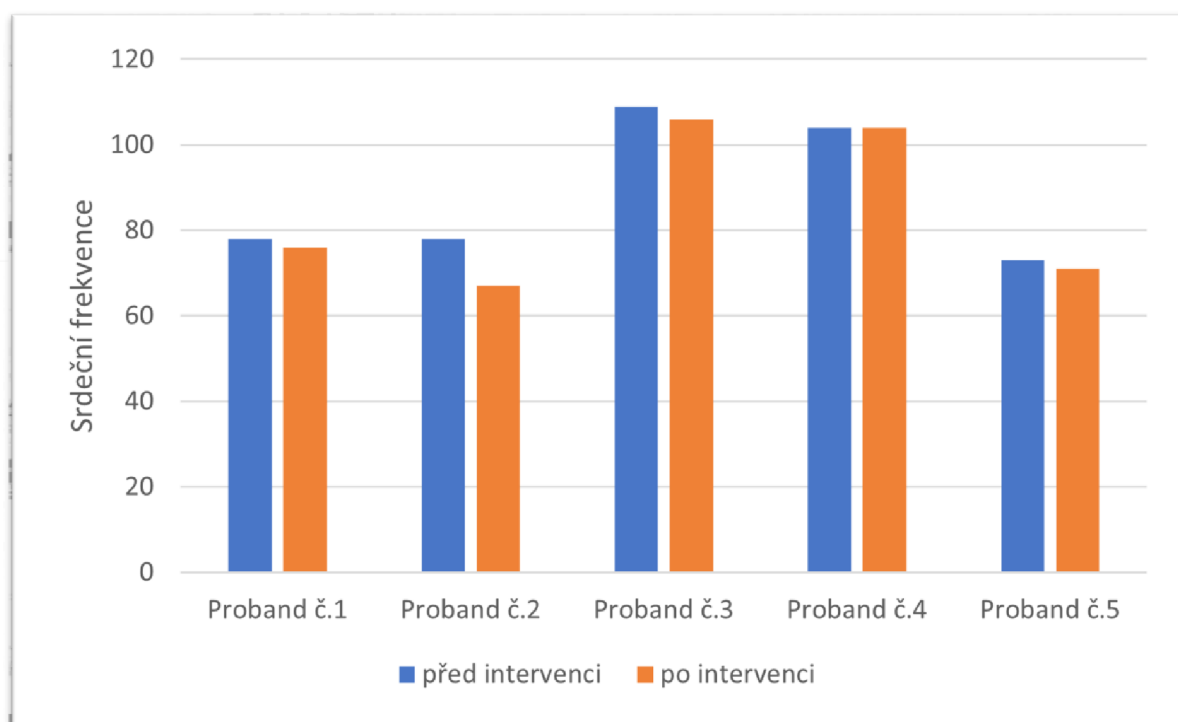


Srdeční frekvence při toleranci kyslíku v organismu u nesportujících probandů

Na obrázku č. 21 je možno pozorovat hodnotu srdeční frekvence na konci nejdelší, maximální apnoe při testu na toleranci kyslíku v organismu u všech nesportujících probandů zvlášť. U všech probandů hodnota srdeční frekvence po 2. měření byla nižší, než po 1., kromě probanda č. 4, u kterého hodnota po obou měření zůstala stejná. Nejvíce hodnota srdeční frekvence se snížila u probanda č. 2, a to je o 1 úderů za minutu. O ostatních probandů tento rozdíl nečinil více, než 3 údery za minutu. Výsledky srdeční frekvence při testu na toleranci kyslíku v organismu u nesportujících probandů nebyly statisticky významné, ale byly věcně významné s nízkým efektem ($d=0,2$).

Obrázek 21

Hodnota srdeční frekvence při testu na toleranci kyslíku u nesportujících probandů na konci maximální apnoe

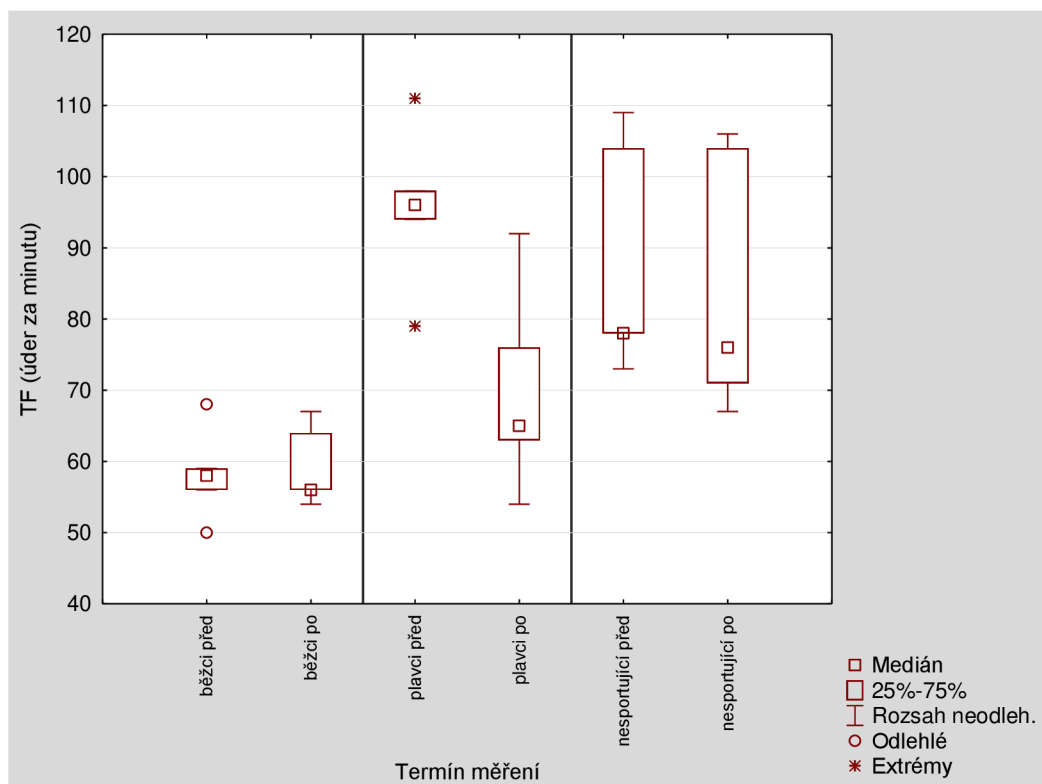


Porovnání průměrné hodnoty srdeční frekvence na konci maximální apnoe u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na obrázku č. 22 lze pozorovat porovnání průměrných hodnot srdeční frekvence u všech skupin při 1. měření a po prodělání tréninku. Průměrná hodnota srdeční frekvence u běžců při 1. měření činila $58,2 \pm 5,8$ úderů za minutu a po 2. měření $59,4 \pm 5,1$ úderů za minutu. U plavců tato hodnota činila $95,6 \pm 10,2$ úderů za minutu po 1. testu a 70 ± 13 úderů za minutu po 2. Nesportující probandi dosáhli průměrné hodnoty srdeční frekvence na konci maximální apnoe $88,4 \pm 15$ úderů za minutu při 1. měření. Po 2. měření tato hodnota činila $84,8 \pm 16,7$ úderů za minutu. U běžců se průměrná hodnota zlepšila o 3,44 %, u plavců o 43,75 % a u nesportujících probandů o 2,56 %. Výsledky průměrné hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci kyslíku v organismu u všech skupin dohromady nebyly statisticky významné, ale měly věcnou významnost s nízkým efektem ($d=0,2$).

Obrázek 22

Porovnání průměrných hodnot srdeční frekvence na konci maximální apnoe u běžců, plavců a nesportujících probandů

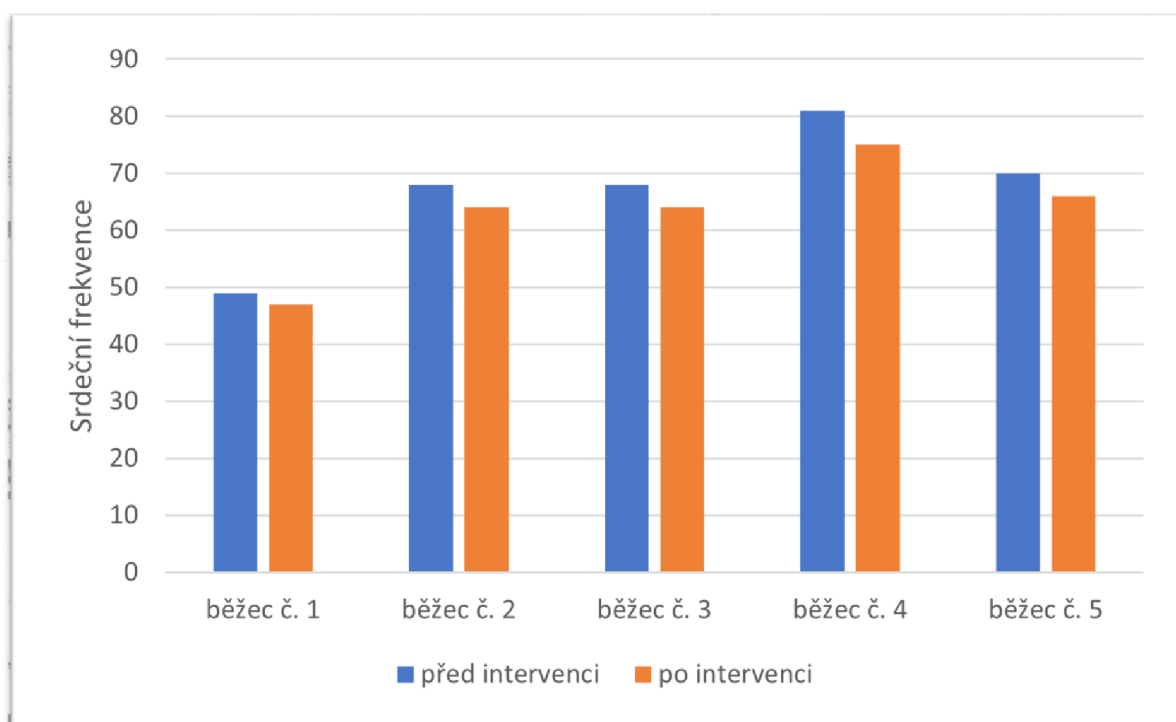


Srdeční frekvence při toleranci oxidu uhličitého v organismu u běžců

Na dalším obrázku č. 23 lze pozorovat hodnotu srdeční frekvence při poslední apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u každého běžce zvlášť. U všech běžců tato hodnota klesla, ale ne výrazně. Největší pokles srdeční frekvence byl zaznamenán u běžce č. 4, kterému tato hodnota klesla z 71 na 65 úderů za minutu. Nejmenšího poklesu dosáhl běžec č. 1, a to je o 2 úderů za minutu. Celkově ze všech běžců nejnižší hodnoty srdeční frekvence dosáhl běžec č. 1 s 47 úderů za minutu. Hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u běžců mely statistickou významnost a zároveň byla prokázána věcná významnost se nízkým efektem ($d=0,4$).

Obrázek 23

Hodnota srdeční frekvence na konci poslední apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého u běžců

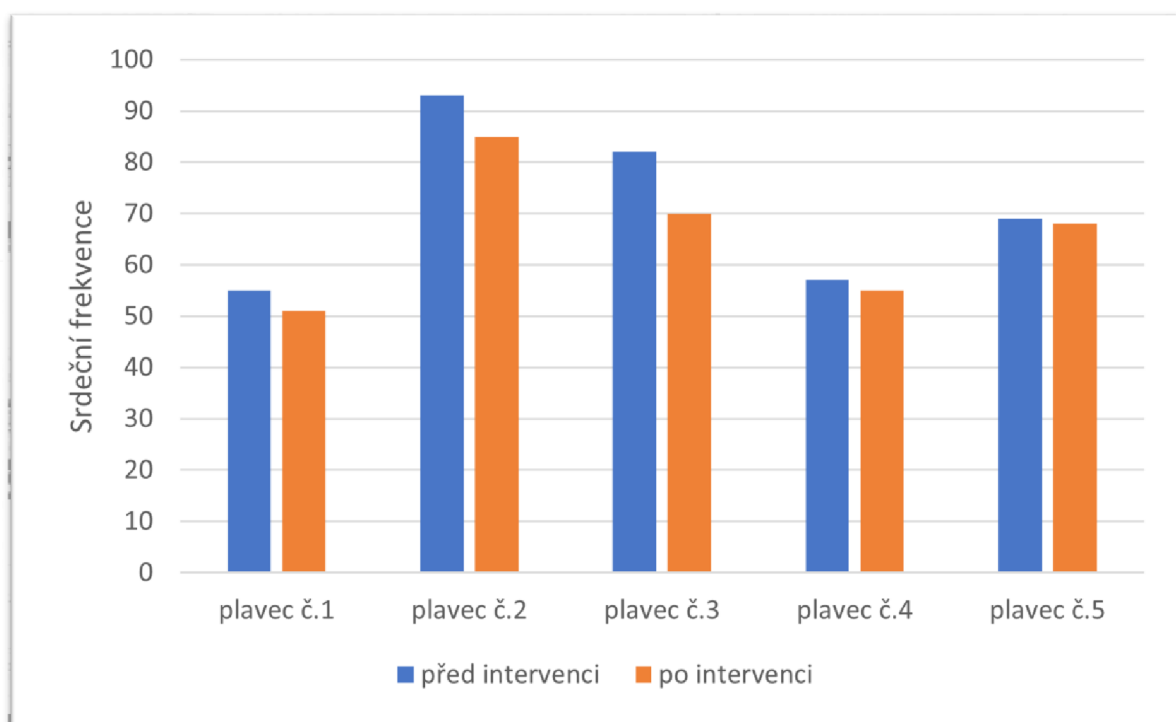


Srdeční frekvence při toleranci oxidu uhličitého v organismu u plavců

Na následujícím obrázku č. 24 je zobrazena hodnoty srdeční frekvence při poslední apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u každého plavce zvlášť. U každého plavce hodnota srdeční frekvence po 2. měření klesla. Největší rozdíl o 12 úderů za minutu dosáhl plavec č. 3. Po 1. měření hodnota srdeční frekvence činila 82 úderů za minutu, po 2. měření 70. Nejmenší pokles srdeční frekvence o 1 úder za minutu byl zaznamenán z plavce č. 5. Nejnižší hodnoty srdeční frekvence dosáhl plavec č. 1, který po 2. měření měl 51 úderů za minutu. Hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u plavců byly statisticky významné. Také výsledky jsou věcně významný s nízkým efektem.

