

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

VLIV HYDROGENOVANÉ VODY NA VÝKON, KONCENTRACI LAKTÁTU A
NA SUBJEKTIVNÍ VNÍMÁNÍ ZATÍŽENÍ U PLAVCŮ S PLOUTVEMI.

Diplomová práce
(Magisterská)

Autor: Bc. Beáta Polišenská
Vedoucí práce: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.
Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Polišenská Beáta

Název diplomové práce: Vliv hydrogenované vody na výkon, koncentraci laktátu a na subjektivní vnímání zatížení u plavců s ploutvemi.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2021

Abstrakt:

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má voda obohacená molekulárním vodíkem (HRW) na výkon u plavců s ploutvemi. Dílčími cíli bylo posoudit vliv HRW na koncentraci laktátu v krvi a také na subjektivní vnímání zatížení podle Borgovi škály. Studie byla provedena dvojité zaslepenou randomizovanou cross-over metodou. Výzkumný soubor tvořilo celkem 6 probandů (1 muž a 5 žen) ve věku $21,3 \pm 6,2$ let, kteří dvakrát absolvovali maximální test 3x (4 x 50 m) jednou s HRW a jednou s placebem. Pořadí HRW a placebo bylo určeno metodou náhodného výběru. Práce analyzuje výkon plavců, hladiny laktátu v kapilární krvi a hodnoty Borgovi škály během experimentu.

Z výsledků můžeme konstatovat, že nebyl statisticky významný rozdíl ve výkonu u plavců s ploutvemi ($p=0,45$). Výkon v prvních 50 metrech byl u HRW $23,0 \pm 2,6$ s a při užití placebo $22,9 \pm 2,5$ s. Výkon v druhé padesátce se u HRW byl $23,3 \pm 2,9$ s a v případě placebo $23,5 \pm 2,8$ s. Ve 3. padesátce byl výkon s HRW $23,8 \pm 2,9$ s a u placebo $24,0 \pm 2,9$ s. Posledních 50 metrů probandi s HRW plavali v rozmezí $24,1 \pm 2,9$ s a při užití placebo $24,3 \pm 2,9$ s. Díky Cohenovo d lze říct, že HRW může mít věcný význam ($d=0,45$), který se však nepodařilo statisticky významně prokázat, jelikož jsme testovali pouze 6 probandů, z důvodu omezení související se šířením COVID-19.

U hodnot laktátu v krvi a Borgovy škály vnímaného úsilí nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl.

Klíčová slova: Acidóza, oxidační stres, vodíkové ionty, Borgova škála.

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Polišíenská Beáta

Title of the bachelor's thesis: Effect of hydrogenated water on performance, lactate concentration and subjective perception of loads for finswimmers.

Department: Department of nature science in Kinantropology

Supervisor: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

The year of presentation: 2021

Abstract:

The aim of my diploma thesis was to find out the effect of hydrogen rich water (HRW) on the performance of swimmers. The partial objectives were to assess the effect of HRW on blood lactate concentration and also on the subjective perception of exercise according to the Borg scale. The study was performed with a double-blind randomized cross-over method. The research group consisted of a total of 6 probands (1 man and 5 women) aged $21,3 \pm 6,2$ years, who passed a maximum test twice 3x (4 x 50 m) once with HRW and then with a placebo. The order of HRW and placebo was determined by randomization. The work analyzes the performance of swimmers, lactate levels in capillary blood and Borg scale values during the experiment.

From the results we can state that there was no statistically significant difference in swimmers performance ($p = 0.45$). The performance in the first 50 meters was $23,0 \pm 2,6$ s for HRW and $22,9 \pm 2,5$ s for placebo. The performance in the second fifty was $23,3 \pm 2,9$ for HRW and $23,5 \pm 2,8$ for placebo. In the third fifty, the performance with HRW was $23,8 \pm 2,9$ s and with placebo $24,0 \pm 2,9$ s. The last 50 meters probands with HRW swam in the range of $24,1 \pm 2,9$ s placebo $24,3 \pm 2,9$ s. Thanks to Cohen's d, it can be said that HRW may have material significance ($d = 0.45$), which, however, could not be statistically significantly demonstrated as we tested only 6 probands due to limitations related to dissemination of COVID-19.

There was no statistically significant difference between blood lactate levels and the Borg scale of perceived effort.

Key words: Acidosis, oxidative stress, hydrogen ions, Borg scale.

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Tato diplomová práce byla provedena za podpory IGA_FTK_2020_007, pod názvem hodnocení vlivu molekulárního vodíku na odezvu organismu a na výkonnost při intervalovém zatížení a následný průběh 24hodinového zotavení pomocí vybraných subjektivních a objektivní bioindikátorů u elitních plavců s ploutvemi.

Tato studie byla finančně podpořena výzkumným projektem vědeckotechnického parku Aplikačního centra BALUO FTK UP Olomouc pod názvem: „Posouzení efektivity pohybových programů realizovaných v rámci Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci u jedinců ve věku 6–18 let.“ a také pod názvem „Posouzení efektu zdravého a aktivního životního stylu dospělých jedinců na vybrané ukazatele zdraví u účastníků výzkumu Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci – retrospektivní studie“.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením RNDr. Aleše Jakubce, Ph.D., uvedla jsem všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne

Děkuji mému vedoucímu práce RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D. za vedení, pomoc, cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce. Dále děkuji Mgr. Barboře Sládečkové za konzultace a cenné rady pro mou diplomovou práci, RNDr. Jakubu Krejčímu, Ph.D. za statistické zpracování dat. Také děkuji všem probandům, kteří se podíleli na našem výzkumu.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	PŘEHLED POZNATKŮ	9
2.1.	Ploutvové plavání	9
2.1.1.	Historie	9
2.1.2.	Vývoj disciplín	9
2.1.3.	Plavání s ploutvemi a jeho disciplíny	10
2.1.4.	Základní vybavení	12
2.2.	Tělesné zatížení jako stresový faktor	14
2.2.1.	Acidobazická rovnováha	15
2.2.2.	Oxidační stres	16
2.2.3.	Fyziologická únava	17
2.3.	Vytrvalost	17
2.3.1.	Adaptace na vytrvalostní trénink	20
2.4.	Laktát	22
2.4.1.	Měření hladiny laktátu	23
2.5.	Borgova škála	24
2.6.	Hydrogenovaná voda	26
2.6.1.	Molekulární vodík	26
2.6.2.	Formy užití molekulárního vodíku	27
3	CÍLE A HYPOTÉZY (dílní cíle, vědecké otázky, problémy k řešení)	29
3.1.	Hlavní cíl	29
3.2.	Dílní cíle	29
3.3.	Výzkumné hypotézy	29
4	METODIKA	30
4.1.	Design studie	30
4.2.	Etické aspekty výzkumu	31
4.3.	Charakteristika výzkumného souboru	31
4.4.	Harmonogram měření experimentu	32
4.5.	Experiment	33
4.5.1.	První den výzkumu	33
4.5.2.	Druhý den výzkumu	34
4.6.	Použité metody a přístroje	34

4.6.1.	Měření tělesného složení	34
4.6.2.	Měření hladiny laktátu	34
4.6.3.	Hodnocení subjektivně vnímané intenzity zatížení podle Borg.....	35
4.6.4.	Měření času na bazéně	36
4.7.	Složení hydrogenované vody.....	37
4.8.	Složení placebo	37
4.9.	Statistické zpracování dat	37
4.10.	Limity studie.....	37
5	VÝSLEDKY	38
5.1.	Výkon	38
5.2.	Hladina laktátu v krvi	40
5.3.	Borgova škála	41
6	DISKUZE	42
6.1.	Výkon	42
6.2.	Hladina laktátu v krvi	43
6.3.	Borgova škála	45
7	ZÁVĚRY	48
8	SOUHRN	49
9	SUMMARY	50
10	REFERENČNÍ SEZNAM	51

1 ÚVOD

Téma, které jsem si vybrala pro svou diplomovou práci jsem zvolila na základě dlouholeté aktivní kariéry v plavání s ploutvemi. Od svých šesti let jsem se věnovala plavání a v devíti letech jsem přidala i plavání s ploutvemi. Nyní se už 3. rokem věnuji trénování plavců s ploutvemi v klubu KSP Olomouc.

V posledních letech se molekulární vodík (H_2) ukázal jako nová terapeutická látka s antioxidačními a protizánětlivými účinky (Ostojic, 2015). H_2 pro použití ve sportovní vědě je v jejích počátečních stádiích. Většina studií uvádí účinky H_2 na nemoci, jako je rakovina, cukrovka, mozkový infarkt a Alzheimerova choroba. Málo studií se však zajímá o jeho účinky na zdravých lidech a při cvičení (Kawamura, Higashida, & Muraoka, 2020). Nedávná studie od LeBaron, Laher, Kura, a Slezak (2019) prokázala, že pití H_2 má příznivé účinky na zdravé lidi při cvičení. Objevují se důkazy, že voda bohatá na vodík (H_2) má příznivé účinky na fyziologické reakce na cvičení (Ooi, Ng, & Omar, 2020). Podle čínské studie od Kawamura et al. (2020) vdechování molekulárního vodíku má antioxidační účinky. H_2 účinně potlačuje poškození svalů, snižuje oxidační stres, záněty a apoptózu po akutním vyčerpávajícím cvičení prováděném netrénovaným organismem (Nogueira et al., 2020). Výsledky studie od Hori et al. (2020) naznačují, že vdechování plynu H_2 podporuje zvýšení metabolismu jaterních lipidů vyvolané cvičením. Botek, Krejčí, McKune, Sládečková a Naumovski (2019) tvrdí, že akutní suplementace vody obohacené o vodík před cvičením snížila hladinu laktátu v krvi při vyšších intenzitách cvičení, zlepšila vnímání námahy vyvolané cvičením a ventilační účinnost.