Obrázek 24

Hodnota srdeční frekvence na konci poslední apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého u plavců

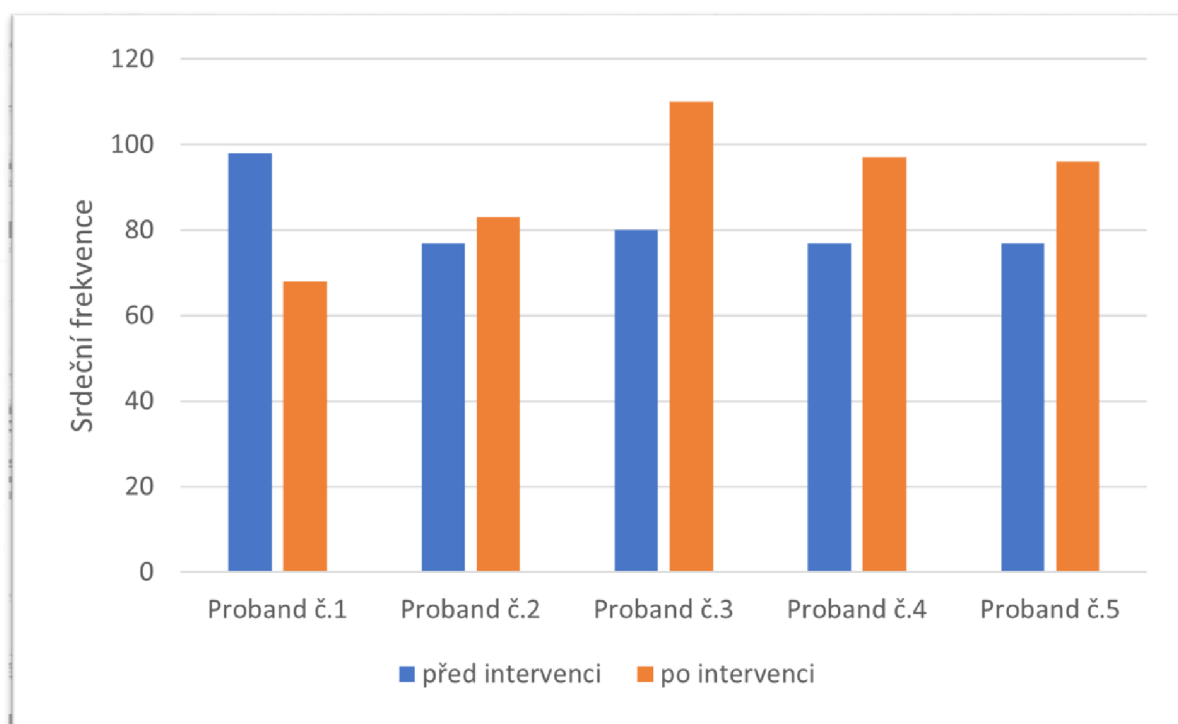


Srdeční frekvence při toleranci oxidu uhličitého v organismu u nesportujících probandů

Obrázek č. 25 ukazuje hodnotu srdeční frekvence při závěrečné apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u všech nesportujících probandů zvlášť. U každého probanda se hodnota srdeční frekvence zvýšila, kromě probanda č. 1, u kterého se tato hodnota o 30 úderů za minutu snížila. Nejvíce ze všech probandů srdeční frekvence se zvýšila u probanda č. 3, a to je o 30 úderů za minutu. O 6 úderů za minutu se srdeční frekvence zvýšila u probanda č. 2, který měl nejmenší zvýšení srdeční frekvence z celé skupiny. Hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u nesportujících probandů nebyly statisticky ani věcně významné.

Obrázek 25

Hodnota srdeční frekvence na konci poslední apnoe při testu na toleranci oxidu uhličitého u nesportujících probandů

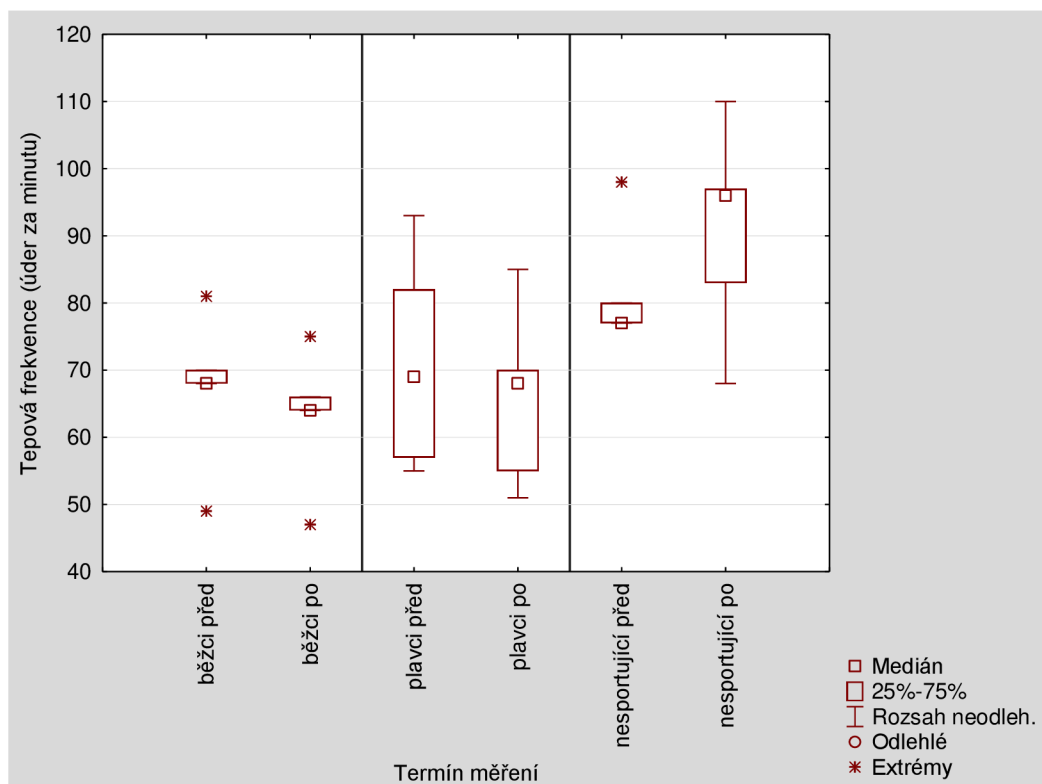


Porovnání průměrných hodnot srdeční frekvence při toleranci oxidu uhličitého u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na následujícím obrázku č. 26 lze pozorovat porovnání průměrných hodnot srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu před tréninkem doma a po jeho absolvování u všech skupin probandů. U běžců se průměrná hodnota snížila z $67,2 \pm 10,3$ úderů za minutu před intervencí na $63,2 \pm 9,1$ úderů za minutu po intervencí. U plavců průměrná hodnota srdeční frekvence klesla z $71,2 \pm 14,6$ úderů za minutu před intervencí na $65,8 \pm 12,5$ úderů za minutu po intervencí. U nesportujících probandů při 1. měření průměrná hodnota srdeční frekvence činila $81,8 \pm 8,2$ úderů za minutu. Po intervencí tato hodnota činila $90,8 \pm 14,2$ úderů za minutu. Výsledky všech skupin probandů nebyly statisticky významné, ale byly věcně významné s nízkým efektem ($d=0,2$).

Obrázek 26

Porovnání průměrných hodnot srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého u běžců, plavců a nesportujících probandů



5.3 Zadržení dechu při maximální apnoi

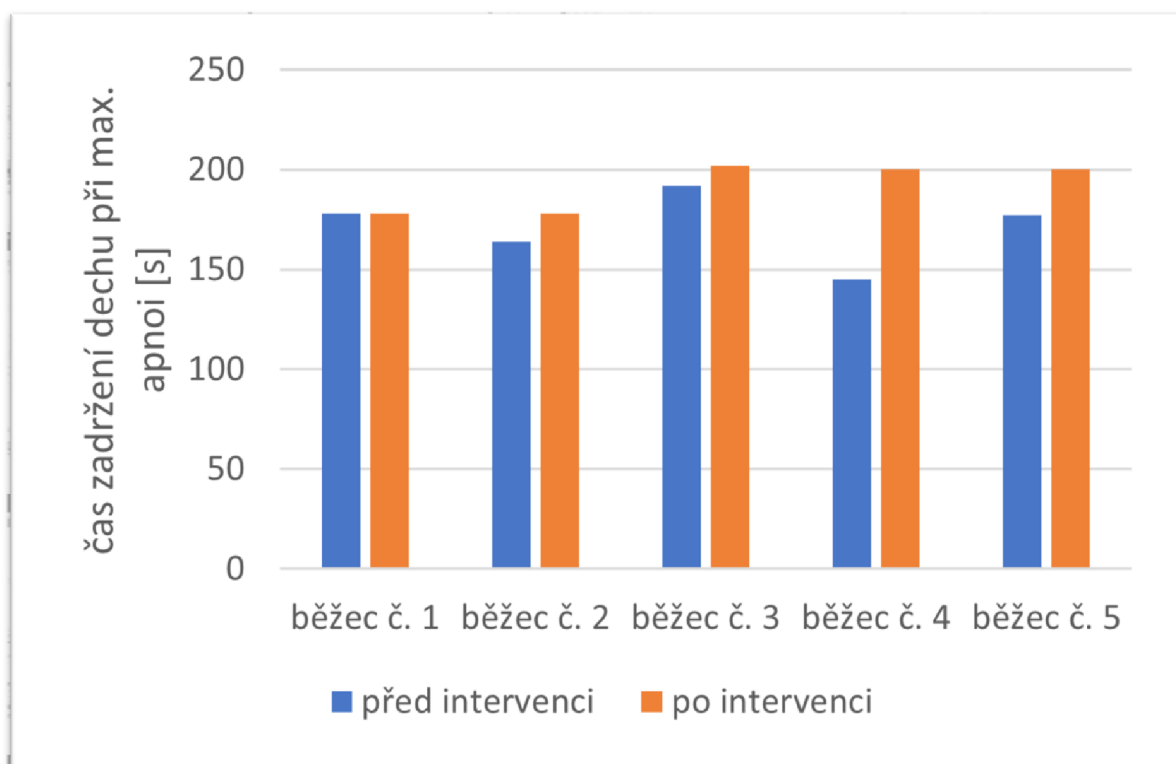
Zadržení dechu při maximální apnoi běžci

Třetí nejdůležitější hodnotou při našem měření byl čas zadržení dechu při poslední (maximální) apnoi.

Následující obrázek č. 27 zobrazuje porovnání času zadržení dechu při 1. měření před proděláním tréninku doma a při 2. měření po absolvování tréninku. Čas byl změřen při maximální apnoi u všech běžců zvlášť. U všech běžců se čas zadržení dechu při maximální apnoi po absolvování tréninku prodloužil, kromě běžce č. 1, u kterého se tento čas absolutně nezměnil. Při obou měřeních běžec č. 1 vydržel 178 sekund bez nádechu. Největší pozitivní změny ze všech běžců dosáhl běžec č. 4, kterému se podařilo prodloužit dobu bez dýchání o 55 sekund, a to je z 145 sekund při 1. měření na 200 sekund po 2. Naopak nejméně ze všech běžců se čas zadržení prodloužil u běžce. 3, u kterého se ten čas prodloužil o 10 sekund. Celkově z celé skupiny běžců největšího času dosáhl běžec č. 3, který dokázal vydržet při 2. měření 202 sekund bez nádechu. Čas zadržení dechu při maximální apnoi u běžců nebyl statisticky ani věcně významný.

Obrázek 27

Porovnání času zadržení dechu při maximální apnoi před a po absolvování tréninku u běžců

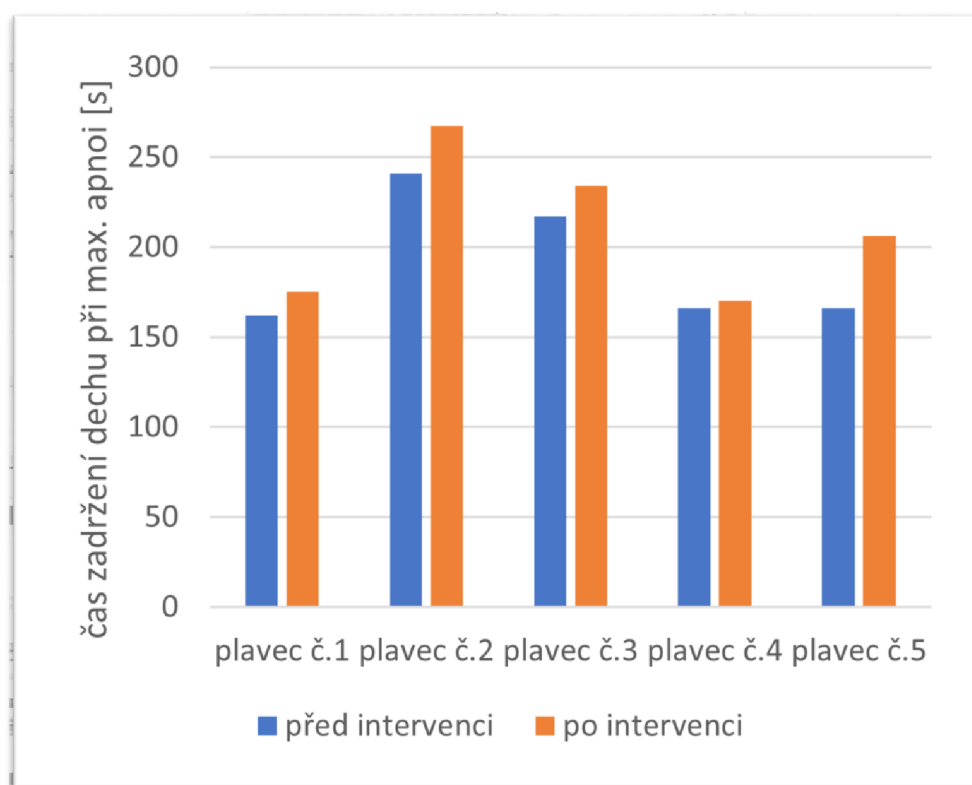


Zadržení dechu při maximální apnoi plavci

Na dalším obrázku č. 28 lze vidět čas zadržení dechu při maximální apnoi u všech plavců zvláště před proděláním tréninku doma a po jeho absolvování. Absolutně u všech plavců se čas zadržení dechu po absolvování tréninku prodloužil. Nejvíce ze všech se čas prodloužil u plavce č. 5, kterému se povedlo zdelšíť čas při maximální apnoi o 40 sekund, a to je z 166 sekund při 1. měření na 206 sekund po 2. Naopak nejmenší prodloužení času bylo zaznamenáno u plavce č. 4, a to je jenom o 4 sekundy. Při 1. měření plavec č. 4 měl nejdelší zadržení 166 sekund a při 2. 170 sekund. Čas zadržení dechu při maximální apnoi u plavců prokázal statistickou významnost ($p \leq 0,05$), ale nebyl věcně významný ($d = -0,57$),

Obrázek 28

Porovnání času zadržení dechu při maximální apnoi před a po absolvování tréninku u plavců



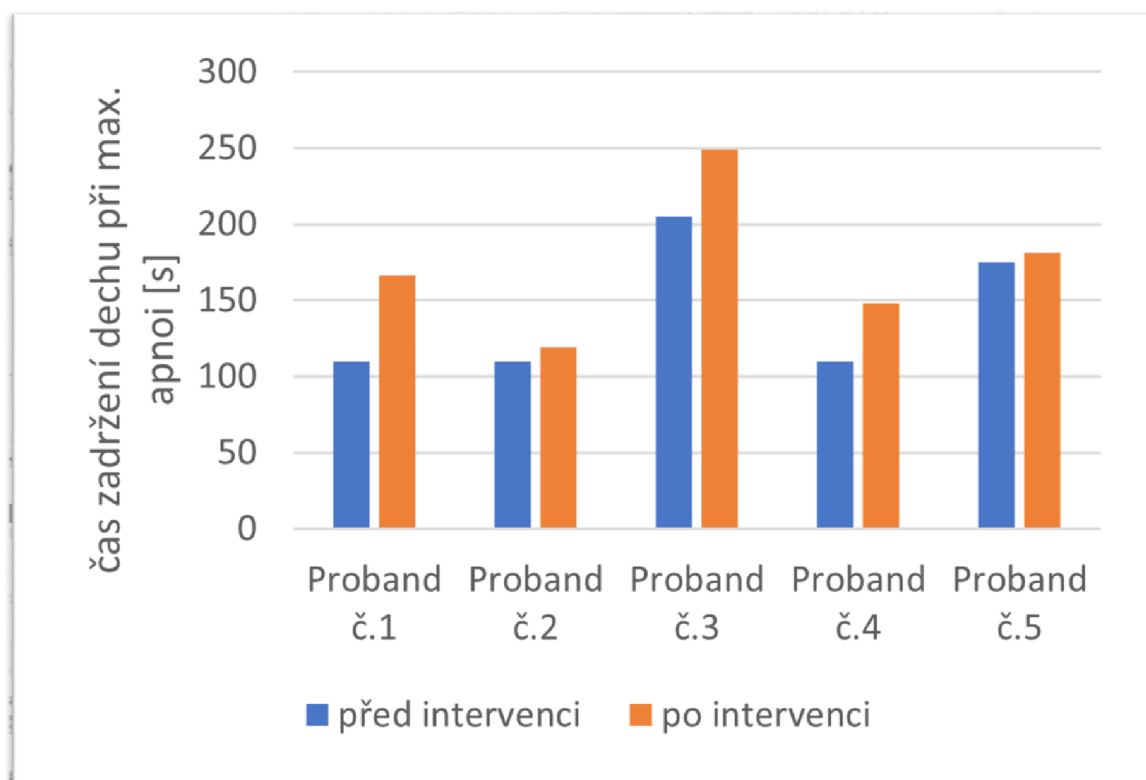
Zadržení dechu při maximální apnoi u nespportovců

Obrázek č. 29 zobrazuje čas zadržení dechu při maximální apnoi u všech nespportujících probandů zvláště před proděláním tréninku doma a po jeho absolvování. U všech nespportujících probandů byly zaznamenány pozitivní změny, což znamená, že u všech se prodloužil čas zadržení dechu při maximální apnoi. Proband č. 2 při 1. měření v laboratoři se na maximální apnoi ani nedostal, ale po absolvování tréninku se mu podařilo při maximální apnoi vydržet 119 sekund. Z ostatních probandů, které se při dvou měřeních dostali na fázi

maximální apnoe, nejdelšího prodloužení apnoe dosáhl proband č. 1, kterému se povedlo zlepšit svůj čas o 56 sekund, a to z 110 sekund při 1. měření na 166 sekund při 2. Celkově z celé skupiny nesportujících probandů nejlepšího výsledku a času dosáhl proband č. 3, který dokázal vydržet při 2. měření 249 sekund. Čas zadržení dechu při maximální apnoei u nesportujících probandů nebyl věcně významný ($d=-0,7$), ale byla prokázána statistická významnost ($p=0,04$),

Obrázek 29

Porovnání času zadržení dechu při maximální apnoei před a po absolvování tréninku u nesportujících probandů

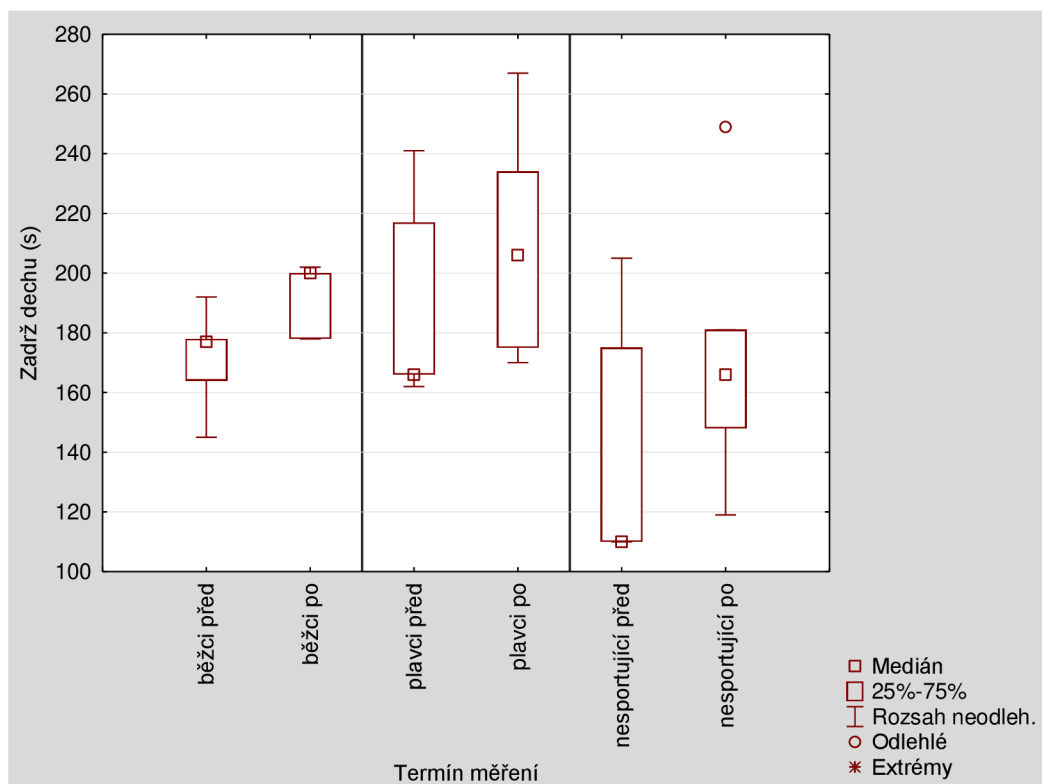


Porovnání průměrné délky zadržení dechu u běžců, plavců a nesportujících probandů

Obrázek č. 30 ukazuje porovnání průměrné délky zadržení dechu před absolvováním tréninku doma a po jeho prodělání u všech skupin. Průměrná délka zadržení dechu u běžců při 1. měření činila $171,2 \pm 15,8$ sekund a po prodělání tréninku doma $191,6 \pm 11,1$ sekund. U plavců tento čas po 1. měření činil $190,4 \pm 32,5$ sekund a $210,4 \pm 36,5$ sekund po 2. Nesportujícími probandy po 1. měření byla ukázána průměrná délka $150 \pm 41,4$ sekund a $172,6 \pm 43,4$ po 2. testu v laboratoři. Průměrný čas všech skupin dohromady neprokázal věcnou významnost ($d=-0,7$), ale byl statisticky významný ($p \leq 0,01$).

Obrázek 30

Porovnání průměrné délky zadržetí dechu při maximální apnoei u běžců, plavců a nesportujících probandů



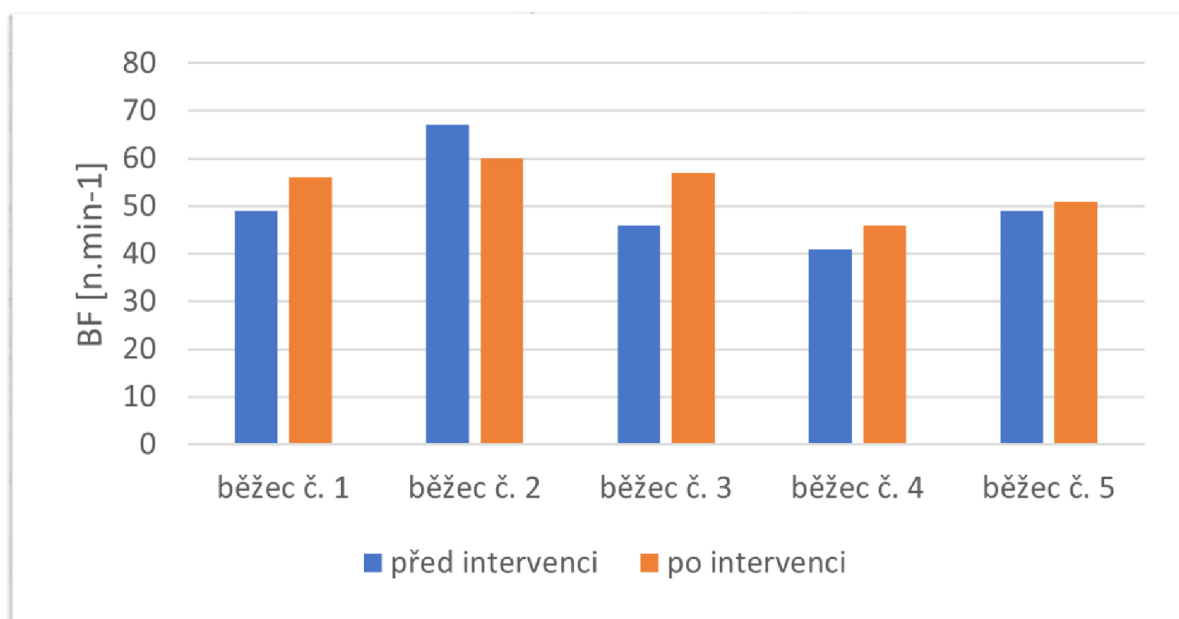
5.4 Dechová frekvence při vyšetření na bicyklovém ergometru

Dechová frekvence běžci

Obrázek č. 31 prezentuje hodnoty dechové frekvence při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru před a po tréninkovém cyklu doma u všech běžců zvlášť. U všech běžců, kromě běžce č. 2 se hodnota dechové frekvence zvýšila. U běžce č. 2 tato hodnota klesla z 67 na 60 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$. Nejvíce hodnota dechové frekvence se zvýšila u běžce č. 3, a to je o 11 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ z 46 na 57 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$. Nejmenší přírůst o 5 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ byl zaznamenán u běžce č. 5. Celkově ze všech probandů běžeckého oddílu největšího výsledku dosáhl běžec č. 2 60 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ při 1. měření. Nejnižší hodnota dechové frekvence byla ukázána běžcem č. 4 při 1. měření, a to je 41 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$. Výsledky dechové frekvence u běžců při zátěžovém testu nebyly věcně ($d=0,5$) ani statisticky významné,

Obrázek 31

Porovnání hodnot dechové frekvence u běžců před a po absolvování tréninkového cyklu



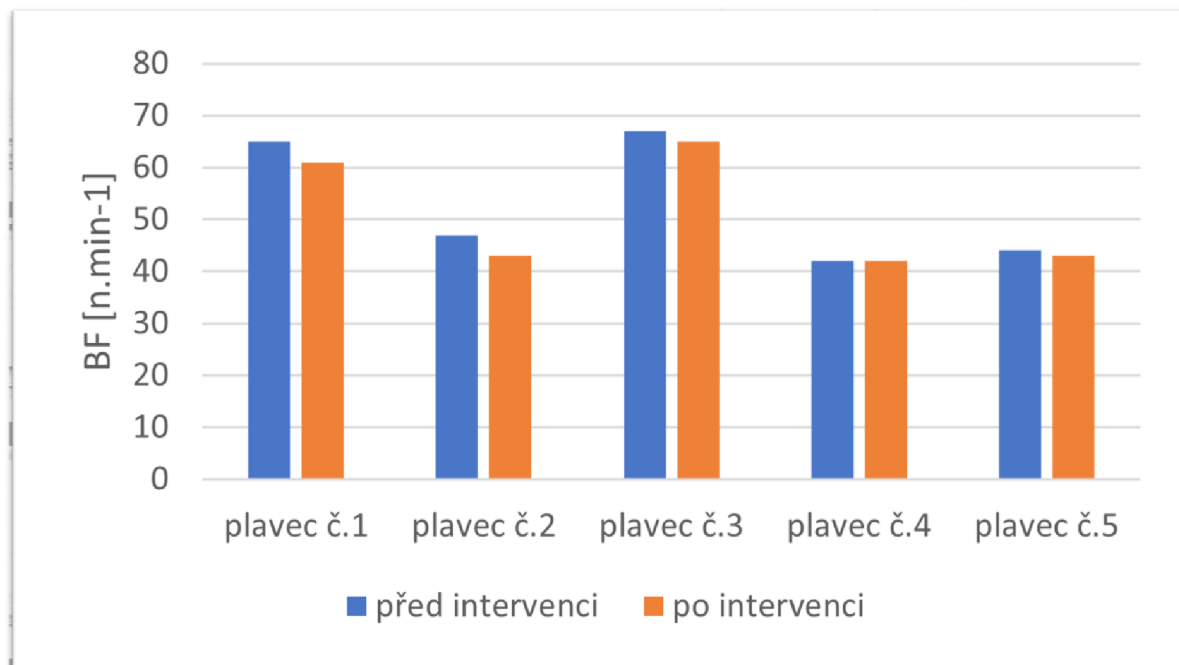
Dechová frekvence plavci

Obrázek č. 32 znázorňuje hodnotu dechové frekvence u všech plavců před a po absolvování tréninku doma. Hodnota dechové frekvence se snížila u všech plavců, kromě plavce č. 4, u kterého se hodnota dechové frekvence nezměnila po obou testech. Největšího snížení dosáhli plavci č. 1 a 2, kterým tato hodnota klesla o 4 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$. Nejmenšího poklesu dosáhl plavec č. 5 o 1 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$. Celkově ze skupiny plavců nejnižší hodnoty 42 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ dosáhl plavec č. 4 při 2. měření a nejvyšší hodnotu dechové frekvence 67 $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$ ukázal plavec č. 3

při 1. měření. Výsledky dechové frekvence při zátěžovém u plavců měly věcnou významnost ($d=0,2$) s nízkým efektem, ale nebyl statisticky významný ($p \geq 0,05$),

Obrázek 32

Porovnání hodnot dechové frekvence u plavců před a po absolvování tréninkového cyklu

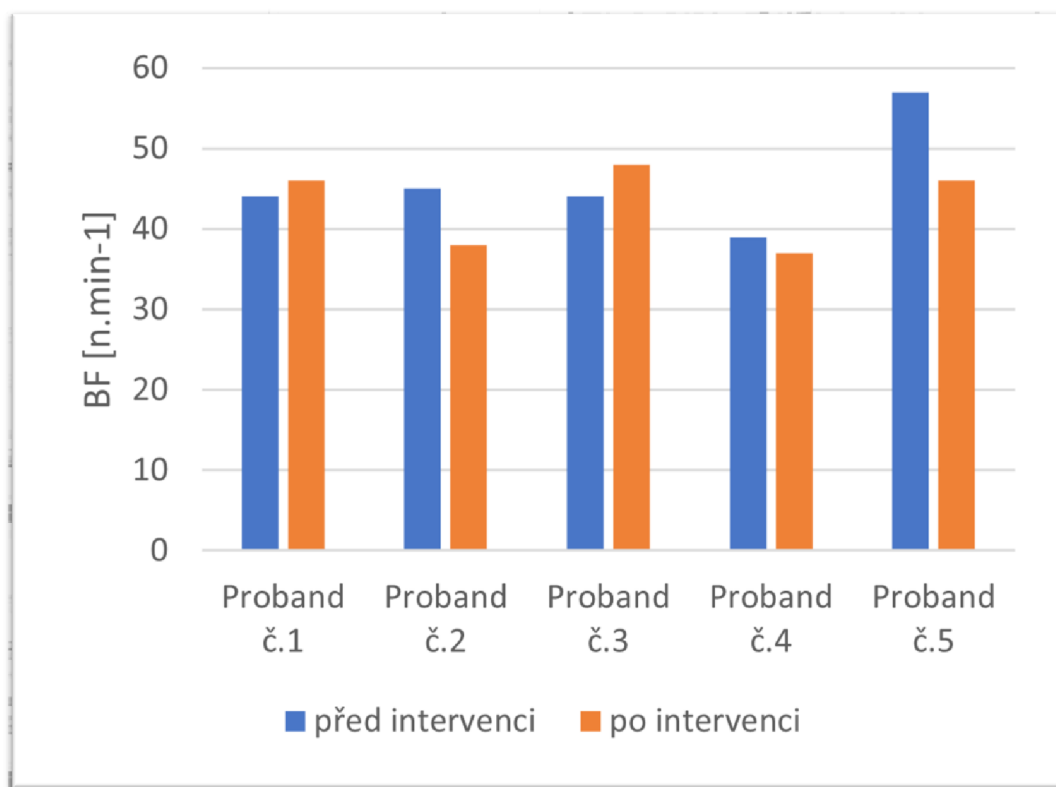


Dechová frekvence u nesportujících probandů

Na dalším obrázku č. 33 je zobrazená hodnota dechové frekvence při 1. měření v laboratoři před absolvováním tréninkového cyklu doma a po jeho prodělání u nesportujících probandů. U tří probandů z pěti se hodnota dechové frekvence snížila. Největšího poklesu dosáhl proband č. 5, u kterého tato hodnota klesla o 11 n.min⁻¹. Nejmenší pokles byl zaznamenán u probanda č. 4, kterému dechová frekvence klesla o 2 n.min⁻¹. U probandů č. 1 a 3 se hodnota dechové frekvence zvýšila. Významnějšího přírůstu o 4 n.min⁻¹ dosáhl proband č. 3. Celkem ze skupiny nesportujících probandů nejnižší hodnoty z obou testů dosáhl proband č. 4 při 1. měření, a to je 39 n.min⁻¹. Nejvyšší hodnota při obou testech byla zaznamenána u probanda č. 32 při 2. měření, a to je 48 n.min⁻¹. Výsledky dechové frekvence při zátěžovém testu u nesportujících probandů nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$), ale byla prokázána věcná významnost se středním efektem ($d=0,5$).