V naší randomizované, dvojitě zaslepené, placebem kontrolované, cross over studii jsme se snažili přizpůsobit co nejvíce vnitřní i vnější podmínky tak, abychom eliminovali co největší množství možných proměnných, které jsou zároveň i limity naší studie. Naším hlavním cílem bylo hodnocení vlivu hydrogenované vody na výkon u ploutvových plavců. Dvěma dílčími cíli jsme si stanovili posouzení vlivu hydrogenované vody na koncentraci laktátu v krvi a hodnocení subjektivního vnímání zatížení pomocí Borgovi škály.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1. Ploutvové plavání

2.1.1. Historie

Kolem roku 1500 Leonardo da Vinci na své kresbě namaloval potápěče s něčím, co připomíná nohu s plovacími blánami. Když se opravdu začaly ploutve používat, moc se od těch Leonardových nelišily (Welsh, 2009). Plavání s ploutvemi má své první kořeny v roce 1933, kdy Francouz de Corlieu převzal myšlenku od Leonarda da Vinciho a nechal si patentovat ploutve. Následovala dlouhá cesta vývoje jednotlivých disciplín, výstroje a výzbroje. Důležitým obdobím pro tento sport byl přelom čtyřicátých a padesátých let 20. století, kde se začal rozvíjet (Čuříková, 2014). Ze začátku nebyly určené pravidla ani sjednocené disciplíny, záleželo pouze na pořadatelích, v jakých disciplínách a podle jakých pravidel se bude soutěžit. První disciplínou, ve které se soutěžilo nejčastěji a také je dodnes nejrychlejší bylo plavání pod vodou (Maršálek, 1997).

K rozdělení disciplín došlo v roce 1968 a o rok později se také místa mistrovských soutěží v bazénových disciplínách a v orientačním plavání lišila. Právě plavecké disciplíny v bazéně se ze všech potápěčských disciplín rozvíjely nejrychleji (Svozil, 2005). První mistrovství světa se konalo v roce 1976 a do programu světových her se plavání s ploutvemi v bazéně zařadilo v roce 1981 (Čuříková, 2014).

Od roku 1960 se v České republice pořádají neoficiální soutěže v bazénech a nejstarším závodem je Potápěčská liga. Závod vznikl v roce 1968 a pořádá se každý rok až dodnes. Jde o soutěž družstev, která je pořádána v Olomouci a od roku 1982 je tato soutěž zároveň mistrovstvím republiky družstev (Svozil, 2005).

2.1.2. Vývoj disciplín

Plavání s ploutvemi společně s přístrojovým potápěním bylo jedním z nosných sportů v bývalém Svazarmu. Nyní patří tyto sportovní disciplíny pod Svaz potápěčů České republiky.

Disciplíny se původně poněkud lišily. K samotnému plavání s ploutvemi byly přidány branné prvky a obratnost pod vodní hladinou. Například se při závodech pod vodou sestavovaly nebo sešroubovávaly různé předměty a zařízení ((Svaz potápěčů České republiky, 2015).

Po revoluci už začala ustupovat branná část a začal větší rozvoj sportovní disciplíny plavání s ploutvemi. Postupem času se vyvinulo specializované sportovní plavání s ploutvemi

v bazénech i na otevřené vodě. Délka tratí je stejná jako u disciplín v klasickém plavání a to je 50, 100, 200, 400, 800 a 1500 metrů (Svaz potápěčů České republiky, 2015).

2.1.3. Plavání s ploutvemi a jeho disciplíny

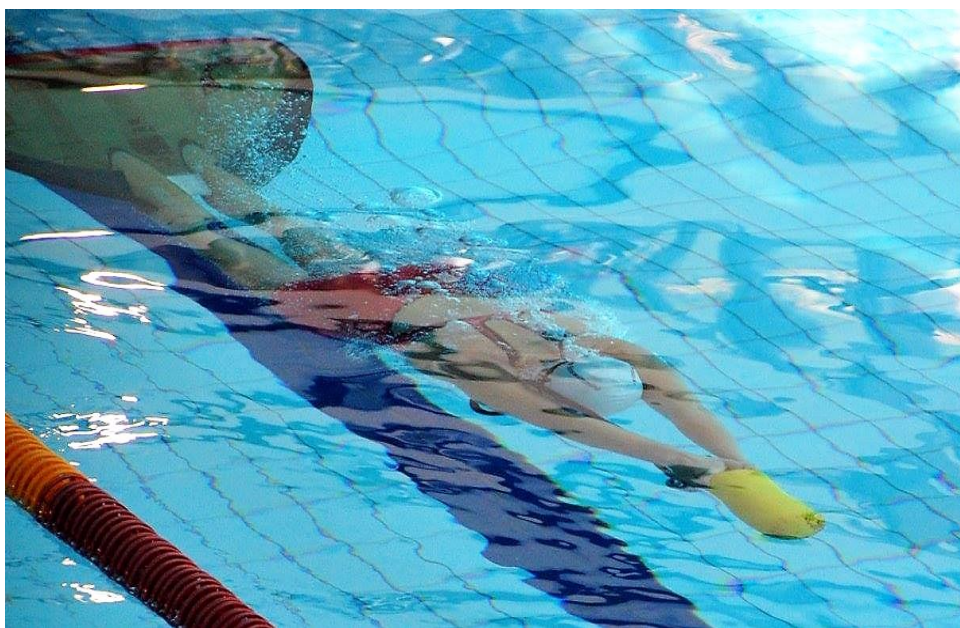
Svaz potápěčů Moravy a Slezska (2015) uvádí plavání s ploutvemi jako nejrychlejší lokomoci, pohyb člověka ve vodě vlastní silou. Podle Maršálka (1997) je to samostatná sportovní disciplína, při které plavci využívají ploutví a šnorchlu k dosahování maximálních výkonů a rychlostí. Plavání s ploutvemi je pohyb s monoploutví případně dvěma ploutvemi na vodní hladině nebo pod ní s použitím vlastních svalů plavce a bez použití jakéhokoliv mechanismu, který není poháněn svalovou silou. Pro disciplíny plavání pod vodou s dýchacím přístrojem (RP) je povoleno použití přístroje se stlačeným vzduchem (Svozil, 2005). V daném sportu se objevují pouze tři disciplíny, které můžeme vidět v bazéně.

Disciplína Plavání s ploutvemi (PP) se plave na vzdálenosti 50, 100, 200, 400, 800 a 1500 metrů. Také se plavou štafety ve vzdálenosti 4x100 a 4x200 metrů. Plavecký způsob je libovolný, ale během závodu musí mít závodníci po celou dobu závodu jakoukoliv část těla nebo výstroje nad hladinou. Výjimkou je 15 metrů po startu a po obrátkách, kdy je závodníkovi dovoleno být pod vodou. Plavci dýchají po celou dobu závodu pomocí dýchací trubice neboli „šnorchlu“, který musí závodníci mít po celou dobu závodu. Přelavání 15metrové hranice po startu nebo obrátce se trestá diskvalifikací, stejně tak ztráta šnorchlu během závodu (Svaz potápěčů České republiky, 2018).



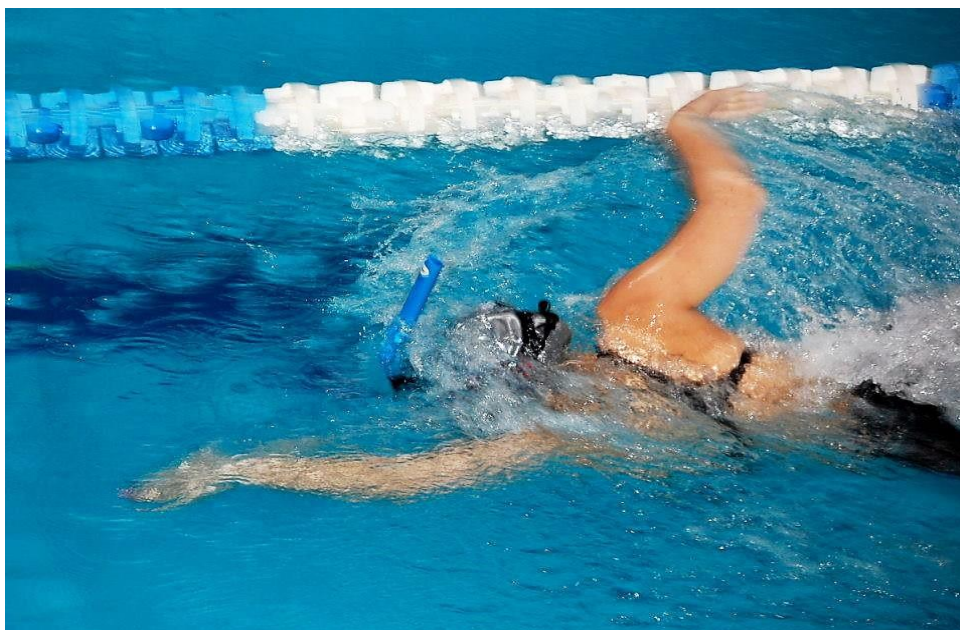
Obrázek 1. Disciplína plavání s ploutvemi.

Rychlostní potápění (RP) je rozděleno na disciplíny plavané na nádech a s dýchacím přístrojem (tlakovou lahví). Na nádech se plave pouze 25 a 50 metrů. S tlakovou lahví, která je plněna pouze stlačeným vzduchem plave závodník 100 a 400 metrů. Láhev je velikostně přizpůsobena délce trati. U disciplíny RP, je plavecký způsob libovolný a obličej závodníka musí být po celou dobu závodu ponořen pod vodou. Tlakovou láhev drží závodník libovolným způsobem, nejčastěji však před tělem ve vzpažení. Výměna, odložení nebo dotyk lahví stěny nebo dotykové desky není během závodu dovolen (Svaz potápěčů České republiky, 2018).



Obrázek 2. Držení dýchacího přístroje při disciplíně.

Bi-Fins (BF) je nejmladší disciplína potápěčského sportu. Poprvé se na oficiálním programu mistrovství objevila v roce 2006. V této disciplíně má uplatnění plavecký způsob kraul, kterým se plave s použitím dvou ploutví a dýchací trubicí. Plavec smí plavat pouze 15 metrů pod vodou po startu a obrátce pomocí tzv. „delfínového vlnění“. Bi-Fins se plavou na vzdálenost 50, 100 a 200 metrů. Štafetový závod není zatím na oficiálním seznamu disciplín, ale v rámci světových pohárů se zařazuje štafeta 4x50 BF (Svaz potápěčů České republiky, 2018).