Obrázek 33

Porovnání hodnot dechové frekvence u nesportujících probandů před a po absolvování tréninkového cyklu

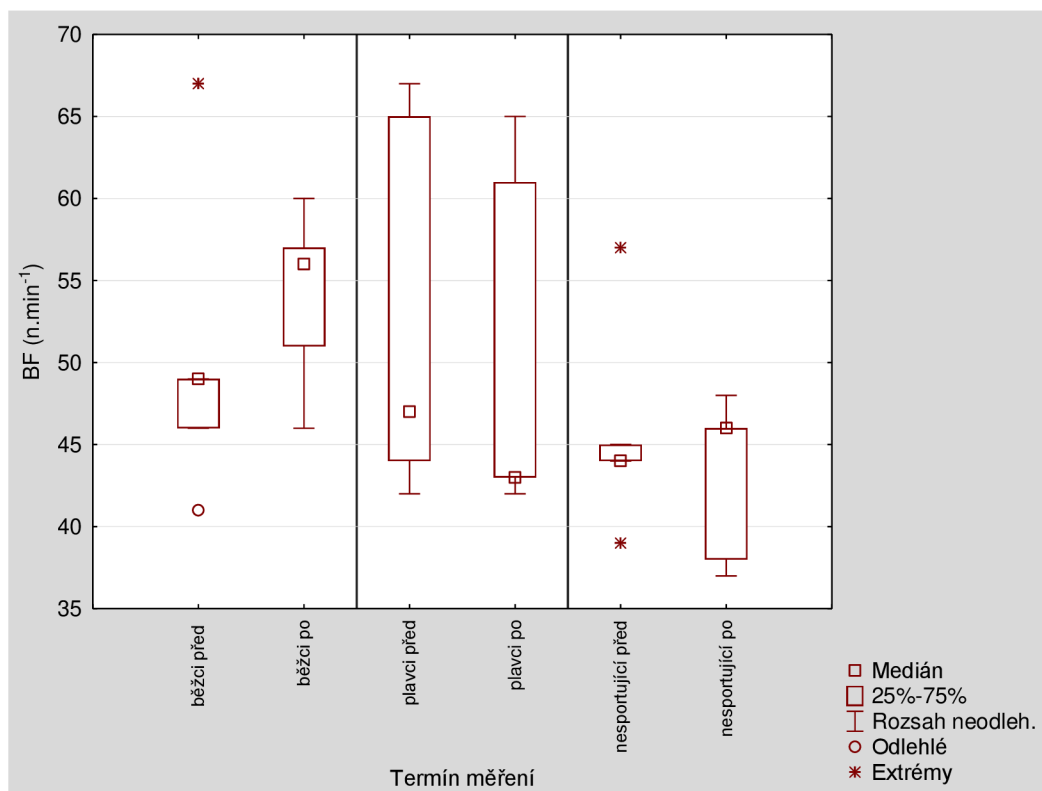


Porovnání průměrných hodnot dechové frekvence u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na dalším obrázku č. 34 lze vidět porovnání průměrných hodnot dechové frekvence při zátěžovém testu u běžců, plavců a nesportujících probandů před tréninkem doma a po jeho absolvování. U běžců se průměrná hodnota po intervenci zvýšila z $50,4 \pm 8,8$ n.min⁻¹ na $54 \pm 4,9$ n.min⁻¹. U plavců se průměrná hodnota zmenšila z $53 \pm 10,7$ n.min⁻¹ před intervenci na $50,8 \pm 10$ n.min⁻¹ po intervenci. U nesportujících probandů hodnota dechové frekvence činila $45,8 \pm 5,9$ n.min⁻¹ před intervenci a po intervenci se tato hodnota snížila na $43 \pm 4,5$ n.min⁻¹. Celkově u všech skupin dohromady hodnota dechové frekvence klesla z $45,8 \pm 5,9$ n.min⁻¹ před tréninkem doma na $43 \pm 4,5$ po prodělání tréninku. Výsledky dechové frekvence u skupin jako celku nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$), ale věcná významnost byla prokázána se středním efektem ($d=0,52$).

Obrázek 34

Porovnání průměrných hodnot dechové frekvence u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci



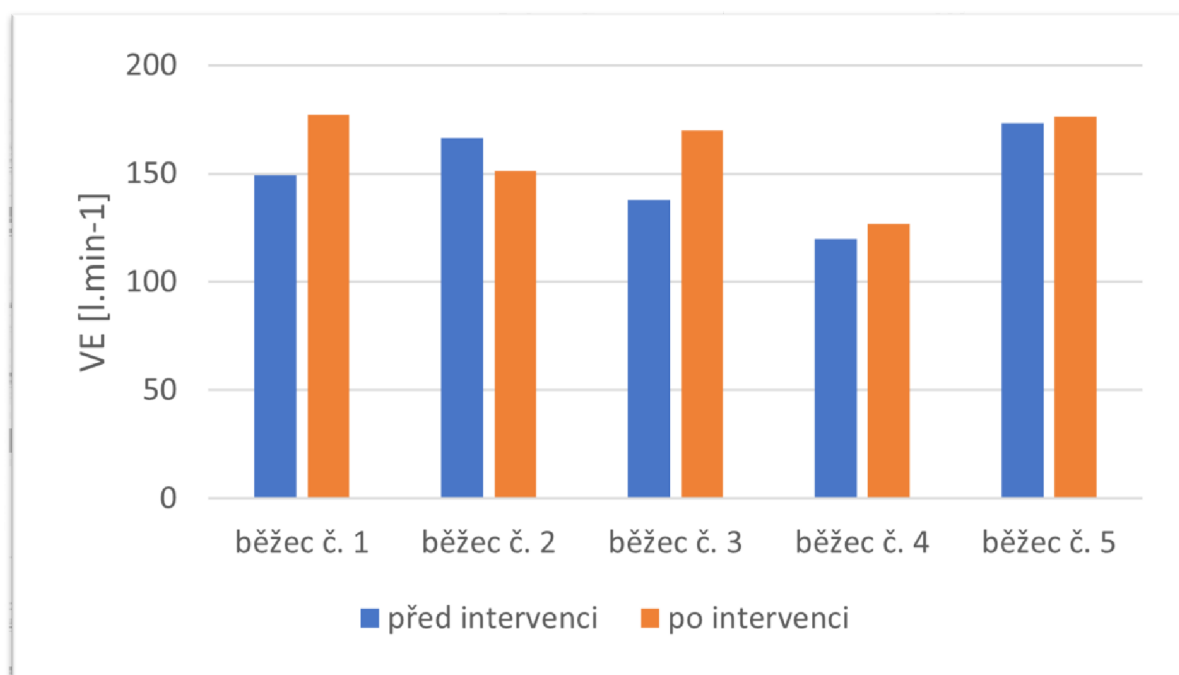
5.5 Minutová ventilace při vyšetření na bicyklovém ergometru

Minutová ventilace běžci

Následující obrázek č. 35 prezentuje výsledky minutové ventilace u všech běžců zvlášť na bicyklovém ergometru před tréninkovým procesem doma a po jeho absolvování. U všech běžců se hodnota minutové ventilace po absolvování tréninku zvýšila, kromě běžce č. 2, u kterého hodnota minutové ventilace po 2. měření o $15,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ klesla. Největšího progresu ze všech běžců hodnoty minutové ventilace dosáhl běžec č. 3, u kterého se tato hodnota zvedla o $32,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Z celé skupiny běžců největšího výsledku $177,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ dosáhl běžec č. 1 při 2. měření. Nejnižší hodnotu minutové ventilace při obou testech ukázal běžec č. 4, u kterého tato hodnota při 1. měření činila $119,9 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Výsledky minutové ventilace při zátěžovém testu u běžců nebyly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně významné ($d = -0,5$),

Obrázek 35

Porovnání hodnot minutové ventilace u běžců před a po absolvování tréninkového cyklu



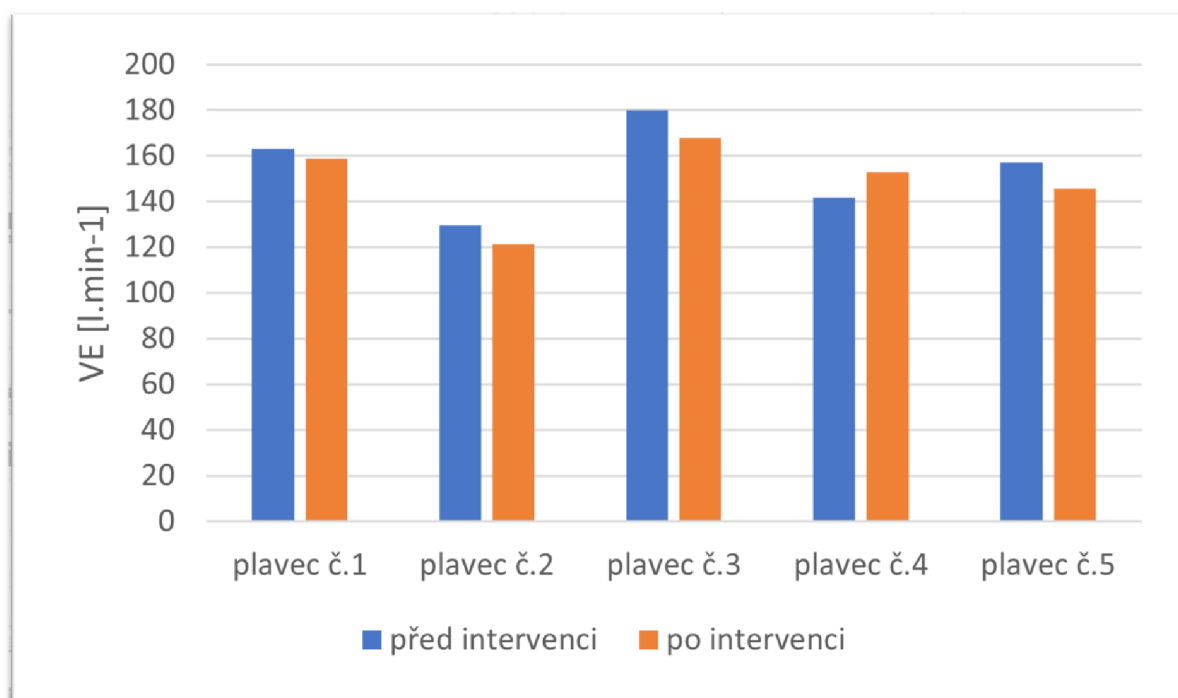
Minutová ventilace plavci

Následující obrázek č. 36 představuje porovnání hodnoty minutové ventilace u všech plavců zvlášť před cvičením doma a po jeho prodělání. U celé skupiny plavců hodnota minutové ventilace klesla, kromě plavce č. 4, u kterého se ta hodnota o $11 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ zvýšila. Z ostatních plavců největšího poklesu o $12,4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ dosáhl plavec č. 3. Nejméně se hodnota minutové ventilace snížila u plavce č. 3, u kterého tato hodnota klesla z $180,1$ na $167,7 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, rozdíl činil $12,4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Celkově ze všech plavců nejnižší hodnoty minutové ventilace při

obou testech dosáhl plavec č. 2, který dosáhl $121,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ při 2. měření. Nejlepší výsledek byl ukázán plavcem č. 3 při 1. měření, který dosáhl hodnoty $180,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Výsledky minutové ventilace u plavců při zátěžovém testu nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$), ale byla prokázána věcná významnost s nízkým efektem ($d=0,3$),

Obrázek 36

Porovnání hodnot minutové ventilace u plavců před a po absolvování tréninkového cyklu

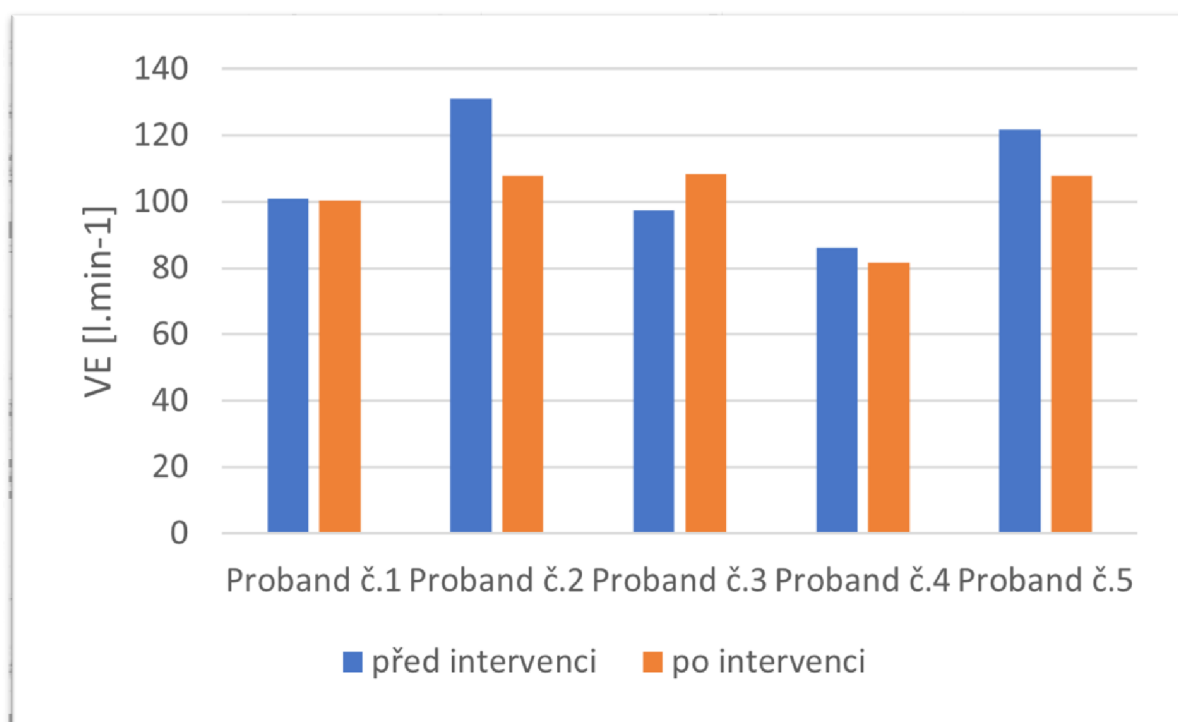


Minutová ventilace u nesportujících probandů

Další obrázek č. 37 zobrazuje výsledky minutové ventilace nesportujících probandů při 1. měření před tréninkovým cyklem doma a 2. měření po jeho absolvování. U čtyř z pěti probandů hodnota minutové ventilace po prodělání tréninku klesla, kromě probanda č. 3, u kterého se tato hodnota zvýšila o $10,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Z ostatních probandů nejvíce hodnota minutové ventilace klesla u probanda č. 2, kterému tato hodnota klesla o $23,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Nejmenší pokles pouze o $0,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ byl zaznamenán z probanda č. 1. Celkově ze všech nesportujících probandů nejnižší hodnoty minutové ventilace dosáhl proband č. 4. Hodnota při 2. měření činila $81,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Největší hodnota minutové ventilace činila $108,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, která byla dosažena probandem č. 3 při 2. měření. Výsledky minutové ventilace při zátěžovém testu nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$), ale byly věcně významné s nízkým efektem ($d=0,4$).

Obrázek 37

Porovnání hodnot minutové ventilace u nesportujících probandů před a po absolvování tréninkového cyklu

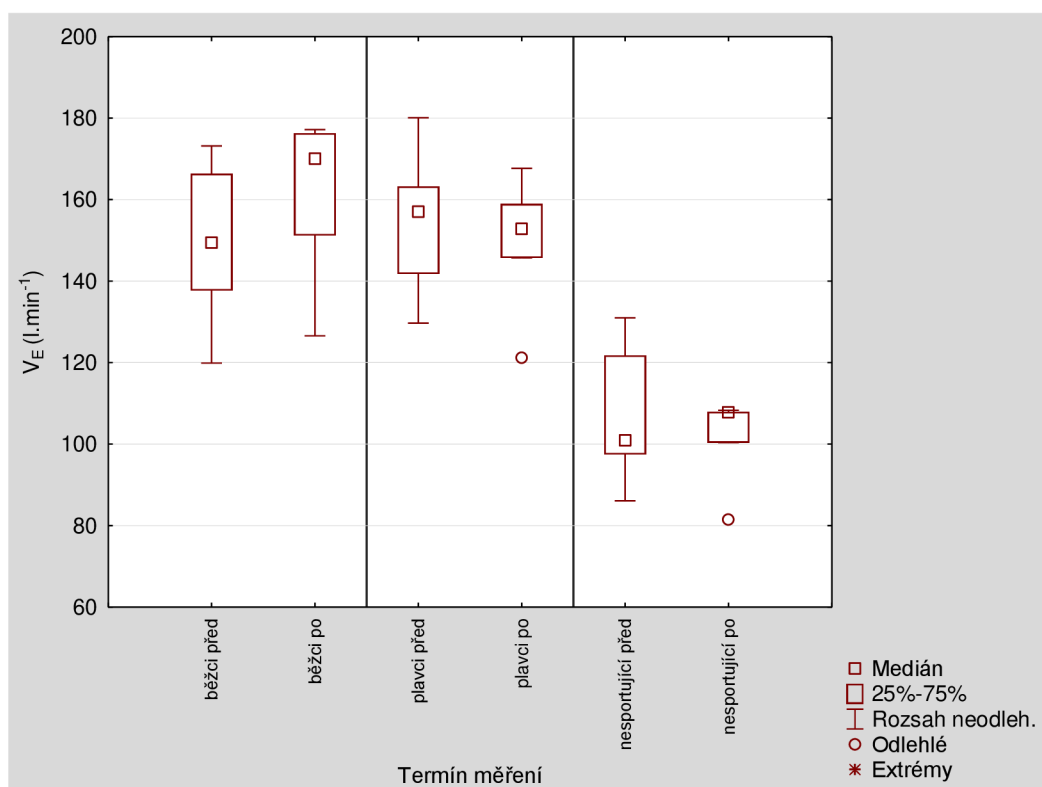


Porovnání průměrných hodnot minutové ventilace před a po intervenci u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na dalším obrázku č. 38 lze vidět výsledky průměrných hodnot minutové ventilace u všech skupin před tréninkovým procesem doma a po jeho absolvování. U běžců po 1. měření průměrná hodnota minutové ventilace činila $149,3 \pm 19,3$ l.min⁻¹ a po 2. měření se tato hodnota zvýšila na $160,2 \pm 19,3$ l.min⁻¹. U plavců se průměrná hodnota minutové ventilace po intervenci snížila. Před intervencí tato hodnota činila $154,3 \pm 17,4$ l.min⁻¹ a po intervenci $149,3 \pm 15,8$ l.min⁻¹. U nesportujících probandů se průměrná hodnota minutové ventilace po intervenci snížila. Před intervencí tato hodnota činila $107,5 \pm 16,5$ l.min⁻¹ a po 2. měření $101,2 \pm 10,3$ l.min⁻¹. Celkově u všech skupin se průměrná hodnota minutové ventilace snížila z $107,5 \pm 16,5$ l.min⁻¹ před intervencí na $101,2 \pm 10,3$ l.min⁻¹ po intervenci. Výsledky minutové ventilace u běžců, plavců a nesportujících probandů nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$), ale byla prokázána věcná významnost s nízkým efektem ($d=0,4$).

Obrázek 38

Porovnání průměrných hodnot minutové ventilace u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci



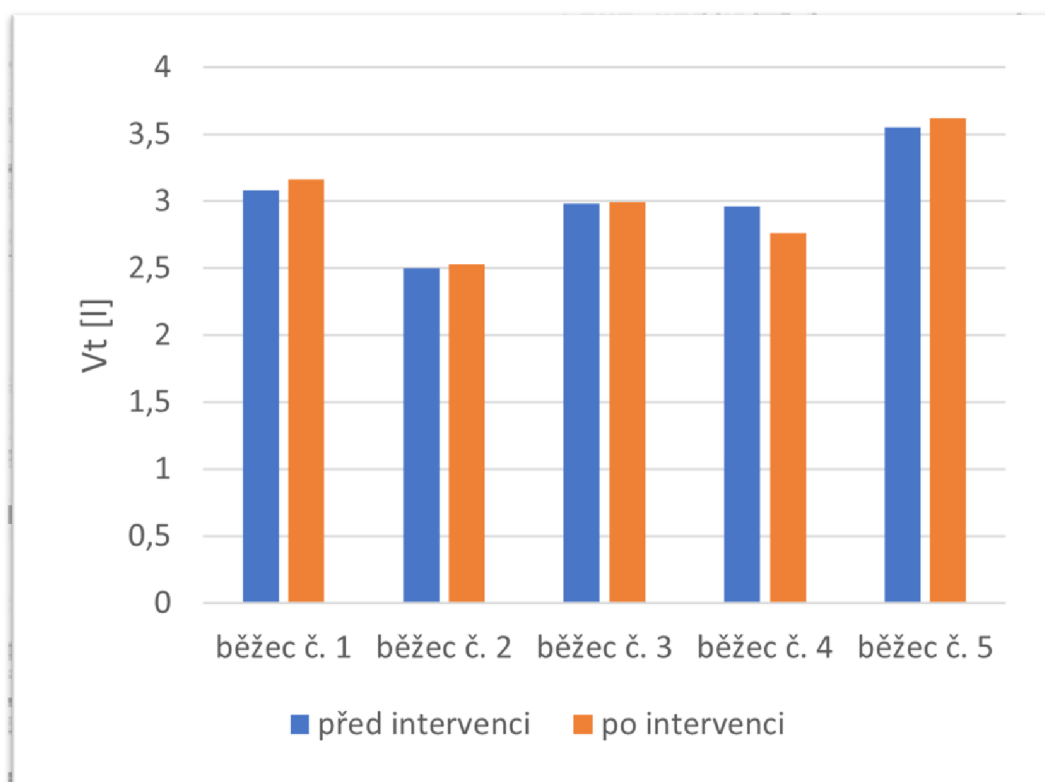
5.6 Dechový objem při vyšetření na bicyklovém ergometru

Dechový objem běžci

Obrázek č. 39 prezentuje výsledky měření dechového objemu všech běžců na bicyklovém ergometru před a po tréninkovém cyklu doma. U čtyř z pěti běžců se zvýšila hodnota dechového objemu, pouze u běžce č. 4 klesla. Běžec č. 1 dosáhl největšího zlepšení s nárůstem dechového objemu o 0,08 l, zatímco běžec č. 3 měl nejmenší přírůstek o 0,01 l. Nejvyšší hodnotu dechového objemu 3,62 l dosáhl běžec č. 5 při druhém měření, zatímco nejnižší hodnota 2,5 l byla zaznamenána u běžce č. 2 při prvním měření. Výsledky měření dechového objemu na bicyklovém ergometru u běžců nebyly statisticky ($p \geq 0,05$) ani věcně ($d=0,005$) významné,

Obrázek 39

Porovnání hodnot dechového objemu u běžců před a po absolvování tréninkového cyklu



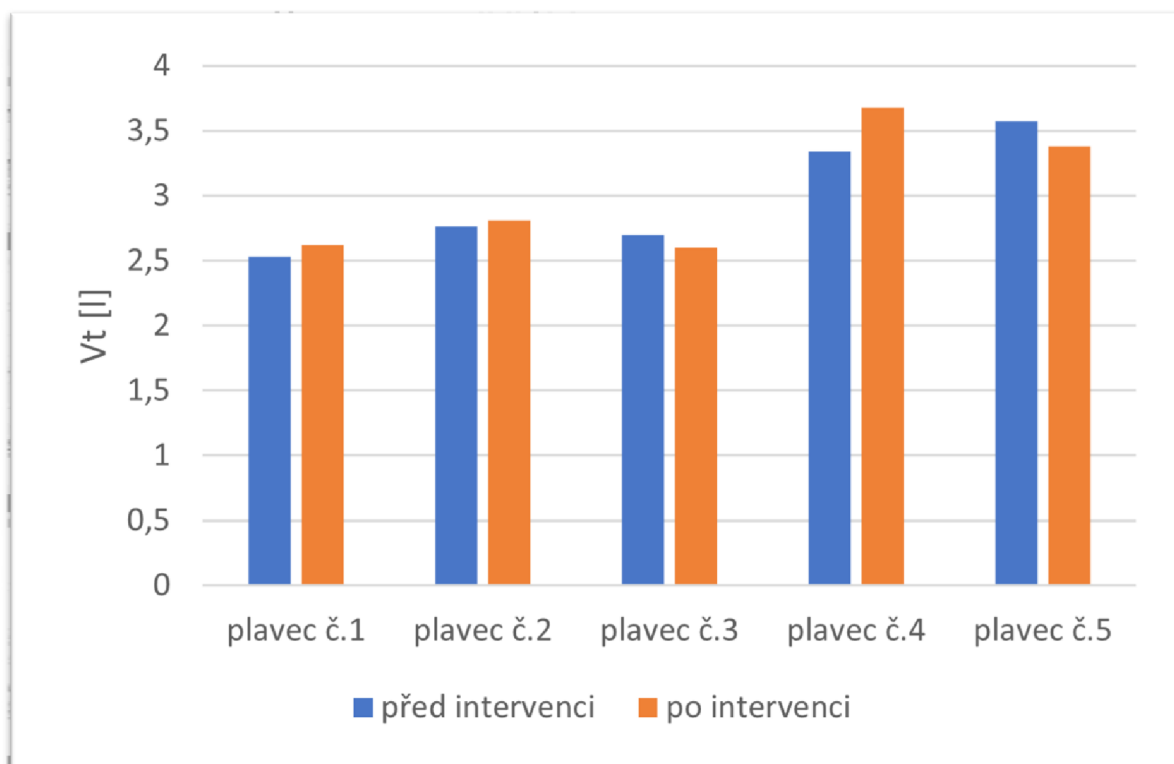
Dechový objem plavci

Obrázek č. 40 představuje výsledky dechového objemu měřeného na bicyklovém ergometru každého plavce zvlášť před tréninkem doma a po jeho absolvování tréninku. U tří z pěti plavců se hodnota dechového objemu zvýšila. Nejvíce se tato hodnota zvýšila u plavce č. 4, a to je o 0,34 l. Nejmenšího růstu hodnoty dechového objemu dosáhl plavec č. 2, a to je o 0,05 l. U ostatních plavců hodnota dechového objemu po 2. měření klesla. Větší pokles

hodnoty dechového objemu byl zaznamenán u plavce č. 5, a to je o 0,19 l. u plavce č. 4 tato hodnota klesla o 0,1 l. Celkově ze všech plavců největší hodnota dechového objemu 3,68 l byla zaznamenána u plavce č. 4 při 2. měření. Naopak nejmenší hodnoty 2,53 dosáhl plavec č. 1 při 1. měření. Výsledky dechového objemu při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru u plavců nebyly statisticky významné ($p \geq 0,05$). Věcná významnost také nebyla prokázána ($d = 0,09$),

Obrázek 40

Porovnání hodnot dechového objemu u plavců před a po absolvování tréninkového cyklu



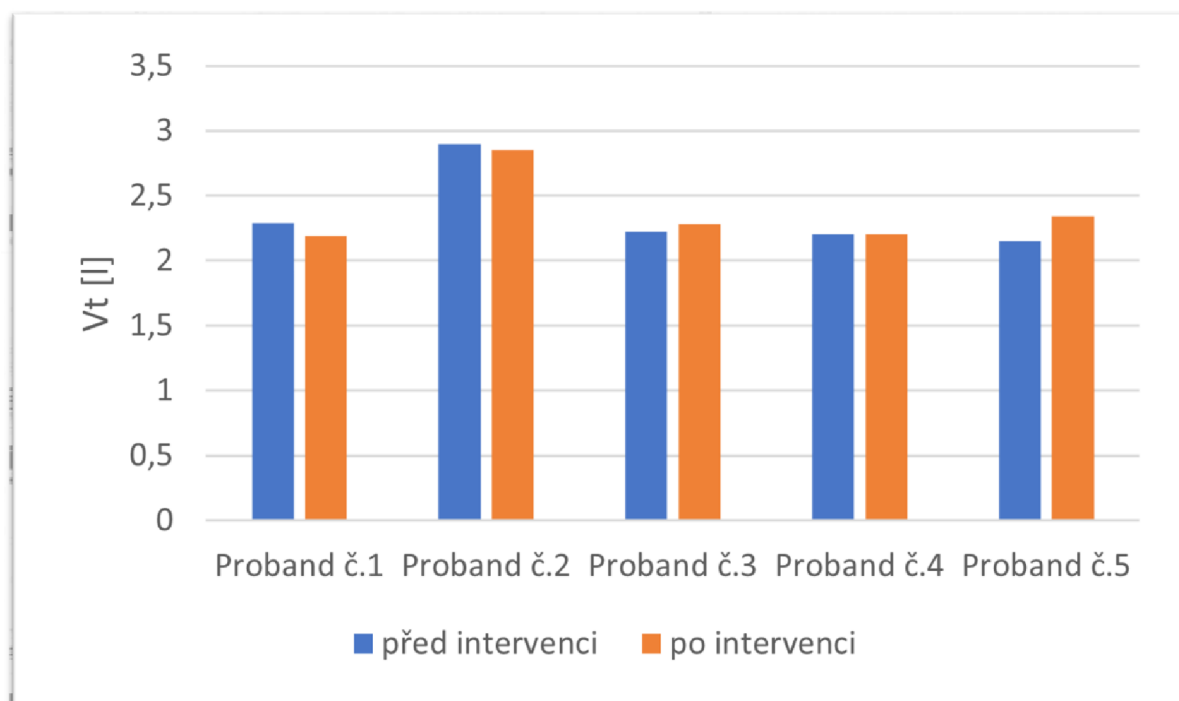
Dechový objem nespportujících

Další obrázek č. 41 zobrazuje porovnání výsledků dechového objemu u všech nespportujících probandů při 1. měření prováděným před tréninkem doma a při 2. měření po absolvování tréninkového cyklu. U dvou z pěti nespportujících probandů se hodnota dechového objemu snížila, a u dvou se zvýšila. Více se hodnota dechového objemu snížila u probanda č. 1, a to o 0,1 l. Z výsledků měření vyplývá, že největší přírůst dechového objemu byl zaznamenán u probanda č. 5 a celkově největší hodnota dechového objemu byla zaznamenána u probanda č. 2 při prvním měření. Nejmenší hodnota dechového objemu byla u probanda č. 5 při prvním měření. U probanda č. 4 nedošlo ke změně hodnoty dechového

objemu po absolvování testu. Při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru nebyla hodnota dechového objemu u nesportujících probandů statisticky ani věcně významná,