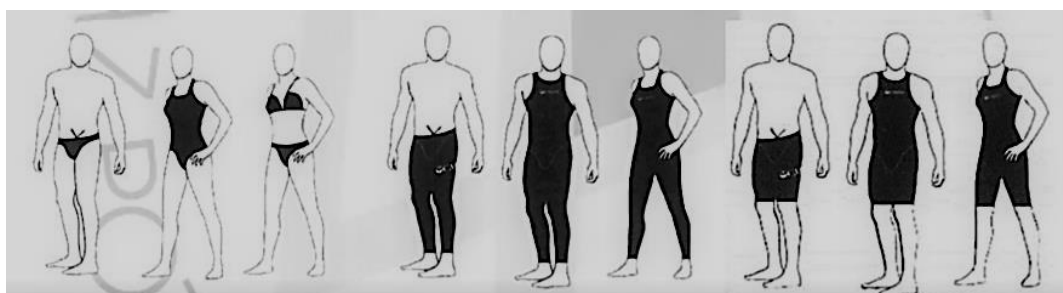


Obrázek 3. Disciplína Bi-Fins.

2.1.4. Základní vybavení

Základním vybavením každého plavce s ploutvemi jsou plavky, šnorchl nebo lahev, ploutve nebo monoploutev podle disciplíny, kterou plavou. Doplnujícím vybavením je čepice, brýle a někteří používají také skřípec na nos.

Plavky nesmí mít vliv na přirozený vztlak závodníka a jsou povoleny pouze jedny plavky. Všechny plavky, které jsou celotělové musí být schváleny CMAS (celosvětovou potápěčskou organizací, Confederation mondiale des activités subaquatiques) a jsou viditelně označeny patřičným logem. Jinak mohou také muži použít krátké plavky, ženy jednodílné nebo dvoudílné (Svaz potápěčů České republiky, 2018).



Obrázek 4. Plavky povolené v závodě (www.ploutve.info/Pravidla_PP_2018_1.pdf).

Šnorchl neboli dýchací trubice patří podle Svaz potápěčů České republiky (2018) mezi povinnou výbavu plavců při disciplínách PP a bi-fins. Délka šnorchlu je omezena na minimální

délku 43 cm a maximální 48 cm. Trubice by měla mít minimální vnitřní průřez 15 mm a maximální 23 mm. Plavci mají šnorchl připevněn pomocí čelenky na hlavě a je umístěn uprostřed obličeje.



Obrázek 5. Dýchací trubice

Ploutve neboli roznožky jsou povoleny bez omezení velikosti a materiálu pouze v disciplínách, které nejsou označovány jako bi-fins. V disciplínách bi-fins vymezují mezinárodní pravidla CMAS a národní pravidla České republiky (2018) přesná pravidla pro použití ploutví v závodě. Závodníci mohou použít klasický model ploutví nebo potápěčský model. Povolený materiál je polypropylen a EVA (ethylen-vinyl acetát), každý nový materiál musí být podroben schválení. Maximální povolené rozměry se u jednotlivých ploutví liší. U klasického modelu ploutví je povolená maximální délka 670 mm a šířka 225 mm. U potápěčských ploutví je maximální délka 675 mm a šířka 230 mm.



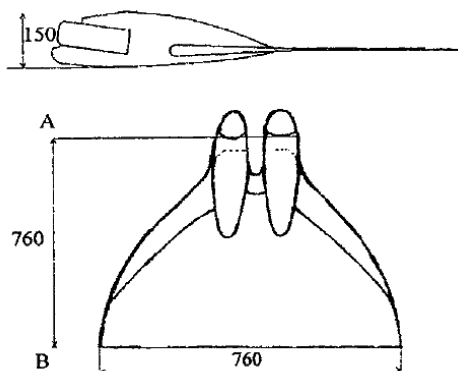
Obrázek 6. Potápěčské ploutve a klasický model ploutví

(www.ploutve.info/Pravidla_PP_2018_1.pdf).



Obrázek 7. Klasický model – nepoužívanější ploutve (www.najadefins.org).

Monoploutev se používá pouze v disciplínách PP a RP. Jsou povoleny jakékoliv, které splňují požadavky mezinárodních pravidel CMAS a národních pravidel České republiky (2018). Žádné omezení v materiálu není, nejčastěji se však vyrábí z laminátu nebo karbonu. Maximální rozměry monoploutve jsou délka 760 mm, šířka 760 mm a výška 150 mm. Všechny monoploutve jsou vyráběny pouze ručně, aby byly vysoce kvalitní.



Obrázek 8. Monoploutev (www.ploutve.info/Pravidla_PP_2018_1.pdf).

2.2. Tělesné zatížení jako stresový faktor

Podle Botka, Neulse, Klimešové a Vyhnánka (2017) se za zatížení považuje jakákoliv pohybová činnost, která je vykonávána tak, že vyvolává žádoucí aktuální změnu funkční aktivity člověka a ve svém důsledku trvalejší funkční, strukturální a psychosociální změny.

Tělesné zatížení nám v organismu vyvolává akutní odpověď neboli stresovou reakci. Jako stres můžeme označit jakýkoliv podnět, který nám naruší homeostázu organismu. Stresové podněty můžeme rozdělit na fyzické (tělesná práce), mentální (strach, vztek) a enviromentální (horko, zima, vlhko). Velikost reakce organismu se odvíjí od síly stresového podnětu, v našem případě od velikosti zatížení. Stresová reakce spočívá v aktivaci homeostatických regulačních

mechanismů a jejím cílem je přizpůsobit činnost orgánů a orgánových soustav aktuálním požadavkům pracujících svalů. Základem je aktivace stresové osy, která je tvořena autonomním a humorálním systémem (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017).

Odpověď organismu je v rovině neurohumorální, kde základní úlohu hrají struktury hypotalamu, a to jak na podněty vnější, tak na impulzy z centrální nervové soustavy. V hypotalamu stoupá koncentrace adrenalinu, dochází k vyplavování katecholaminů na periferii nervového systému a později i z dřene nadledvinek s ovlivněním cílových orgánů, zvedá se hladina glukokortikoidů a mineralokortikoidů vyplavovaných z kůry nadledvinek. Existence neurohumorální stresové osy zapojující mozkovou kůru, hypotalamus, hypofýzu, nadledvinky, sympatický nervový systém až k ovlivnění orgánů a tkání určuje i charakter stresové reakce. Obecně jde o přípravu na útěk, boj nebo nepříznivou reakci celkového strnutí. Prvotní stresová reakce je tedy pro organismus výhodou, ale při delším působení stresoru dochází k vyčerpání rezerv s nástupem nepříznivých důsledků vedoucích až k patologickým stavům jako je například únava (Bartůňková, 2010).

Podle Phillipse (2015) vědci nejčastěji pracují s následujícími proměnnými, které ovlivňují vznik a míru stresové reakce s následnou únavou. Energetická náročnost reakce na stresor, tedy charakter a intenzita zatížení. Biologická reakce na stresor, kterou nám udává trénovanost jedince a míra jeho adaptace. A psychická reakce na stresor, převážně aktuální stav jedince a psychická predispozice.

2.2.1. Acidobazická rovnováha

Podle Botka et al., (2017) je udržování acidobazické rovnováhy nezbytnou vitální funkcí. Hlavním důvodem, proč náš organismus redukuje nadbytečné kyseliny, je udržení stálého a mírně zásaditého vnitřního prostředí (Langmeier, 2009). Kyselina je látka s převahou vodíkových iontů (H^+) a zásada má naopak přebytek iontů OH^- . Zdrojem kyselin v organismu je převážně metabolismus, zásady se do těla dostávají především potravou. Osud kyselin i zásad v těle může být dvojitý. Buď podstoupí metabolickou přeměnu (např. přeměna laktátu na glukózu glukoneogenezí nebo spálení laktátu v srdci), nebo jsou vyloučeny z organismu (Myslivoček & Riljak, 2020).

Pro snadnější vyjádření poměru kladně nabitých iontů H^+ a záporně nabitých iontů OH^- v roztocích se používá zkratka pH (Botek et al., 2017). Fyziologický rozsah pH tělesných tekutin se pohybuje v rozmezí od 7,35 do 7,45 (Langmeier, 2009). Podle Botka et al., (2017) je klidová hodnota pH 7,31-7,42. Odchyly od těchto hodnot hodnotíme jako poruchy acidobazické rovnováhy ve prospěch kyselin (acidóza) nebo poruchy ve prospěch zásaditých

látek (alkalóza) (Botek et al., 2017). Alkalóza nastává u pH vyššího jak 7,45. O acidóze mluvíme, pokud je pH nižší jak 7,35 (Langmeier, 2009).

Hlavní roli ve vyrovnávání acidobazické rovnováhy mají plíce, ledviny a játra, které regulují příjem a výdej oxidu uhličitého (CO₂) a vodíkových iontů (Langmeier, 2009). Respirační systém umožňuje regulaci (eliminaci/zadržení) oxidu uhličitého. Respirační centrum, které se nachází v prodloužené míše v mozkovém kmeni reaguje za 1-3 minuty na výkyvy pH. Ledviny mají komplexní roli v udržování acidobazické rovnováhy a jejich zásah vyžaduje hodiny až dny (Mysliveček & Riljak, 2020).

Na udržování acidobazické rovnováhy se kromě zmíněných orgánů podílí také pufrovací (nárazníkový) systém. Pufrovací systémy jsou roztoky, které obsahují slabou kyselinu nebo zásadu a jejich soli (Mysliveček & Riljak, 2020). Chemické pufrы mají schopnost uvolňovat i vázat H⁺ a jejich reakce na odchylku pH je téměř okamžitá. Při běžných metabolických procesech se podílejí zejména na regulaci výkyvů pH (Botek et al., 2017). Podle Mysliveček a Riljak (2020) mezi nejvýznamnější nárazníkový systém patří bikarbonátový pufr (HCO₃⁻/CO₂), který pufruje metabolické kyseliny. Kapacita nárazníkových systémů není omezená, proto konečný vliv na stabilitu pH mají především ledviny a plíce (Botek et al., 2017).

2.2.2. Oxidační stres

Při intenzivní svalové práci, která je vykovávána nad anaerobním prahem, dochází ke vzniku reaktivních forem kyslíku (ROS) popřípadě dusíku. Vzniká oxidační stres, který může vést k poškození buněk a také vyšší zánětlivosti (Botek et al., 2017). Podle Cejky, Kubinové a Cejkové, (2019) mohou reaktivní formy kyslíku generovat oxidační stres prostřednictvím nadměrné produkce ROS anebo snížením fyziologicky se vyskytujících antioxidantů. K nahrazení těchto oslabených antioxidantů jsou potřebné látky s účinnými antioxidačními vlastnostmi, které potlačují oxidační stres a umožňují hojení (Mysliveček & Riljak, 2020). Molekulární vodík (H₂), je velmi vhodný pro tento účel z důvodu své jedinečné vlastnosti. H₂ je jediným antioxidantem, který prochází hematoencefalickou bariérou. Díky malé molekulové velikosti rychle proniká tkání a účinně odstraňuje ROS, zejména hydroxylové radikály a peroxynitrit (Cejka, Kubinova, & Cejkova, 2019).