Obrázek 41

Porovnání hodnot dechového objemu u nesportujících probandů před a po absolvování tréninkového cyklu

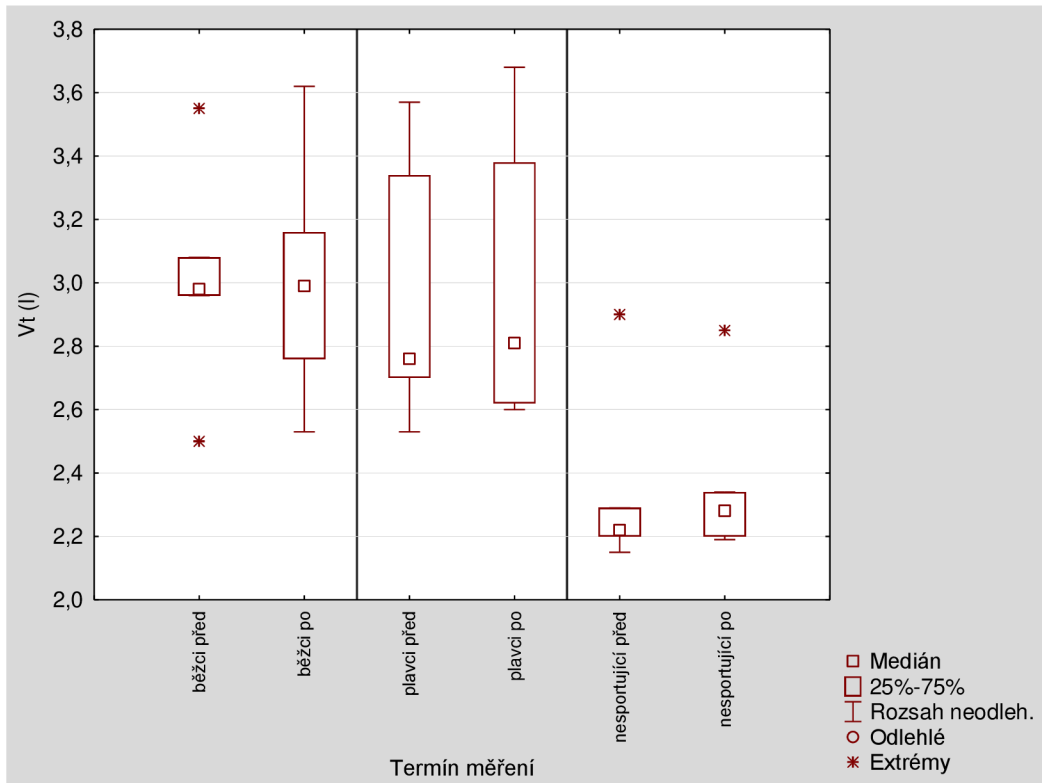


Porovnání průměrných hodnot dechového objemu u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci

Na následujícím obrázku č. 42 je možno pozorovat výsledky průměrných hodnot dechového objemu při zátěžovém testu na bicyklu u běžců, plavců a nesportujících probandů před tréninkem doma a po jeho absolvování. U běžců průměrná hodnota dechového objemu před intervencí činila $3,014 \pm 0,3$ l a po intervenci tato hodnota klesla na $3,012 \pm 0,4$ l. U plavců se hodnota dechového objemu po intervenci zvýšila. Při 1. měření hodnota dechového objemu byla $2,98 \pm 0,4$ l a po 2. měření se zvedla na $3,018 \pm 0,4$ l. U nesportujících probandů se hodnota dechového objemu také zvýšila. Před intervencí průměrný výsledek nesportujících probandů činil $2,33 \pm 0,2$ l a po intervenci se tato hodnota zvedla na $2,37 \pm 0,2$ l. U všech skupin v celku se hodnota dechového objemu po intervenci zvýšila. Při 1. měření v laboratoři hodnota dechového objemu činila $2,78 \pm 0,3$ l a po 2. měření byla $2,8 \pm 0,2$ l. Výsledky dechového objemu u všech skupin jako celku neprokázaly statistickou ($p \geq 0,05$) ani věcnou významnost ($d = -0,07$),

Obrázek 42

Porovnání průměrných hodnot dechového objemu u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci



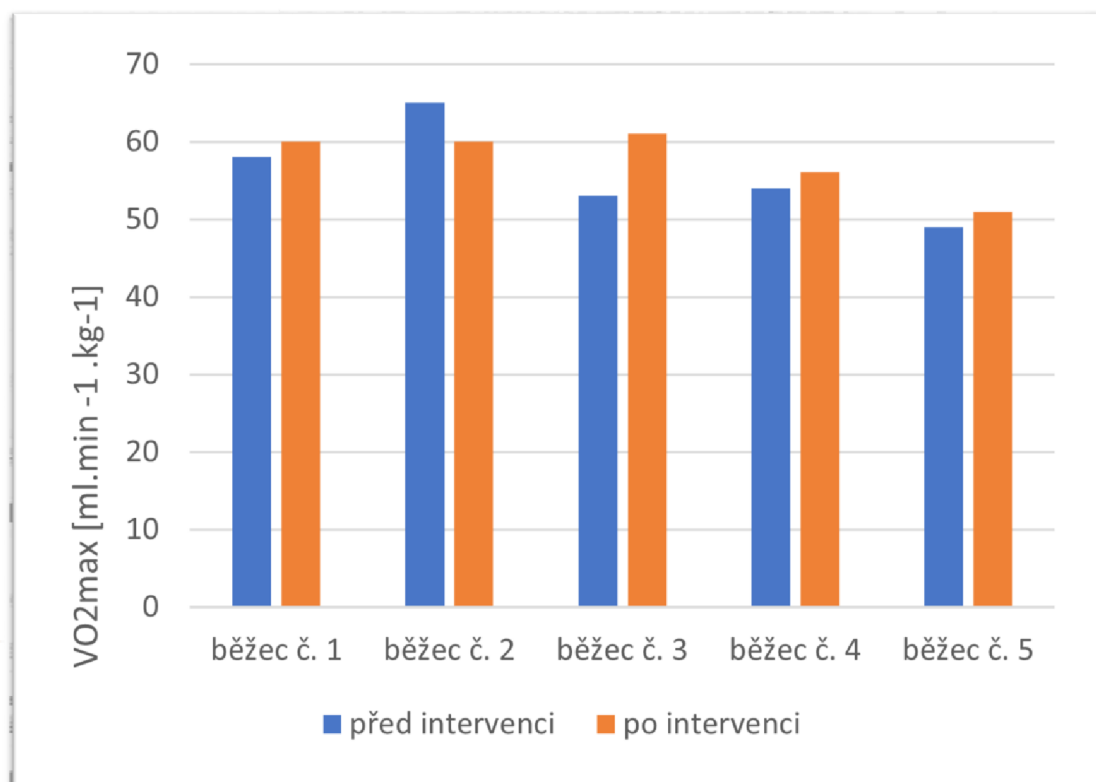
5.7 VO₂max při vyšetření na bicyklovém ergometru

VO₂max běžci

Následující obrázek č. 43 prezentuje výsledky hodnoty VO₂max, které byly naměřené na bicyklovém ergometru u běžců zvláště před tréninkovým cyklem doma a po jeho absolvování. U čtyř z pěti běžců výsledky hodnoty VO₂max se zvedli po 2. testu. Pouze u běžce č. 2 se tato hodnota snížila o 5 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Při 1. testu hodnota VO₂max u něj činila 65 ml.min⁻¹.kg⁻¹, což je zároveň největší výsledek ze všech běžců při obou testech, a při 2. 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹. U ostatních běžců nejvíce se hodnota VO₂max zvýšila u běžce č. 3, kterému se podařilo zvýšit hodnotu VO₂max o 8 ml.min⁻¹.kg⁻¹, a to je z 53 ml.min⁻¹.kg⁻¹ při 1. měření na 61 ml.min⁻¹.kg⁻¹ při 2. měření. U všech ostatních tří běžců se hodnota VO₂max zvýšila o 2 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Nejnižší hodnota VO₂max 49 ml.min⁻¹.kg⁻¹ při obou testech byla dosažena běžcem č. 5 při 1. měření. Při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru hodnota VO₂max u běžců nebyla statisticky významná ($p \geq 0,05$). Věcná významnost u běžců také nebyla prokázána ($d = -0,3$),

Obrázek 43

Porovnání hodnot VO₂max u běžců na bicyklovém ergometru před a po intervenci

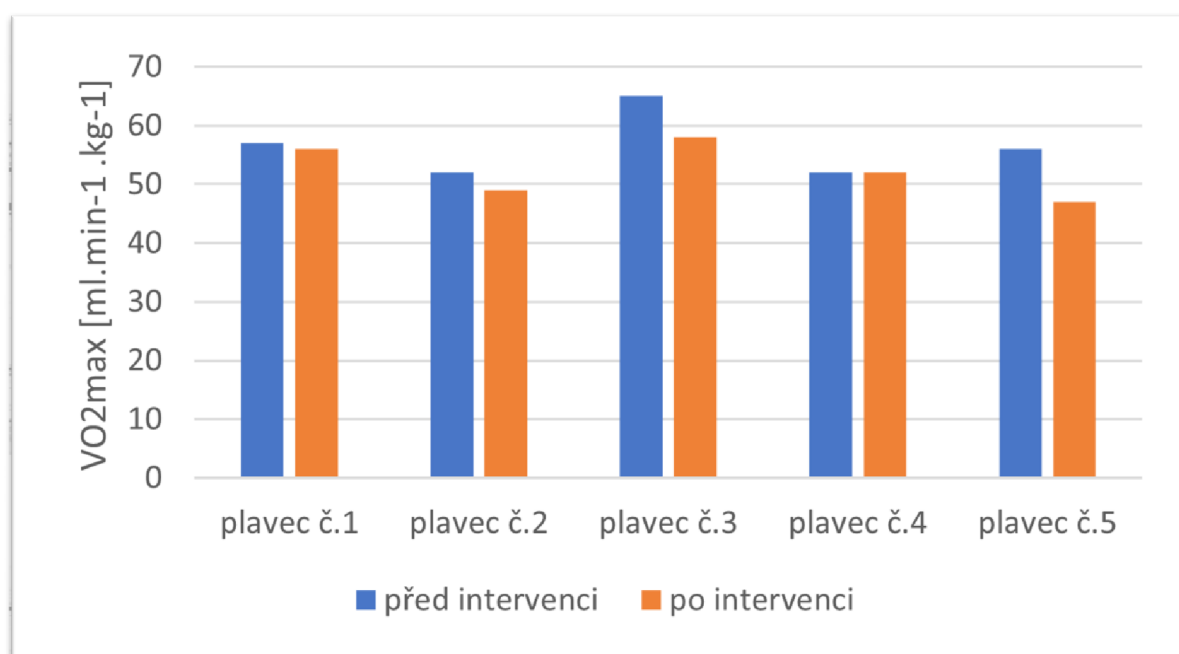


VO₂max plavci

Obrázek č. 44 zobrazuje hodnoty VO₂max na bicyklovém ergometru u všech plavců zvlášť. U každého plavce je zobrazen 1. výsledek před absolvováním tréninku doma a 2. výsledek po jeho absolvování. U všech plavců se hodnota VO₂max po absolvování tréninku snížila, kromě plavce č. 4, u kterého výsledek testu se nezměnil. Největší pokles byl zaznamenán u plavce č. 5, u kterého se hodnota VO₂max klesla až o 9 ml.min⁻¹ .kg⁻¹, a to je z 56 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ při 1. testu na 47 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ při 2. testu, což je zároveň nejnižší hodnota VO₂max ze všech plavců. Naopak nejmenšího poklesu o 1 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ dosáhl plavec č. 1. Celkově ze všech plavců největší hodnota VO₂max byla naměřena u plavce č. 3 při 1. měření, a to je 65 ml.min⁻¹ .kg⁻¹. Při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru hodnota VO₂max nebyla statisticky významná ($p \geq 0,05$). Také při testu byla prokázána věcná významnost s vysokým efektem ($d=0,8$),

Obrázek 44

Porovnání hodnot VO₂max u plavců na bicyklovém ergometru před a po intervenci



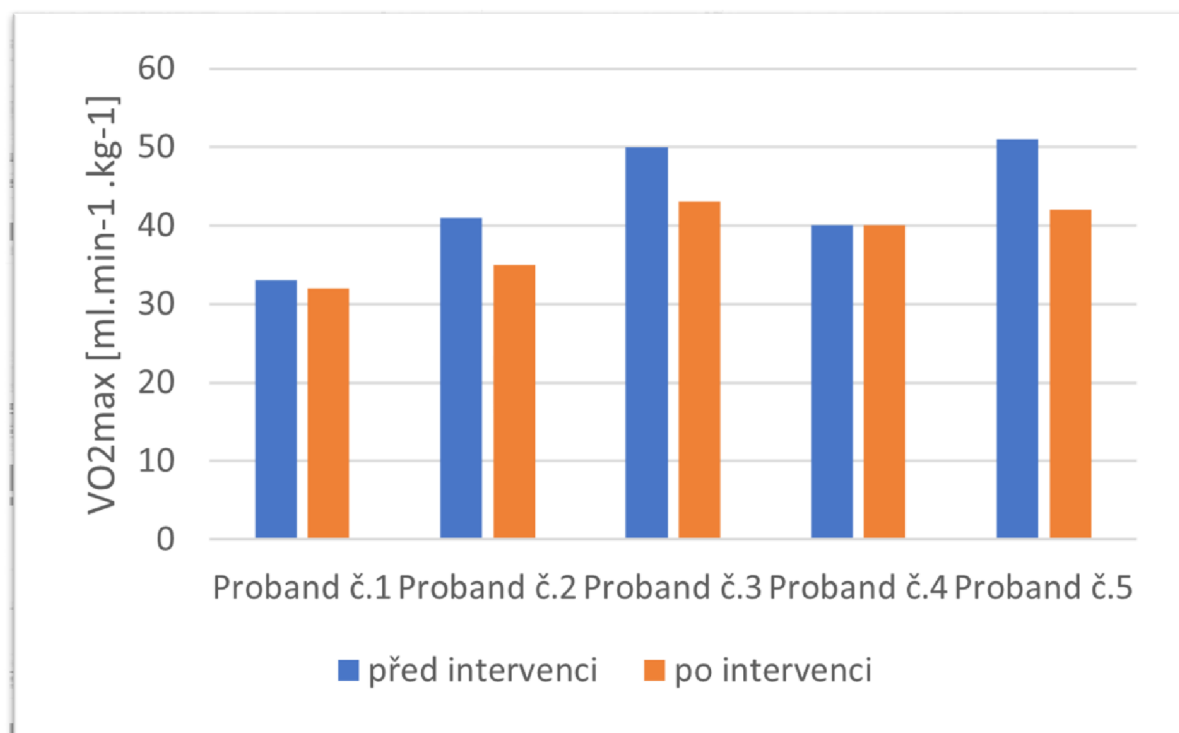
VO₂max nesportovci

Na následujícím obrázku č. 45 lze pozorovat změnu mezi měření výsledků VO₂max u všech nesportujících probandů zvlášť. U všech nesportujících probandů došlo k poklesu hodnoty VO₂max po absolvování tréninkového cyklu doma, kromě probanda č. 4, u kterého tato hodnota zůstala stejná. Největší pokles byl zaznamenán u probanda č. 5, a to je o 9 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ z 51 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ při 1. testu na 42 ml.min⁻¹ .kg⁻¹ při 2. testu. Naopak

nejmenšího poklesu dosáhl proband č. 1, a to je jenom o $1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ z $33 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ při 1. měření na $32 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ při 2., což je zároveň nejmenší hodnota VO_2max , která byla dosažená při obou testech u všech nesportujících probandů. Naopak nejlepší výsledek VO_2max byl ukázán probandem č. 5 při 1. testu, a to $51 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru u nesportujících probandů hodnota VO_2max byla věcně významná s vysokým efektem ($d=0,8$), ale statisticky významná tato hodnota nebyla ($p\geq 0,05$),