Ukázalo se, že oxidační stres vyvolaný cvičením vede k přechodnému poklesu fyzických funkcí způsobenému únavou svalů, poškozením a zánětem svalů a zpožděním bolesti svalů (Kawamura & Muraoka, 2018). Oxidační stres a výsledné narušení mitochondriální funkce budou pravděpodobně společným jmenovatelem mnoha forem únavy a ukázalo se, že antioxidační léčba je účinná při zmírňování příznaků únavy (Lucas, Rosch, & Langguth, 2020).

2.2.3. Fyziologická únava

Únava bývá definována jako stav snížené výkonnosti na základě předcházející aktivity. Je to stav, kdy do tréninku přichází sportovec ne zcela zregenerován po předcházejícím zatížení. Únava, jako jedna z automatických reakcí organismu na stresor, je potencována celou řadou faktorů. Stav únavy je považován za druh ochrany organismu před vyčerpáním nebo v krajních situacích až před ohrožením života (dehydratace) (Botek et al., 2017).

Dále podle Botka et al. (2017) je základním rysem fyziologické únavy její nástup, kulminace a postupné vymizení v rámci zotavení, přičemž se stává sportovec plně zotaveným. Nástup únavy je během pohybové aktivity determinován různými faktory, mezi které můžeme zařadit věk, trénovanost, zevní vlivy a biorytmy. Únavu můžeme dělit na fyzickou, mentální, akutní, chronickou, lokální, globální, periferní, centrální, subjektivní a objektivní.

2.3. Vytrvalost

Pohybové schopnosti můžeme zjednodušeně definovat jako soubory vnitřních předpokladů k pohybové činnosti. Všeobecně je akceptováno rozdělení pohybových schopností na kondiční a koordinační (Jančík, Závodná, & Novotná, 2006). Pohybové schopnosti dělí Vobr (2013) na silové, vytrvalostní, rychlostní a obratnostní. Pohybové schopnosti charakterizuje Měkota (2007) jako obsáhlou a členitou třídu schopností, které podmiňují úspěšnou pohybovou činnost, dosahování výkonů nejen ve sportu, ale i ve všech oblastech života, kde je pohyb dominantní složkou. Motorické schopnosti zároveň také limitují výkonové možnosti sportovce a tvoří určitý „strop“, který nelze překročit.

Plavání patří mezi pohybové aktivity cyklického charakteru s velkým aerobním potenciálem, podobně jako běh, jízda na kole, chůze nebo běh na lyžích (Čechovská & Miler, 2008). Plavání jako takové je považováno za rychlostně vytrvalostní sport. Vytrvalost jako jedna složka z pohybových schopností hraje důležitou roli v plavání. Plavci trénují každý den dvakrát denně. Během jednoho hodinu a půl trvajících tréninku nejlepší plavci uplavou kolem 5 kilometrů, takže za jeden den jsou schopni uplavat 10 kilometrů, a proto je pro plavce nejdůležitější složkou vytrvalost (Čechovská, Pokorná, & Jurák, 2018).

Vytrvalostní sporty jsou činnosti, které jsou vykonávány po delší časový úsek a převážně využívají aerobní metabolismus. Aerobní metabolismus převládá během fyzického cvičení, které trvá déle než 2-3 minuty při nízké, střední nebo submaximální intenzitě. Použitá cvičení jsou většinou lokomoce (chůze, běh) nebo opakované cyklické pohyby jako je jízda na kole, veslování na trenažéru nebo již zmíněné plavání (Zahradník & Korvas, 2012).

Vytrvalost lze definovat jako schopnost udržet danou rychlost nebo výkon po nejdelší možnou dobu (Jones & Carter, 2000). Podle Botka et al. (2017) je vytrvalost obecně chápána jako schopnost dlouhodobě provádět tělesnou práci určité intenzity bez snížení její efektivity. Můžeme ji dělit podle doby trvání na:

- rychlostní nebo sprinterskou (7-35 s),
- krátkodobou (35-120 s),
- střednědobou (2-10 min),
- dlouhodobou (nad 10 min).

Každý pohyb vyžaduje energii. energii pro svalovou práci získává lidský organismus cestou oxidativní fosforylace a anaerobní glykolýzou, jejíž příspěvek začíná nabývat na významu nad intenzitou zátěže odpovídající anaerobnímu prahu. Dodávka kyslíku pracujícím svalům je proto nezbytnou podmínkou pro podávání sportovních výkonů (Tuka & Slabý, 2020).

Výkon ve vytrvalostních závodech je silně závislý na aerobní resyntéze ATP (adenosintrifosfátu) a to vyžaduje adekvátní přísun kyslíku (Jones & Carter, 2000). Anaerobní metabolismus se do resyntézy ATP bude nejvíce zapojovat při rychlostní vytrvalosti anebo také při krátkodobé vytrvalosti, ale pouze do 60 s. U střednědobé a dlouhodobé vytrvalosti pochází ATP výlučně z aerobních procesů (Botek et al., 2017). Základní determinanty vytrvalostního výkonu

Mezi významné determinanty vytrvalostního výkonu pro dosažení vysoké úrovně patří typologie svalových vláken, úroveň maximální spotřeby kyslíku (VO_2 max), úroveň aerobního (AP) a anaerobního prahu (ANP) a ekonomika pohybu (Botek et al., 2017). Klíčové role podle Michaela a Edwarda (2008) ve vytrvalostním výkonu hrají tři hlavní faktory: maximální spotřeba kyslíku, takzvaný „laktátový práh“ a účinnost (tj. náklady na kyslík pro generování rychlosti daného sportu).

Prvním z determinantů je typologie svalových vláken a jejich procentuální zastoupení, na kterém má největší podíl genetika. Svalové vlákna jsou svou výbavou funkčně vysoce specializovaná, a tak je jasné, že vytrvalci disponují dominantně oxidativními vlákny. U elitních vytrvalců uvádí až 80% zastoupení pomalých oxidativních vláken oproti 20% zastoupení rychlých svalových vláken. Oxidativní svalová vlákna při tělesné práci spotřebovávají velké množství O_2 a díky tomu vytváří velké množství energie (ATP) aerobní cestou. Vlivem vysoké oxidační kapacity svalových vláken mohou vytrvalostně trénovaní sportovci ve větší míře využívat energii pro svalovou činnost pocházející ze štěpení tuků neboli volných mastných

kyselin. Tyto svalová vlákna je dále typické, že vytvářejí pouze omezené množství laktátu a spíše se podílejí na jeho metabolizaci (Botek et al., 2017).

Maximální spotřeba kyslíku ($VO_2\text{max}$), je jedním z nejdůležitějších fyziologických kritérií pro vytrvalost a je také jedním z významných ukazatelů aerobní kapacity (Marangoz, 2020). Aerobní kapacita je definována jako množství kyslíku spotřebovaného během maximálního cvičení nebo maximální práce sportovce v okysličeném prostředí (McArdle, Katch, & Katch, 2006). $VO_2\text{max}$ můžeme také definovat jako maximální množství z objemu přijatého kyslíku, které je organismus schopen využít při maximální svalové práci. Pracovat při intenzitě odpovídající úrovni $VO_2\text{max}$ můžeme pouze po relativně omezenou dobu, která se u vyspělých vytrvalců pohybuje kolem 10-15 minutami. Vyšší $VO_2\text{max}$ ukazuje na lepší dispozice pro intenzivnější vytrvalostní zatížení, a tedy i pro vytrvalostní výkon. Naopak patologicky nízké hodnoty $VO_2\text{max}$ mohou začít člověka limitovat i při relativně nenáročných pohybových aktivitách habituálního charakteru (Botek et al., 2017). Vyšší spotřeba kyslíku v těle sportovce je přímo úměrná vyšší aerobní kapacitě. Pravidelná a delší kontrolovaná cvičení viditelně zvyšují maximální spotřebu O_2 u sportovců (Marangoz, 2020). Podle Botka et al. (2017) platí, že čím větší bude množství kyslíku, které je organismus schopen během svalové práce využít, tím více energie bude vytvářeno efektivním aerobním způsobem. Maximální aerobní výkon se nejčastěji vyjadřuje v ml spotřebovaného kyslíku na kilogram za minutu (ml/kg/min) (Botek et al., 2017).

Mezi dalšími důležité determinanty ve vytrvalostním výkonu patří i aerobní a anaerobní práh. Aerobní práh (AP) je definován jako intenzita zatížení kdy se energie pro svalovou činnost (ATP) přestává tvořit výlučně pomocí aerobních procesů, což se projeví narušením normální hladiny laktátu v krvi. Hladina laktátu, která ukazuje při zvyšujícím se zatížení na úroveň AP, se obecně považuje koncentrace do 2 mmol/l (Botek et al., 2017). AP je důležitý pro zvýšení dlouhodobé energie, snížení kardiometabolických rizik a zpomalení stárnutí (Modric, Versic, & Sekulic, 2020). Aerobní kapacita klesá s věkem především jako následek poklesu srdeční frekvence (SF) maximální, úbytkem svalové tkáně, dochází také k zhoršení schopnosti distribuce krve do pracujících svalů a schopnosti svalů využít O_2 (Botek et al., 2017).

Anaerobní práh (ANP) je definován jako nejvyšší intenzita cvičení, při které je produkce a odbourání laktátu přibližně stejná (Modric, Versic, & Sekulic, 2020). Botek et al. (2017) uvádí, že ANP je intenzita zatížení, při které dochází k narušení dynamické rovnováhy mezi produkcí laktátu a schopností jeho odplavení nebo využití jako zdroje pro svalovou činnost. Výsledkem narušení rovnováhy je kumulace vodíkových iontů a laktátu, které jsou zodpovědné

za pokles pH a za zvyšující únavu. V okamžiku, kdy je narušena dynamická rovnováha mezi produkcí a zpracováním laktátu, se jeho koncentrace začne exponenciálně zvyšovat. Hladina ANP se nachází mezi 2,5-6 mmol/l (Botek et al., 2017).