Obrázek 45

Porovnání hodnot VO_2max u nesportujících probandů na bicyklovém ergometru před a po intervenci



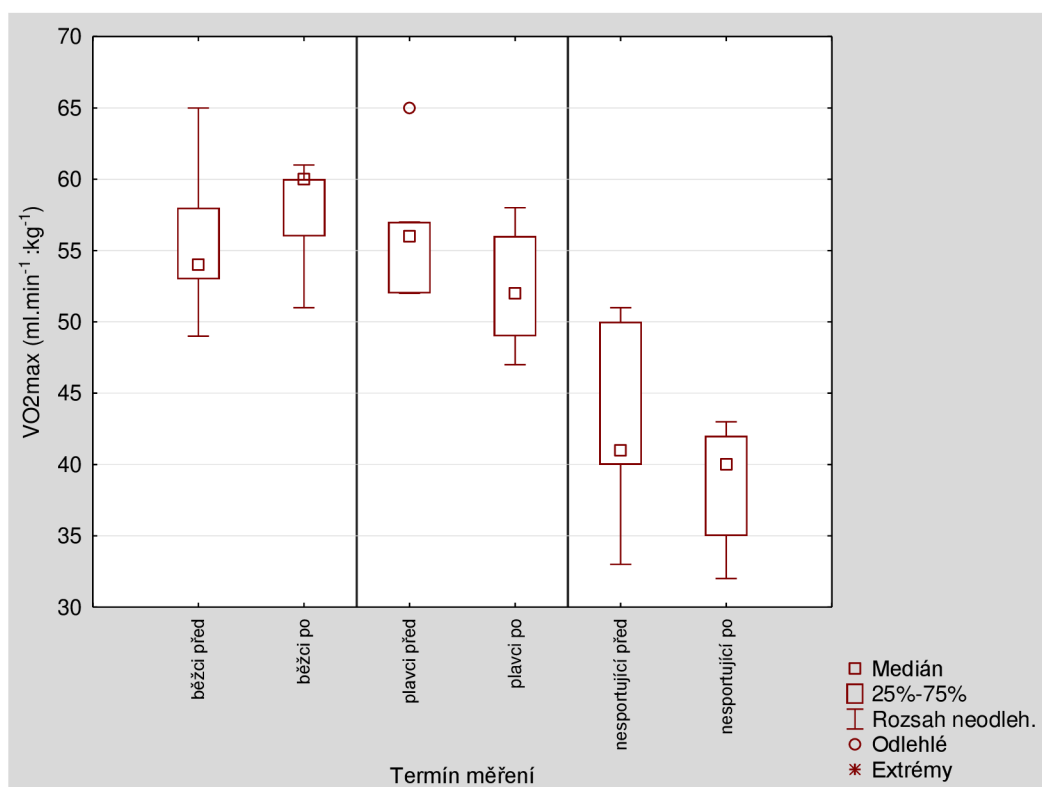
Porovnání průměrných hodnot VO_2max u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci

Na následujícím obrázku č. 46 je možno vidět porovnání průměrných hodnot VO_2max u běžců, plavců a nesportujících probandů před tréninkem doma a po jeho absolvování. Pouze u běžců se průměrná hodnota VO_2max zvýšila. Před intervenci průměrná hodnota VO_2max činila $55,8 \pm 5,4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ a po intervenci se zvedla na $57,6 \pm 3,7 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. U plavců a nesportujících probandů se průměrná hodnota po intervenci snížila. Při 1. měření v laboratoři u plavců průměrná hodnota VO_2max byla $56,4 \pm 4,8 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ a u nesportujících probandů tato hodnota činila $43 \pm 6,7 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Po intervenci u plavců průměrná hodnota VO_2max klesla na $52,4 \pm 4,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ a u nesportujících probandů na $38,4 \pm 4,2 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. U

všech skupin v celku se průměrná hodnota VO_{2max} po intervenci snížila. Průměr všech skupin po 1. měření činil $51,7 \pm 8,4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ a po 2. testu klesl na $49,5 \pm 9,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Výsledky průměrné hodnoty VO_{2max} na bicyklovém ergometru u všech skupin dohromady nebyl statisticky významný ($p \geq 0,05$), ale při zátěžovém testu byla prokázána věcná významnost s nízkým efektem ($d=0,2$),

Obrázek 46

Porovnání průměrných hodnot VO_{2max} u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci



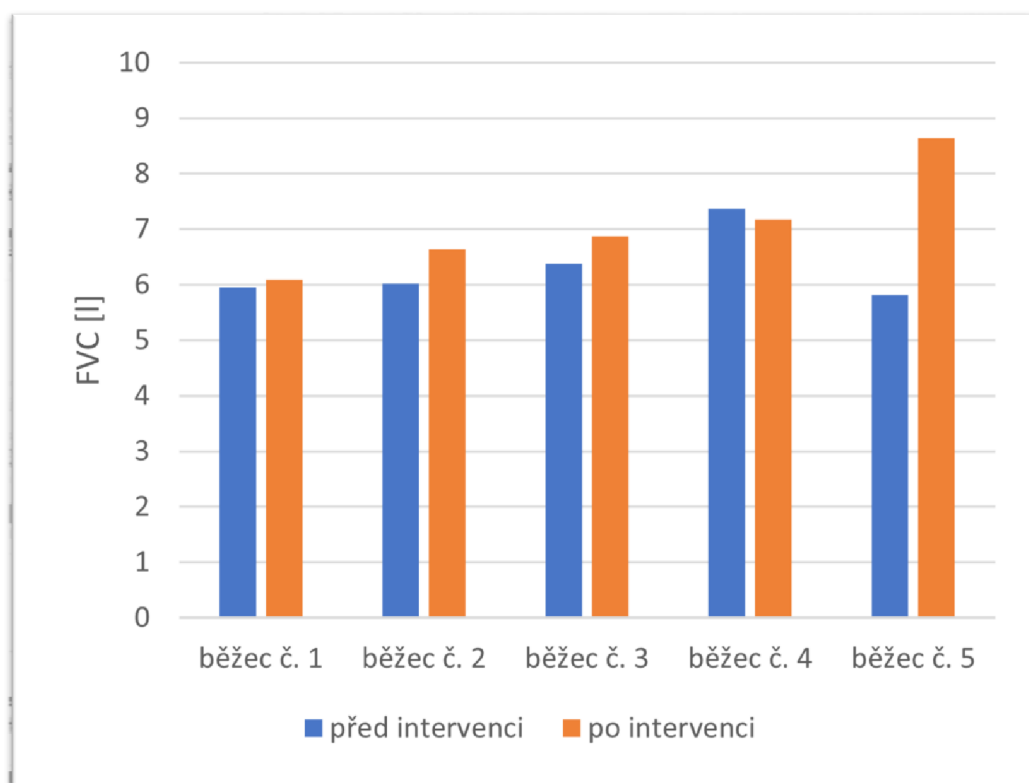
5.8 Usilovný výdech vitální kapacity (FVC)

Usilovný výdech vitální kapacity (FVC) běžci

Další obrázek č. 47 ukazuje porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u všech běžců zvláště před podstoupením tréninkového procesu doma a po jeho absolvování. U čtyř z pěti běžců se hodnota FVC po intervenci zvýšila. Nižší výsledek po intervenci byl ukázán běžcem č. 4, kterému tato hodnota po intervenci klesla z 7,37 l před intervencí na 7,17 l po ní. Z ostatních běžců nejvíce ze celé skupiny se hodnota FVC zvýšila u běžce č. 5. Při 1. měření běžcem č. 5 byl ukázán výsledek 5,82 l a po 2. měření tento výsledek činil 8,64 l což je zároveň nejvyšší výsledek ze skupiny běžců. Rozdíl byl 2,82 l. Nejméně ze všech běžců se hodnota FVC zvýšila u běžce č. 1, u kterého rozdíl mezi měřeními byl jenom 0,13 l, a to je z 5,96 l při 1. měření na 6,09 l po 2. testu. Výsledky usilovného výdechu vitální kapacity plic u běžců neprokázaly statistickou ani věcnou významnost,

Obrázek 47

Porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity u běžců před a po intervenci



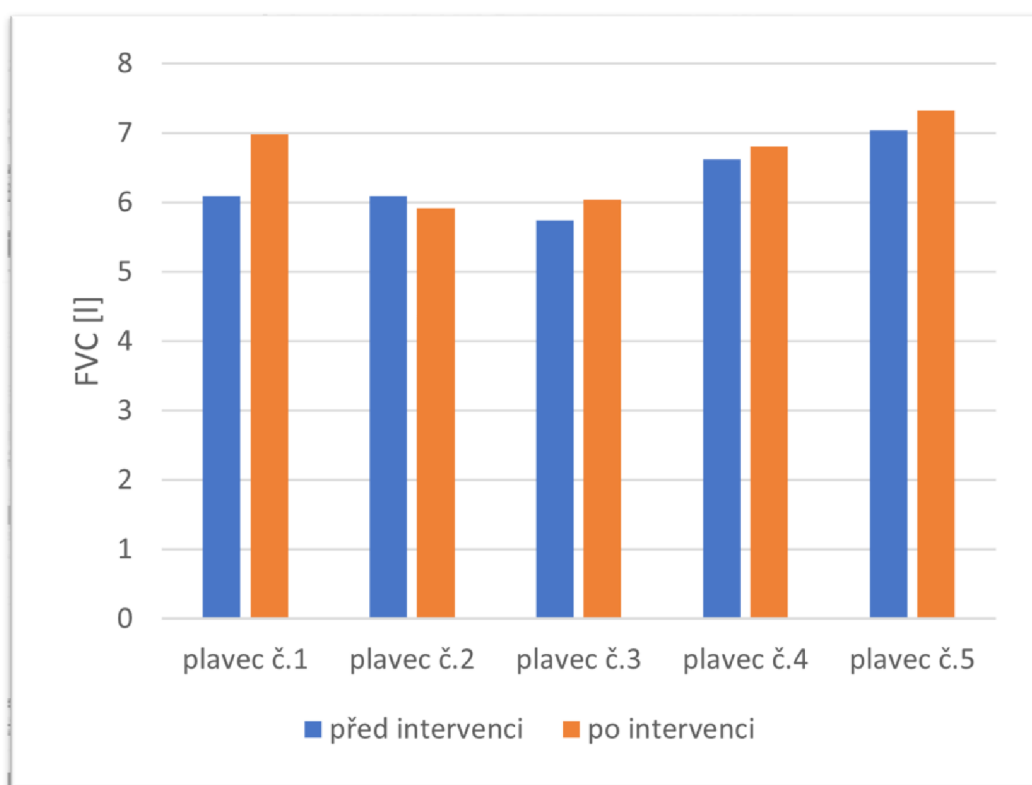
Usilovný výdech vitální kapacity (FVC) u plavců

Na následujícím obrázku č. 48 lze vidět porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u všech plavců zvláště před tréninkem doma a po jeho absolvování. U čtyř z pěti plavců se hodnota FVC po intervenci zvýšila. Pouze u plavce č. 2 se hodnota FVC snížila z 6,09

I před intervencí na 5,92 l po intervenci. Největší zlepšení bylo zaznamenáno u plavce č. 1, u kterého při 1. měření hodnota FVC činila 6,1 l a po 2. testu 6,98 l. Rozdíl činí 0,88 l. Naopak nejmenšího zlepšení dosáhl plavec č. 4, kterému se hodnota zvýšila o 0,19 l po intervenci, a to je z 6,62 l po 1. měření na 6,81 l po 2. Celkově ze všech plavců nejlepší výsledek FVC byl ukázán plavcem č. 5 při 2. měření v laboratoři, a to je 7,33 l. Naopak nejnižší výsledek byl ukázán plavcem č. 3, když při 1. měření dosáhl hodnoty 5,74 l. Výsledky usilovného výdechu vitální kapacity plic u plavců nebyly věcně ani statisticky významné.

Obrázek 48

Porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u plavců před a po intervenci



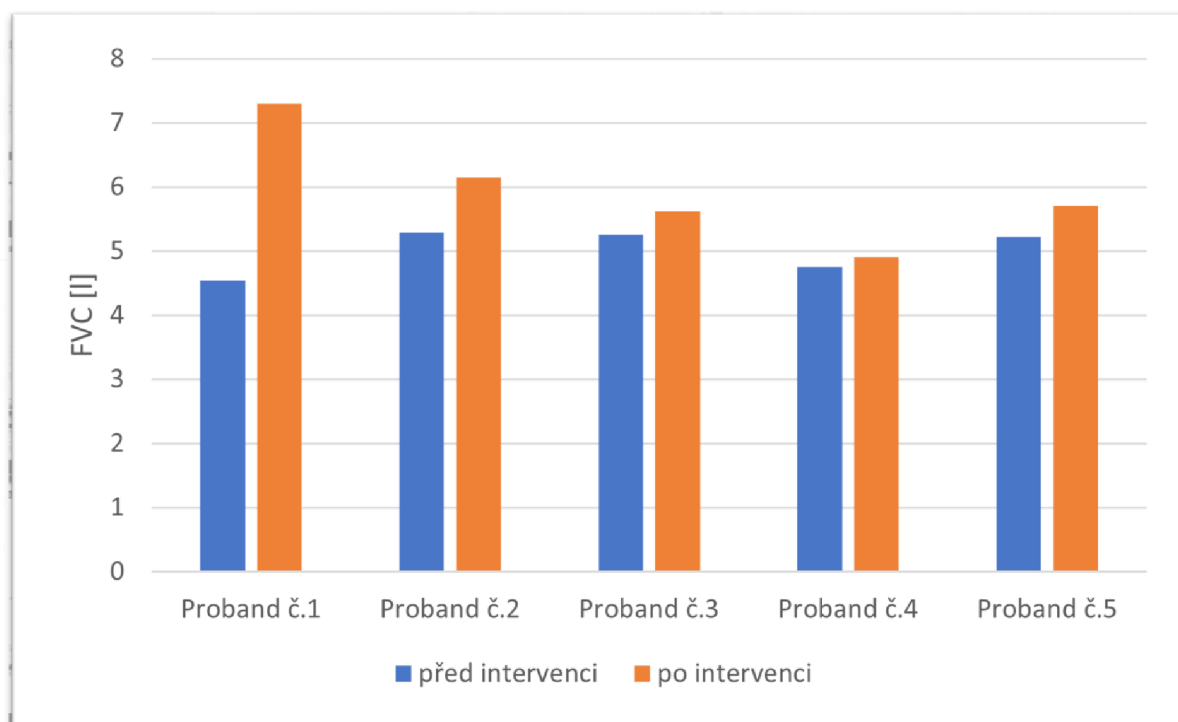
Usilovný výdech vitální kapacity (FVC) u nesportujících probandů

Na dalším obrázku č. 49 lze vidět porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u všech nesportujících probandů zvlášť před tréninkem doma a po jeho absolvování. U všech nesportujících probandů se hodnota FVC po intervenci zvýšila. Největšího zlepšení z celé skupiny dosáhl proband č. 1, kterému se povedlo po intervenci zlepšit svůj výsledek z 4,54 l (nejnižší výsledek FVC při obou měřeních ze všech nesportujících probandů) při 1. měření na 7,3 l po 2. testu, což je zároveň nejvyšší hodnota FVC z celé skupiny nesportujících probandů. Rozdíl činí 2,76 l. Naopak nejmenší progres byl zaznamenán u probanda č. 4, kterému se hodnota FVC po intervenci zlepšila o 0,15 l, a to je z 4,75 l po 1.

testu na 4,90 po 2. měření. Výsledky usilovného výdechu vitální kapacity plic u nesportujících probandů nebyly věcně významné ($d=-1,54$), ale prokázaly statistickou významnost ($p \leq 0,05$),

Obrázek 49

Porovnání hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u nesportujících probandů před a po intervenci

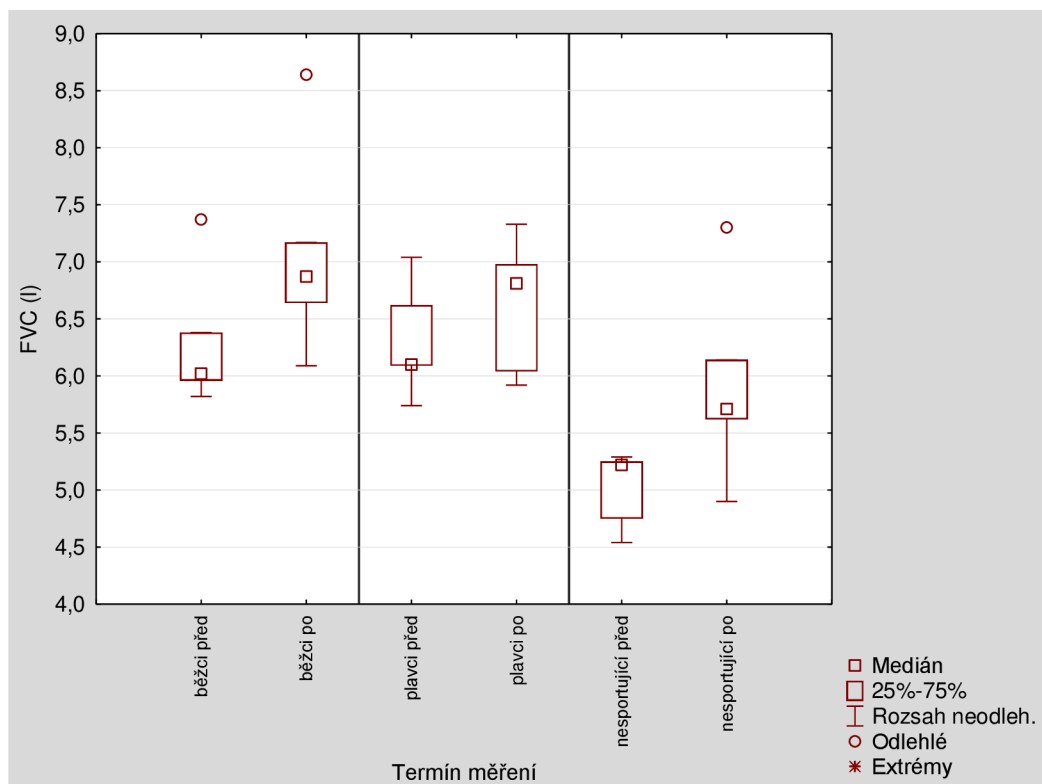


Porovnání průměrných hodnot usilovného výdechu vitální kapacity (FVC) u běžců, plavců a nesportujících probandů

Na následujícím obrázku č. 50 lze vidět porovnání průměrných hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci. U všech skupin se průměrná hodnota FVC po intervenci zvýšila. U běžců po 1. měření tato hodnota činila $6,31 \pm 0,6$ l a po 2. testu $7,08 \pm 0,9$ l. U plavců před intervenci hodnota FVC byla $6,32 \pm 0,5$ l a po intervenci se zvýšila na $6,6 \pm 0,6$ l. Nesportujícími probandy před intervenci byla ukázána průměrná hodnota FVC $5,01 \pm 0,3$ a po intervenci $5,9 \pm 0,8$ l. Celkový průměrný výsledek všech skupin se zvýšil z $5,88 \pm 0,8$ l po 1. testu na $6,54 \pm 0,9$ l po 2. měření. Výsledky průměrných hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u běžců, plavců a nesportujících probandů nebyly věcně významné ($d=-0,8$), ale byla prokázána statistická významnost ($p \leq 0,05$).

Obrázek 50

Porovnání průměrných hodnot usilovného výdechu vitální kapacity plic u běžců, plavců a nesportujících probandů před a po intervenci



6 Diskuse

V důsledku osmitýdenní intervence, která obsahovala čtyřikrát týdně dýchací cvičení doma vyplývající z potápěčského tréninku došlo k poklesu hodnoty saturace krve kyslíkem u všech skupin probandů a zlepšení doby zádrže dechu při maximální apnoi.

Po osmitýdenní intervenci při testu na toleranci kyslíkem v organismu 14 z 15 probandů se dostali na nižší hodnoty saturace krve kyslíkem při maximální apnoi. Při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu u skupin běžců a plavců došlo k významnému poklesu hodnoty srdeční frekvenci, ale u nesportujících probandů se tato hodnota po intervenci zvýšila. Délka zádrže dechu při maximální apnoi se prodloužila u 14 z 15 probandů, u běžce č. 1 se čas zádrže po intervenci nezměnil. U všech skupin se zlepšila průměrná hodnota usilovného výdechu vitální kapacity plic (FVC).

Výsledky délky zádrže dechu všech probandů při maximální apnoi potvrzují užitečnost tréninku O₂ na toleranci kyslíku v organismu, který je zaměřen na prodloužení maximální délky zádrže. Davidová (2015) psala, že nejlepším a nejlehčím tréninkem při statické apnoe je cvičení na souši, nebo dokonce v kanceláři během práce. Ten způsob cvičení byl námi využit při intervenci, ale prodělávali ten trénink probandi vždycky doma. Z důvodu jednoduchého cvičení doma námi byla stanovená delší doba intervence, než u Brauma (2011), u kterého čtyřtýdenní intervence neměla významný vliv na výsledky vitální kapacity plic a délky zádrže dechu při statické apnoi. Při druhém tréninku CO₂ na toleranci oxidu uhličitého v organismu, který je spíše zaměřen na zklidnění organismu, námi byla nejvíce pozorována hodnota srdeční frekvence. U skupin běžců a plavců průměrné hodnoty srdeční frekvence klesly, ale u nesportujících probandů se tato hodnota zvýšila a nedošlo k pozitivním změnám.

Nejvíce při měření jsme se soustředili na hodnotu saturace krve kyslíkem v organismu. Tato hodnota byla námi měřená při obou testech, jak při testu na toleranci kyslíku v organismu, tak i při testu na toleranci oxidu uhličitého. Předpokládali jsme, že při testu na toleranci oxidu uhličitého k významným změnám nedojde, protože při tom testu není maximální apnoe, délka zádrže dechu se nemění a je zaměřen spíše na zklidnění organismu. To se při provedení měření potvrdilo. Proto námi bylo očekáváno, že k největším změnám saturace krve dojde při maximální apnoi u testu na toleranci kyslíku v organismu a zda po intervenci se probandi dokážou dostat na nižší hodnoty saturace krve než před intervenci. Tato hypotéza se úspěšně potvrdila. Všechny skupiny probandů se po intervenci dostaly na nižší hodnoty saturace krve. Největšího progresu dosáhli nesportující probandi. Teoreticky lze

říct, že to může být tím, že plavci a běžci pravidelně se setkávají s dýchacími cvičení při trénincích. U nesportujících probandů pravděpodobně to lze odůvodnit jejich nezkušeností s dýchacími cvičení. Všechny výsledky saturace při testu na toleranci kyslíku byly věcně významné. Také u běžců a nesportujících probandů byla prokázána statistická významnost, ale u plavců statistická významnost nebyla zaznamenána. Těmi výsledky se úspěšně potvrdila hypotéza č. 1 a hypotéza č.5.

Dalším důležitým výsledkem při měření bylo, zda u všech probandů se snížením hodnoty saturace dojde i k prodloužení délky zádrže při maximální apnoi. Hypotéza č. 2 byla úspěšně potvrzena. U všech probandů došlo k prodloužení maximální délky zádrže dechu (kromě běžce č. 1, u kterého délka zádrže dechu se při maximální apnoi nezměnila). U plavců a nesportujících probandů výsledky maximální zádrže dechu byly statisticky významné, ale u běžců maximální délka zádrže nebyla statisticky významná a u všech skupin výsledek maximální zádrže není věcně významný.

Další hypotéza č. 3 se potvrdila pouze u skupin plavců a běžců. U nich po intervenci při testu na toleranci oxidu uhličitého v organismu průměrná hodnota srdeční frekvence klesla. U nesportujících probandů táto hodnota se zvýšila. Je možné to odůvodnit tím, že během intervence komunikace s nesportujícími probandy byla nejnáročnější v porovnání s ostatními skupinami probandů. Proto nemůžeme být jistí, že domácí trénink se pořádně dodržoval. Výsledky srdeční frekvence skupin běžců a plavců byly statisticky a věcně významné. U nesportujících probandů statistická ani věcná významnost nebyla prokázána.

Při odpovědi na naši výzkumnou otázku, zda dýchací trénink bude mít nějaký vliv i na fyzickou stránku probandů nelze jistě odpovědět. Ve výsledku lze říct, že u všech skupin probandů se zlepšil průměrný výsledek usilovného výdechu vitální kapacity plic (FVC) a je možno to odůvodnit tím, že tato hodnota se měří v klidu a je možno ji trénovat nebo zlepšovat bez fyzické zátěže. To potvrzuje naši hypotézu č. 4. Ostatní výsledky, jako jsou dechová frekvence, minutová ventilace, dechový objem a hodnota VO_2max , měly pozitivní tendenci pouze u skupiny běžců. To, že u skupiny plavců se zátěžové výsledky na bicyklu po intervenci neměly pozitivní tendenci bychom mohli odůvodnit tím, že po dobu prodělání tréninku doma z důvodů covidových opatření byl uzavřen bazén a plavci neměli možnost trénovat. U nesportujících probandů se zátěžové hodnoty také nezvýšily.

Samozřejmě lze se 100 % jistotou říct, že na všechny výsledky při našem měření mohli mít vliv i různé jiné faktory a podmínky. Do toho bychom mohli zařadit teplotu v laboratoři,

rozsvícení v laboratoři, kondici všech probandů na moment provedení měření, chuť všech probandů postupovat testy v laboratoři, psychický stav všech probandů, kvalitu spánku probandů před samotným měřením atd. Z naší strany bylo uděláno všechno pro nejlepší provedení testování v laboratoři a dodržování stejných podmínek při každém testu, ale z organizačních důvodů některé faktory při provedení měření nebyli jsme schopni ovlivnit nebo dodržet.

7 Závěr

Cílem naší bakalářské práce bylo sledovat změnu dynamiky saturace při různě dlouhé apnoi. Při testu na toleranci oxidu uhličitého k významným změnám saturace nedošlo. Při testu na toleranci kyslíku k významnému snížení saturace docházelo při maximální apnoi. Naše hypotéza č.1 ohledně saturace byla potvrzena a všichni probandi po intervenci dosáhli nižších hodnot saturace. Také byla potvrzena hypotéza č. 3 a u probandů ze skupin běžců a plavců došlo ke snížení hodnoty srdeční frekvence při testu na toleranci oxidu uhličitého. U nesportujících probandů hypotéza č. 3 nebyla potvrzena. Hypotéza č. 2 také byla úspěšně potvrzena a u všech probandů došlo k prodloužení délky zádrže dechu při maximální apnoi. Z výsledků zátěžových testů jediné byla potvrzena hypotéza č. 4 a u všech skupin probandů došlo ke zlepšení výsledků usilovného výdechu vitální kapacity plic. Na výzkumnou otázku, zda dýchací trénink měl vliv na zátěžové parametry nelze jednoznačně odpovědět. Protože během měření na naší bakalářskou práci výsledky mohou být ovlivněny covidovými opatření, zavřeným bazénem a různými jinými faktory. U běžců se výsledky zátěžových testů po intervenci zlepšily a u ostatních skupin probandů pozitivní tendence nebyla zaznamenána. Pro další práce by se hodilo prodělat stejné měření u skupiny plavců, ale při normálních podmínkách, kdy plavci by mohli pravidelně chodit trénovat do bazénu.

Referenční seznam literatury

- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Praha: UK FTVS.
- Dobeš, D. (2005). *Přístrojové potápění: praktická příručka pro každého potápěče*. Brno: CP Books.
- Dvořáková, Z. (2005). *Potápění: základy potápění: výcvik a vybavení: potápěčské sporty*, 1. vydání. Praha: Grada.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.
- Holzappel, R. B. (2004). *Potápění*. České Budějovice: Kopp.
- Käsinger, H. (2004). *Šnorchlování*. České Budějovice: Kopp.
- Käsinger, H., & Munzinger, P. W. (2005). *Šnorchlování*. České Budějovice: Kopp.
- Kolesár, J. & Mikeš, Z. (1981). *Ergometria v klinické praxi*. Martin: Osveta.
- Mourek, J. (2005). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů-2., doplněné vydání*. Praha: Grada.
- Várnay, F., Homolka, P., Mífková, L., & Dobšák, P. (2020). *Spiroergometrie v kardiologii a sportovní medicíně*. Praha: Grada.

Internetové zdroje

- Braum, Z. (2011). *Vliv spinningu na prodloužení času ve statické apnoei při nádechovém potápění*. [Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze]. Digitální repozitář Univerzity Karlovy. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/46754>
- Compek (2010). *Cortex Metacontrol 3000*. Přístup dne 23. 1. 2022, z <http://www.compek.cz/cortex-metacontrol-3000.htm>
- Compek medical services (2014). *Vybavení funkčních laboratoří*. Přístup dne 23. 01. 2022, z http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog_Vybaveni_funkcnich_laboratori_2014_web.pdf
- Compek (2018). *Speciální ergometr LODE Excalibur Sport*. Přístup dne 23. 1. 2022, z <http://www.compek.cz/ergometr-excalibur-sport.htm>
- Davidová, M. (2015, 27. srpna). *Ve vodě nedýchalo 8,5 minuty. Při světovém rekordu se jí chtělo spát*. Idnes.cz. Přístup dne 6. 3. 2023, z https://www.idnes.cz/xman/rozhovory/zadrz-bez-dechu-apnoe-freediving-gabriela-grezlova.A150821_113229_xman-rozhovory_fro
- Martsoft (2012). *Aktivní EKG kabel — CustoCardio 100*. Přístup dne 23. 1. 2022, z <https://www.martsoft.cz/inpage/custo-cardio-100/>
- Medikoots (2022). *EKG elektroda H92 hydrogel*. Přístup dne 23. 1. 2022, z <https://www.mediko-ots.cz/prislusenstvi-k-ekg/ecg-elektroda-h92-hydrogel--57x34-mm-penov-gel--50-ks-v-bal/>
- Polar (2018). *Hrudní pás POLAR H7 Bluetooth černý*. Přístup dne 23. 1. 2022, z <https://www.polar-eshop.cz/hrudni-pas-polar-h7-bluetooth-cerny>
- Soukup, P. (2013). *Věcná významnost výsledků a její možnosti měření*. https://hiso.fhs.cuni.cz/HISO-204-version1-soukup_vecna_vyznamnost.pdf
- Yachtmeni (2016). *Apnea trénink*. Přístup dne 15. 2. 2023, z <https://www.yachtmeni.cz/freediving-apnea/apnea-trenink/>