Ekonomika pohybu bývá vyjadřována pomocí množství spotřebovaného O₂ při dané rychlosti pohybu na ergometru. Při zvyšujícím se zatížení roste spotřeba O₂ lineárně, ale u sportovce s horší ekonomikou pohybu bude při stejné rychlosti spotřebováno mnohem větší množství energie a tím pádem bude i vyšší hodnota spotřebovaného O₂. Z toho plyne, že sportovec s horší ekonomikou pohybu bude pomalejší než sportovec, který má ekonomiku pohybu lepší (Botek et al., 2017).

2.3.1. Adaptace na vytrvalostní trénink

Vytrvalostní trénink vede k různým adaptacím na buněčné a systémové úrovni, které slouží k minimalizaci narušení homeostázy celého těla způsobené cvičením. Tyto adaptace jsou odlišně ovlivněny objemem tréninku, intenzitou tréninku a stavem tréninku (Rothschild & Bishop, 2020). Při počátečních fázích tréninku dochází k výraznější stresové odpovědi organismu na dané tělesné zatížení v důsledku většího narušení dynamické rovnováhy vnitřního prostředí (zvýšení srdeční frekvence, ventilace, koncentrace katecholaminů v cirkulující krvi,..). Po několika týdnech tréninku dochází k postupnému oslabování poplachové reakce na stejně silný stresový podnět, protože trénink již v organismu nevyvolá tak výrazné narušení homeostázy jako na začátku (Botek et al., 2017). Adaptací se zmenšuje působení podnětu a zvyšuje schopnost odolat podnětu silnějšímu (Máček & Radvanský, 2011). Můžeme tedy mluvit o adaptaci jako o snížené regulační odpovědi na stresový podnět. Pro další nárůst úrovně adaptace a s tím spojené zvyšování výkonnosti je také nezbytné postupné zvyšování velikosti tréninkového zatížení (Botek et al., 2017).

Vytrvalostní trénink způsobuje adaptace v plicním, kardiovaskulárním a neuromuskulárním systému, které zlepšují přísun kyslíku do mitochondrií a zvyšují kontrolu metabolismu ve svalových buňkách. Tyto adaptace posouvají křivku rychlosti a času doprava, a proto vedou ke zlepšení výkonu vytrvalostního cvičení (Jones & Carter, 2000).

Projevem adaptace dýchacího systému na vytrvalostní zatížení u trénovaného jedince je snížená dechová práce při stejném zatížení oproti netrénované osobě. Dlouhodobý a systematický trénink vytrvalostního charakteru vyvolá v dýchacím systému mnoho funkčních změn. Dojde k vzestupu síly a celkové výkonnosti dýchacích svalů, zvýšení propustnosti alveokapilární membrány (difúze), usnadnění průchodu kyslíku z plic do krve (zlepšení difúze O₂) a v mladším věku dochází také ke zvýšení vitální kapacity plic. Podle Máček a Radvanský

(2011) se za významnou adaptaci považuje zlepšená ekonomika dýchání, na které se podílí zvýšená schopnost extrahovat O_2 z alveolárního vzduchu. Zlepšená extrakce O_2 se pozitivně odrazí ve snížení ventilačního ekvivalentu pro O_2 , což nám signalizuje snížení nároků na ventilaci pro získání 1 litru O_2 a tím oddálení vzniku únavy dýchacích svalů (Botek et al., 2017).

Podle Botka et al. (2017) dochází u kardiovaskulárního systému k charakteristickým adaptačním změnám, které se týkají především srdce a periferní cirkulace. Intenzivní pohybová aktivita vytváří hemodynamický stres, na který srdce i cévní systém akutně reagují a chronicky se adaptují. Dlouhodobá adaptace vede k tzv. atletickému srdci. Atletické srdce je charakterizované harmonickou/proporcionální dilatací všech srdečních oddílů (Tuka & Slabý, 2020). Projevy adaptace kardiovaskulárního systému úzce souvisí s adaptacemi neurohumorálního systému (ANS a katecholaminů) (Myslivoček & Riljak, 2020). Již po několika týdnech vytrvalostního tréninku můžeme zaznamenat pokles SF během submaximálního zatížení. Od toho se nám odvíjí i vzestup systolického objemu, který tak umožňuje poskytovat stejný minutový srdeční výdej za situace snížené SF (Botek et al., 2017).

2.4. Laktát

Kyselina mléčná hraje důležitou roli v teorii svalové únavy a omezení vytrvalostního výkonu. Laktát je produkován ve všech tkáních, ale největším producentem jsou příčně pruhované svaly, mozek, střevo a červené krvinky (Tuka & Slabý, 2020). Laktát vzniká v organismu při spalování cukrů za nepřítomnosti kyslíku tzv. anaerobní glykolýzou. Laktát je tedy konečným produktem anaerobního metabolismu glukózy (Botek et al., 2017).

Laktát byl nazýván odpadním produktem anaerobního metabolismu a věřilo se, že je zodpovědný za nepříjemné „pálení“ při intenzivním cvičení a je přímo zodpovědný za metabolickou acidózu, což vede ke snížené svalové kontraktilitě (Hall, Rajasekaran, Thomsen, & Peterson, 2016). Ale podle Botek et al. (2017) laktát jako takový acidózu nezpůsobuje, na vině jsou vodíkové ionty (H^+). Laktát je odpovídající bází kyseliny mléčné a tvoří se přímo z pyruvátu. V této reakci je H^+ spotřebováván, a proto samotná produkce laktátu nemůže být přímo zodpovědná za vznikající acidózu (Baumann & Studhalter, 2020). Při anaerobní práci a nedostatku O_2 vzniká velké množství H^+ , které způsobují pokles pH a vedou k acidóze ve svalu. Čím vyšší bude koncentrace H^+ , tím nižší bude pH a naopak. Neutrální hodnota pH je 7, kterou má například destilovaná voda. Pokud bude pH nižší jak 7, tak bude prostředí kyselé a jakmile bude pH vyšší než 7, tak se prostředí změní v zásadité (Botek et al., 2017).

Laktát vzniká štěpením kyseliny mléčné ve svalech ze svalového glykogenu a krevní glukózy (Botek et al., 2017). Pohybuje-li se zatížení v rozmezí 50-80 % VO_{2max} , tak se hladina laktátu zvyšuje výrazněji. Laktát se během tělesné práce stává hlavním aerobním substrátem (Bartůňková, 2013). Během cvičení s vysokou intenzitou jsou buňky kosterního svalstva zodpovědné za zvýšení koncentrace laktátu v krvi, což při vysokých úrovních vede ke svalovému nepohodlí jedince (Pereira da Silva et al., 2020). Anaerobní metabolismus se kompletně zastaví při pH pod 6,4 kvůli redukci aktivity fosfofruktokinázy, čímž dochází k energetickému deficitu neboli nedostatku ATP (Botek et al., 2017). Naproti tomu laktát uvolněný svalovými buňkami je buňkami znovu získán, aby syntetizoval energii pro další cvičení (Pereira da Silva et al., 2020). Po 10-15 minutách zátěže se hladina krevního laktátu ustaluje, pracující svaly pomalu přestávají laktát produkovat a stávají se jeho konzumentem. Laktát je během mírného zatížení uvolňován i neaktivními svaly, protože je snadno dostupným energetickým substrátem (Bartůňková, 2013).

Malé množství laktátu se nám tvoří i v klidu, kdy klidový obsah laktátu v krvi je 1-1,1 mmol/l a ve svalu 1-2 mmol/kg. Při maximální zátěži, která trvá alespoň minutu se výrazně zvýší množství laktátu v krvi na 10-20 mmol/l a ve svalu vzroste na 25-30 mmol/kg (Botek et

al., 2017). Tvorba laktátu ve velkém rozsahu způsobuje okyselení vnitřního prostředí tzv. laktátovou acidózu (Pereira da Silva et al., 2020). Podle Tuka a Slabý (2020) je koncentrace laktátu v krvi odrazem jeho produkce ve svalových buňkách, erytrocytech a rychlosti jeho odbourávání v játrech.

Metabolismus a odstranění laktátu se odehrává výhradně v játrech a ledvinách (Pereira da Silva et al., 2020). Botek et al. (2017) považují laktát za velmi významný energetický zdroj. Laktát podle Neumann, Tvrzník, Hottenrott a Pfützner (2005) není zbytečný metabolit, ale je tzv. přenašečem chemické energie z místa na místo. Důležitou funkci v procesu přesunu laktátu mají erytrocyty, které zachycují laktát z aktivních svalů a dodávají ho na jiná potřebná místa, jakými jsou například neaktivní svaly (Tuka & Slabý, 2020). Podle Botek et al. (2017) může laktát přestupovat z bílých svalových vláken, kde se tvoří, do červených svalových vláken, která jsou lépe uzpůsobena oxidacím. Laktát je také velice účinně oxidován v myokardu. Další cestou využití laktátu je glukoneogeneze, tedy novotvorba glukózy z nesacharidových tříuhlíkatých zbytků, kterým je právě laktát (Botek et al., 2017).

Při výkonu vytrvalostního charakteru je tvorba a odbourávání laktátu v rovnováze. Ukazatelem trénovanosti jedince je rychlost odbourávání laktátu. Vrcholoví sportovci odbourávají laktát mnohem rychleji a to rychlostí 0,5 mmol/l za minutu. U netréovaných jedinců to jde pomaleji, pouze 0,3 mmol/l (Neumann, Tvrzník, Hottenrott, & Pfützner, 2005).

2.4.1. Měření hladiny laktátu

Laktátová vyšetření můžeme provádět v laboratoři nebo také v terénu. Standartní laboratorní podmínky pro testování jsou následující: prostředí by mělo být klidné s možností cirkulace vzduchu, teplota by se měla pohybovat mezi 18–22° C, vlhkost vzduchu mezi 40–60 % a v místnosti by měl být co nejmenší počet přítomných osob. Mezi laktátové vyšetření řadíme ty vyšetření, při kterých odebíráme vzorek kapilární krve při odběru z bříška prstu ruky nebo z ušního boltce pro určení aktuální koncentrace laktátu v krvi (Lehnert, Langer, Botek, Novosad, & Neuls, 2010). Pomocí laktátoměr můžeme změřit krevní laktát v libovolných podmínkách. Laktátoměr dokáže stanovit hladinu krevního laktátu již po 10-15 vteřinách od vložení testovacího proužku s kapkou krve do přístroje. Nejčastějším laktátovým vyšetřením je test pro stanovení laktátové křivky, při kterém vzorek krve odebíráme několikrát, a to vždy po skončení intervalu zatížení. Dalším typem laktátového vyšetření jsou zátěžové testy např. spiroergometrie nebo wingate test, při kterých odebíráme vzorek kapilární krve až po jejich úplném ukončení (Botek et al., 2017). Na obrázku je znázorněn postup při odběru krevního laktátu z prstu pomocí laktátoměru.



Obrázek 9. Laktátoměr (<https://publi.cz/books/148/18.html>).

2.5. Borgova škála

Posouzení subjektivního vnímání zatížení samotným sportovcem je velmi důležitý indikátor, jak pro trenéry, tak pro sportovce samotné (Čechovská & Dobrý, 2008). Pro nás byl také při testování jedním z důležitých sledovaných parametrů po výkonu.

První Borgova stupnice byla vyvinuta v 60. letech 20. století fyziologem Gunnarem Borgem a dostala název CR10, která má rozsah 0-10 bodů. Jeho účelem byla klasifikace subjektivního vnímání fyzické námahy. V průběhu let byla tato stupnice upravena autorem (G. Borg) a jeho spolupracovníky odborníky na toto téma, kteří vyvinuli stupnici Borg centiMax, známou také jako Borgova stupnice (Ramos-Favaretto, Fukushiro, Scarmagnani, & Yamashita, 2019). Borgova škála je stupnice, která slouží k odhadu subjektivní intenzity zatížení při vykonávání určité pohybové aktivity. Pro přesnost odhadu je doplněna slovním popisem jednotlivých stupňů (Čechovská & Dobrý, 2008).

Pomocí Borgovy škály můžeme hodnotit vnímání fyziologických parametrů jako intenzitu srdeční frekvence, pocení, rychlost dýchání a svalovou únavu jako společného jmenovatele pro stanovení subjektivního odhadu náročnosti pohybové aktivity (Čechovská & Dobrý, 2008).

Nejznámější je Borgova RPE (Rating of Perceived Exertion) škála. Tato škála má vysokou korelaci v případě relativního vyjádření objektivně měřitelných parametrů intenzity zátěže na stupnici od 1 do 10 (Impellizzeri, Borg, & Coutts, 2011). Stupnice RPE je efektivní metoda kvantifikace intenzity zatížení u široké škály typů cvičení (Gearhart et al., 2002).

Jeho spolehlivost a platnost byla prokázána v různých studiích a jeho aplikace byla testována také při klinické diagnostice bolestí a při určování vnímaného úsilí při cvičení. Testované osoby po předložení Borgovi stupnice zhodnotili míru dýchacích potíží nebo únavu.

(Ramos-Favaretto, Fukushiro, Scarmagnani, & Yamashita, 2019, Gearhart et al., 2002, Impellizzeri, Borg, & Coutts, 2011).

Borgova škála podle Čechovské a Dobrého (2008)		
Škala	Popis stupňů	% SFmax
1	velmi malá námaha	60 - 70%
2	malá námaha	70 - 72,5%
3	mírná námaha	72,5 - 75%
4	větši, stále zvládnutelná námaha	75 - 80%
5	velká námaha	80 - 85%
6	vysoká námaha	85 - 90%
7	velmi vysoká námaha	90 - 94%
8	extremně velká námaha	94 - 97,5%
9	téměř maximalni námaha	97,5 - 100%
10	vyčerpání	100%

Obrázek 10. Borgova škála podle Čechovská a Dobrý (2008).

Druhá stupnice s označením RPE 6-20 má stupnici ohraničenou právě hodnotami 6 až 20. Je vhodná při použití subjektivního vnímání tepové frekvence, jelikož číslo na stupnici vynásobené hodnotou 10 odpovídá tepové frekvenci. Borgova škála počítá s pocitem vnímání srdeční frekvenci, rychlost dýchání, pocení a únavu svalů jako společné jmenovatele (Čechovská & Dobrý, 2009).

Tabulka 1. Borgova škála RPE 6-20 podle Placheta (2001).

Borgova škála RPE 6-20			
škála	výkon	škála	výkon
6		14	
7	Velmi, velmi lehká	15	Namáhavá
8		16	
9	Velmi lehká	17	Velmi namáhavá
10		18	
11	Lehká	19	Velmi, velmi namáhavá
12		20	
13	Poněkud namáhavá		

Podle Impellizzeri, Borg a Coutts (2011) je metoda RPE přijatelným indikátorem tréninkové zátěže a lze ji použít na mnoho sportů. Během sportovních aktivit, lze Borgovou

škálou vyhodnotit srdeční frekvenci, spotřebu kyslíku, plicní ventilaci, krevní tlak, laktát a další funkční změny. Všechny tyto parametry můžeme přesně změřit také specifickými přístroji a metodami (Čechovská & Dobrý, 2008). Ale podle Ramos-Favaretto, Fukushiro, Scarmagnani a Yamashita (2019) je jednou z nejjednodušších a finančně nenáročných metod právě subjektivní vnímání intenzity pohybového zatížení pomocí Borgovy škály.

Při sledování sportovců (zejména velkých skupin) je však třeba vzít v úvahu i další faktory, jako je praktická užitečnost. Mezi hlavní výhody použití Borgovi škály (RPE) patří jednoduchá a snadná použitelnost nejen v terénu, ale i tam, kde je nemožné s přesností sledovat a regulovat aktuální zatížení stavu organismu. Proto metoda subjektivního vnímání může být vhodnou praktickou volbou pro monitorování zátěže ve výcvikovém prostředí. Zejména v zahraničí se tato škála používá pro subjektivní odhad a způsob regulace intenzity zátěže napříč populacemi (Wallace, Slattery, Impellizzeri a Coutts, 2014).

2.6. Hydrogenovaná voda

2.6.1. Molekulární vodík

Molekulární vodík (H_2) je minimální molekula s vysokou hořlavostí, je bezbarvý, bez chuti, zápachu, je bezpečný a je povolenou přísadou do potravin (E 949) podle předpisů Evropské komise (Lucas et al., 2020). Ačkoli je H_2 již mnoho let považován za inertní plyn v živých organismech, studie na zvířatech uvedla, že inhalace plynu H_2 snižuje oxidační stres. Od té doby antioxidační účinek H_2 přitahuje značnou pozornost a mnoho studií se jím zabývá (Kawamura et al., 2020).

Podle Hanaoka, Kamimura, Yokota, Takai a Ohta (2011) je molekulární vodík malý vědecký zázrak a zaujímá v současné době první místa na poli lékařského výzkumu. Molekulární vodík reaguje se silnými oxidačními činidly, jako jsou hydroxylové radikály, v buňkách, což umožňuje využití jeho potenciálu pro preventivní a terapeutické aplikace (Slezák et al., 2016). Většina studií uvádí účinky H_2 na nemoci jako je rakovina, cukrovka, mozkový infarkt a Alzheimerova choroba. Málo se jich však zajímá o jeho účincích na zdravé osoby a sport (Kawamura et al., 2020). Japonskými vědci Ohsawa et al. (2007) bylo zjištěno, že molekulární vodík je nejmenší molekula (0,24 nanometru) a nejjednodušší prvek ve vesmíru, a proto může snadno proniknout buněčnou membránou a rychle se rozptýlit do organel (např. mitochondrií). H_2 může být dodáván do těla několika způsoby, jako je orální příjem H_2 vody, lázeň v H_2 , intravenózní infuze H_2 fyziologického roztoku a vdechování plynného H_2 (Kawamura et al., 2020). Podle Ohta (2014) je možné také kapat H_2 , jako solný

roztok do očí. Molekulární vodík můžeme použít s minimálními vedlejšími účinky, protože ho vylučujeme s výdechem (Kawamura et al., 2020).

Teoreticky by konzumace hydrogenované vody (HRW) mohla nahradit požití bikarbonátu a ovlivnit tak alkalickou rezervu a výkon těla. Studie na zvířatech naznačují, že hydrogenovaná voda může působit jako neutralizační činidlo (Da Ponte, Giovanelli, Lazzer, & Nigris, 2018). Antioxidační vlastnosti molekulárního vodíku naznačují, že by mohl být přínosný pro snížení svalového zakyselení způsobené oxidačním stresem (Pantovic et al., 2016). Během cvičení jsou reaktivní formy kyslíku a reaktivní formy dusíku vytvářeny mitochondriálními a non-mitochondriálními zdroji, což odráží oxidační stres, který podporuje adaptaci na cvičení. Nicméně vysoká úroveň reaktivních forem kyslíku a reaktivních forem dusíku byla spojována s mitochondriální dysfunkcí a buněčným poškozením, které může přispět právě k únavě a opožděnému zotavení u sportovců (Botek, Krejčí, McKune, Sládečková & Naumovski, 2019).

Podle Ohsawa et. al. (2007) se molekulární vodík ukázal jako silný a selektivní antioxidant s vysokou afinitou k zachycování vůči volným radikálům cytotoxických hydroxylových skupin, což pomáhá k udržení buněčné redoxní bilance. Murakami, Ohsawa a Ito (2017) dodávají, že má také stimulační účinek na mitochondriální oxidativní fosforylaci. Ukázalo se, že suplementace vodou obohacenou vodíkem před cvičením zlepšuje laktátovou, ventilační a percepční odpověď (Botek, Krejčí, McKune, Sládečková & Naumovski, 2019).

2.6.2. Formy užití molekulárního vodíku

Orální příjem H_2 ve formě vody je jednou z nejjednodušších, nejpraktičtějších a nejbezpečnějších metod příjmu pro každodenní život a sport (Aoki, Nakao, Adachi, Matsui, & Miyakawa, 2012). Molekuly H_2 mohou být rozpuštěny ve vodě až do koncentrace 0,8 mM (1,6 mg/l) za normálního atmosférického tlaku při pokojové teplotě. Nicméně aby se zabránilo snížení koncentrace H_2 , musí být voda uložena v hliníkové nádobě (Hong, Chen, & Zhang, 2010). Míra kolísání H_2 v roztoku je ovlivněna okolní teplotou a obalem ve kterém je hydrogenovaná voda uložena. H_2 je totiž díky své molekulové velikosti schopný pronikat např. přes plastové nádoby, proto se využívají především hliníkové nádoby (Huang et al., 2010). Ohta (2011) uvádí, že po požití hydrogenované vody se obsah vodíku rychle vstřebává do krve a je dále distribuován jak k pracujícím svalům, tak do celého organismu. Po požití hydrogenované vody se projevují její účinky po 5-15 minutách v závislosti na přijatém množství (Yao, Yang, & Li, 2019). Podle Ohsawy et al. (2007) doba setrvání H_2 v organismu se popisuje mezi 45-90 minutami v závislosti na aplikované dávce. Hydrogenovanou vodu lze také vyrobit několika

způsoby, například infuzí plynu H₂ do vody pod vysokým tlakem nebo elektrolýzou vody za vzniku H₂ (Yao, Yang, & Li, 2019).

Kromě orálního příjmu HRW můžeme využít lázeň s H₂. Koupání je další snadnou metodou, kterou lze ve sportu využít. H₂ jako produkující činidlo může být skladované dlouhou dobu a může být snadně a bezpečně použito. Při koupeli je molekulární vodík dodáván do těla skrz kůži. Zjistilo se, že nejdříve po 10 minutách se vstřebá H₂ do celého těla (Ohta, 2011). Studie od Todorovice, Javorace, Stajera a Ostojice (2020) naznačuje, že koupání celého těla v přesycené H₂ vodě je bezpečný postup, který zmírňuje poškození svalů a může zmírnit bolavé svaly po excentrickém cvičení s vysokou intenzitou. Koupel H₂ nevyvolává žádné významné vedlejší účinky, a proto by mohla být navržena jako bezpečná a pohodlná terapeutická volba ve sportovní medicíně (Todorovic, Javorac, Stajer, & Ostojic, 2020).

Intravenózní infuze H₂ fyziologického (solného) roztoku je metoda, která může rychle dodat velké množství H₂ do těla. Tato metoda však může být obtížně použitelná na sportovním poli kvůli její invazivnosti (Ohta, 2014). Rizikem může být kapaná infuze léků, která zvyšuje krevní tlak a způsobuje vážné překážky při léčbě infarktu myokardu (Ohsawa et al., 2007). Intravenózní metoda je bezpečná například pro pacienty s akutním mozkovým infarktem (Nagatani et al., 2013).

Alternativní metoda H₂ očních kapek je připravena rozpuštěním molekulárního vodíku v solném roztoku a poté bezprostředně kapána na povrch oka – sítnici (Oharazawa et al., 2010).

Z hlediska odborníků na sportovní vědy, inhalace H₂ plynu není univerzální způsob jeho podání. Inhalace H₂ působí rychle a tato metoda může být použita k léčbě akutního oxidativního stresu. Molekulární vodík v podobě plynu se může snadno inhalovat přes kruhový ventilátor, roušky, nebo nosní kanyly. Nebezpečí vzplanutí nehrozí pouze v případě, že je koncentrace ve vzduchu nižší než 4 % (Ohta, 2014). Vzhledem k tomu, že inhalační H₂ plyn působí rychle, může být vhodný na akutní oxidační stres. Inhalace plynu navíc neovlivňuje krevní tlak (Ohsawa et al., 2007).

Navíc jsou ještě k dispozici tablety, které většinou kombinují malé množství kovového hořčíku a ve vodě rozpustné kyseliny, jako je kyselina jablečná, kyselina vinná a kyselina adipová. Reakce kovu s kyselinami generuje vodík, když se rozpadne ve vodě. Existuje šumivá tableta uvolňující vodík s použitím hořčíku, kyseliny citronové a kyseliny askorbové, která je v souladu s evropskými předpisy pro doplňky výživy (Lucas et al., 2020).

3 CÍLE A HYPOTÉZY (dílní cíle, vědecké otázky, problémy k řešení)

3.1. Hlavní cíl

Hlavním cílem práce bylo hodnocení vlivu hydrogenované vody na výkon u plavců s ploutvemi.

3.2. Dílní cíle

1. Posouzení vlivu hydrogenované vody na koncentraci laktátu v krvi.
2. Posouzení vlivu hydrogenované vody na hodnocení subjektivního vnímání intenzity zatížení pomocí Borgovi škály.

3.3. Výzkumné hypotézy

1. Aplikace hydrogenované vody zvyšuje výkon u plavců s ploutvemi.
2. Užití hydrogenované vody snižuje koncentraci laktátu v krvi.
3. Hydrogenovaná voda neovlivní subjektivní vnímání intenzity zatížení.

4 METODIKA

Tento projekt byl proveden za podpory IGA_FTK_2020_007, pod názvem hodnocení vlivu molekulárního vodíku na odezvu organismu a na výkonnost při intervalovém zatížení a následný průběh 24hodinového zotavení pomocí vybraných subjektivních a objektivní bioindikátorů u elitních plavců s ploutvemi. Tato studie byla finančně podpořena výzkumným projektem vědeckotechnického parku Aplikačního centra BALUO FTK UP Olomouc pod názvem: „Posouzení efektivity pohybových programů realizovaných v rámci Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci u jedinců ve věku 6–18 let.“ a také pod názvem „Posouzení efektu zdravého a aktivního životního stylu dospělých jedinců na vybrané ukazatele zdraví u účastníků výzkumu Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci – retrospektivní studie“.

Testovaným souborem byli ploutvoví plavci z klubu KSP Olomouc. Experiment proběhl 2.-4. a 9.-11. října roku 2020. Tyto dva týdny se odehrávaly co nejvíce identicky. Všichni probandi byli důkladně seznámeni s průběhem a cíli výzkumu. Byli také srozuměni s dobrovolnou účastí a kdykoliv mohli odstoupit od výzkumu. Probandi byli předem poučeni o důležitosti dodržení životosprávy a vysadili všechny suplementy, které běžně používají již 2 týdny před samotným výzkumem. Zakázáno bylo užívání alkoholických, kofeinových nápojů a kouření. Týden před prvním testováním a během testování měli probandi zakázáno zkoušet nové, nezvyklé aktivity a provádět jakoukoliv další namáhavou činnost.

4.1. Design studie

Experiment proběhl jako randomizovaná, dvojitě zaslepená, placebem kontrolovaná, cross over studie. Testování probandi nebyli vybráni náhodně. Výběr byl založen na dobrovolnosti a spolehlivosti probandů. Probandi si náhodným výběrem (losováním) určili, zda budou pít hydrogenovanou vodu (HRW) nebo placebo při prvním, či druhém experimentu. HRW/placebo pili již 3 dny před samotným experimentem a pokračovali s pitím v jeho průběhu. Experimentálními hodnotami (výstupními proměnnými) byly časy naměřené v bazénu, hladiny laktátu v kapilární krvi a subjektivně vnímaná námaha kvantifikovaná podle Borgovy škály.

V rámci mé diplomové práce proběhl v bazénu jeden kontrolní test. Test maximálního úsilí se plaval ráno a byl v intervalové podobě 3x (4x50 m), start v jedné minutě.

Během výzkumu měli probandi dodržet totožné mikrocykly. Nebyl stanoven jednotný tréninkový mikrocyklus, jelikož jsme porovnávali výsledky pouze párově u jednoho probanda.

Neporovnávali jsme výsledné hodnoty mezi probandy. Na experimentu se kromě zmíněných relevantních sledovaných proměnných, podílely také proměnné relevantní nesledované, které jsme se snažili co nejvíce eliminovat. Jedná se o všechny další vnější i vnitřní vlivy, které na probandy působily před zahájením a během výzkumu. Tyto nesledované proměnné mohou být limity naší studie.

4.2. Etické aspekty výzkumu

Všichni probandi byly seznámeni s průběhem a cíli výzkumu. Všichni probandi podepsali informovaný souhlas s výzkumem. Hydrogenovaná voda je certifikována jako výživový doplněk. Projekt byl schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem 25/2020.

4.3. Charakteristika výzkumného souboru

Testování proběhlo v Centru kinantropologického výzkumu FTK a v prostorách Aplikačního centra Balua. Výzkumu se zúčastnilo pouze 6 probandů (1 muž a 5 žen) z důvodu coronavirové krize, ale měli jsme v plánu změřit 18-20 probandů. Všichni probandi byli osloveni několik týdnů před samotným zahájením výzkumu. Probandi byli aktivní závodní plavci z klubu KSP Olomouc. Testovaný soubor byl, co se týče věku, plaveckých zkušeností a výkonnosti různorodý. Věk probandů se pohyboval v rozmezí 18-31 let. Všichni probandi, jak už jsem zmínila, jsou z jednoho plaveckého klubu, takže jejich tréninky byly vedeny podobně. Pro náš experiment bylo důležité, aby probandi byli zodpovědní, spolehliví a byly v dobré fyzické kondici. Každý z probandů odevzdal před výzkumem potvrzení o zdravotní způsobilosti a informovaný souhlas.

Tabulka 2. Charakteristika výzkumného souboru, n=6.

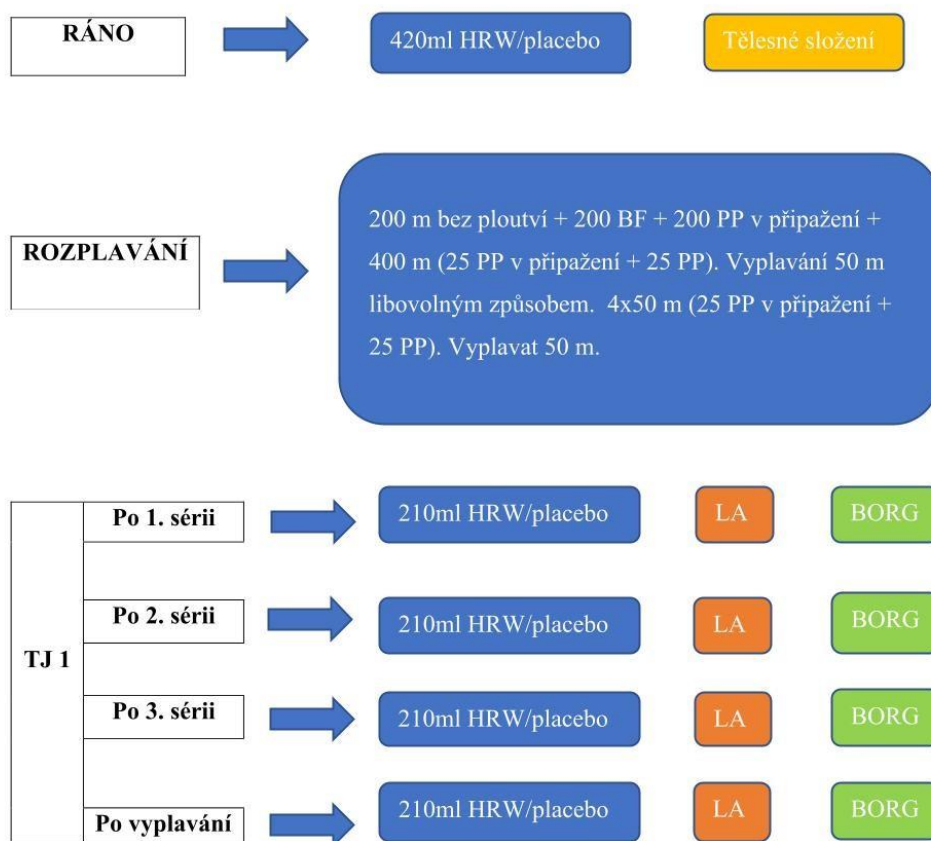
Pohlaví	Věk	Hmotnost (kg)	Tělesná výška (cm)	Tělesný tuk (%)	Tělesný tuk (kg)
Muž	18,2	69,3	183,6	7,7	5,3
Žena 1	15,6	60	164,5	24,6	14,7
Žena 2	31	58,3	161,5	21,2	12,3
Žena 3	29	71,3	170	20,9	14,9
Žena 4	16,3	47,4	151,2	20,3	9,6
Žena 5	17,9	63,8	167	21,5	13,7
Průměr ± SD	21,3 ± 6,2	61,7 ± 7,9	166,3 ± 9,7	19,4 ± 5,4	11,8 ± 3,4

4.4. Harmonogram měření experimentu

V rámci výzkumu probandí absolvovali měření tělesného složení, hodnoty laktátu, Borgovu škálu a 2 experimentální tréninky (1 trénink v prvním týdnu a 2. ve druhém). V experimentální části výzkumu probandí absolvovali dvakrát stejný test, který plavali maximálním úsilím a to 3x (4x50 m) PP. Druhým testem bylo uplavat 400 m PP. Pro mou diplomovou práci jsme vybrali pouze test 3x (4x50 m).

Plavci užívali hydrogenovanou vodu (HRW) nebo placebo již 3 dny před samotným zahájením experimentu a také v jeho průběhu. Tři dny před zahájením aplikovali HRW/placebo 3x denně vždy před jídlem (ráno, na oběd, večer). Po ukončení druhého testu přestali na dva dny pít HRW/placebo a poté opět začali 3 dny před druhým experimentem pít HRW nebo placebo.

Náhodným výběrem si probandí určili, co budou aplikovat jako první. Probandi, kteří pili během první části výzkumu HRW, tak v druhé části výzkumu pili placebo a naopak. Nikdo z probandů ani testujících osob nevěděl kdo jakou vodu užívá.



Obrázek 11. Schéma výzkumu.

4.5. Experiment

Experimentální část naší studie zahrnovala jeden maximální test. Test, který jsme si vybrali pro diplomovou práci byl intervalového charakteru 3x (4x50 m) maximálním úsilím, kdy interval startu dalších 50 m byl 1 minuta. Odpočinek mezi sériemi trval 12 minut. Ve 12 minutách se plavci vždy vyplavali 300 m.

4.5.1. První den výzkumu

Testování začalo v 8:00 ráno, kdy probandi odevzdali informované souhlasy a lékařskou prohlídku. Následovalo měření tělesného složení a odebrání vstupních hodnot laktátu (LA).

Před testováním ve vodě vypil každý z probandů jeden sáček HRW/placeba (420 ml). Následovalo společné rozplavání celkem 1300 metrů. Konkrétně plavali 200 m bez ploutví + 200 m BF (kraul s ploutvemi) + 200 m delfínové vlnění v připažení + 400 m (25 m delfínové vlnění v připažení + 25 m PP (delfínové vlnění)). Následovalo vyplavání 50 m libovolným

způsobem. Rozplavání pokračovalo 4x50 m (25 m delfinové vlnění v připažení + 25 m PP). Opět se probandi libovolně vyplavali 50 m.

Po rozplavání čekal probandy maximální test 3x (4x50) start v 1 minutě, to znamená, že každou minutu startovali nový 50m úsek. Všichni probandi dostali pokyn, že musí plavat 50m úseky na maximum svého úsilí. Po každé sérii se měřil ihned po doplávání laktát pomocí laktátoměru a proband ihned také zhodnotil zátěž pomocí Borgovi škály, kterou jsme mu vždy ukázali. Po každé sérii následovalo vyplavání 300 m. Vždy během vyplavání každý proband vypil 210 ml HRW/placeba. Posledních 210 ml HRW/placeba probandi vypili po skončení tréninku. Během ranního testování ve vodě vypil každý dva sáčky HRW/placeba (2x 420 ml). Než jsme opustili testovací nádrž, tak se 12 minut po poslední sérii každému odebrali znova hodnoty LA.

4.5.2. Druhý den výzkumu

Druhý den testování jsme probandy pouze sledovali. Ráno opět dorazili na osmou hodinu a absolvovali odběr LA.

Odpoledne dorazili na 16 h a naposled jim byly odebrány hodnoty LA. Tímto posledním vyšetřením pro probandy skončil první blok testování. Následující týden je čekalo stejné testování. Rozdíl byl pouze v odlišné tekutině HRW/placebo, kterou užívali.

4.6. Použité metody a přístroje

4.6.1. Měření tělesného složení

Měření tělesného složení probíhalo v oblečení pouze bez ponožek s odečtenou váhou oblečení. Probandům byla změřena nejprve výška a poté pomocí přístroje In Body 720 (InBody, Seoul, Korea) bylo změřeno celkové tělesné složení. Probandi byli předem vyzváni k dodržení několika zásad. Dva týdny před samotným výzkumem museli probandi vysadit všechny suplementy, které běžně používají, zakázáno bylo užívání alkoholických, kofeinových nápojů, kouření, před měřením nejméně 2 hodiny nejíst a neprovádět pohybovou aktivitu, aby nedocházelo ke zkreslení hodnot.

4.6.2. Měření hladiny laktátu

Hladina laktátu v krvi byla měřena pomocí přístroje Lactate Scout+ (EKF Diagnostics, Cardiff, Velká Británie). Probandi použili pro odběr krve z břicha prstů jednorázové lancety.

Kapilární krev se poté odebrala na proužek Lactate Scout+ a následně byla vyhodnocena hladina laktátu v krvi pomocí přístroje Lactate Scout+.

Lactate Scout+ je rychlý, přesný a spolehlivý přenosný analyzátor pro kvantitativní stanovení koncentrace laktátu. Toto zařízení měří na základě enzymaticko-amperometrické detekce. Čte elektrický signál, který vzniká reakcí mezi vzorkem a biochemickým činidlem na vloženém senzoru. Tento signál přímo odpovídá koncentraci laktátu ve vzorku (Retrieved from world wide web: www.sportmedical.cz). Pracuje na principu moderní čipové technologie, k měření vyžaduje pouze 0,2 µl krve a výsledky jsou k dispozici během 10 vteřin (Retrieved from world wide web: <http://www.medesa.cz/368860-lactate-scout/>). Přístroj splňuje bezpečnostní standardy, a je certifikovaný jako lékařské zařízení podle EU norem IDV (CE 0483) (Retrieved from world wide web: <https://www.mixxer-medical.cz/Lactate-Scout-Testovani-hodnot-krevniho-laktatu-d3566.htm?tab=description>).

4.6.3. Hodnocení subjektivně vnímané intenzity zatížení podle Borg

Pro hodnocení subjektivně vnímané intenzity zatížení jsme použili standardizovanou Borgovu škálu subjektivně vnímané námahy. Podle Scott, Black, Quinn a Coutts (2013) je Borgova škála platnou metodou pro kvantifikaci intenzity zátěže v individuálním i týmovém sportu s vysokou intenzitou. Během našeho výzkumu byla použita škála od 1 do 10 doplněná o slovní vyjádření pro lepší kvantifikaci zatížení probandů. Při testu 3x(4x50) byla Borgova škála využita hned třikrát. Vždy ihned po doplávání 4x50 metrů probandi zhodnotili svou únavu podle škály. V odpoledním kontinuálním testu 400 metrů byla použita taktéž ihned po doplávání.

Borgova škála	
1	Žádná námaha
2	Velmi lehká zátěž
3	Lehká zátěž
4	Snesitelná zátěž
5	Poněkud těžká zátěž
6	Těžká zátěž
7	Vysoká zátěž
8	Velmi vysoká zátěž
9	Extrémní zátěž
10	Maximální vyčerpání

Obrázek 12. Borgova škála.

4.6.4. Měření času na bazéně

Pro měření výkonu na bazénu jsme použili plavecké stopky Casio H8-80TW. Časy v prvním testu 3x (4x50 m) měřili tři časoměřiči na setiny a počítal se vždy prostřední čas. Vše bylo v souladu s pravidly Svazu potápěčů České republiky (2018).

4.7. Složení hydrogenované vody

Hydrogenovaná voda (Aquastamina HRW, Nutristamina, Ostrava, Czech Republic)

- ORP -350 mV
- pH 7,8
- Teplota 22 °C
- Koncentrace H₂: 0,9 ppm

4.8. Složení placebo

Placebo (Aquastamina H₂ free; Nutristamina s.r.o.)

- Kojenecká voda
- ORP +270 mV
- pH 7,6
- Teplota 22 °C
- Koncentrace H₂: 0,0 ppm

4.9. Statistické zpracování dat

Data byla popsána pomocí popisných statistických charakteristik – aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Změny ve sledovaných proměnných mezi maximálním testem po administraci HRW a maximálním testem po administraci placebo byly hodnoceny pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) pro opakovaná měření. Porovnání v jednotlivých fázích během maximálního testu a po něm byly provedeny pomocí Fisherových LSD post-hoc testů. Výsledky, u kterých je $p < 0,05$, byly posouzeny jako statisticky významné. Naměřená data byla zpracována pomocí aplikace Statistica (verze 13.4, TIBCO Software, Palo Alto, USA). Použili jsme také Cohenovo d , které indikuje věcně významné změny v některých parametrech. Podle Hopkins et al. (2009) hodnoty Cohenova d lze klasifikovat následujících úrovní: triviální ($d < 0,2$); malá ($d \geq 0,2$); střední ($d \geq 0,6$) a velká ($d \geq 1,2$).

4.10. Limity studie

Mezi limity naší studie patří nedodržení předem daných pravidel (denní režim, alkohol, stimulanty, zdravá strava, další fyzické zatížení,..), menstruační cyklus u dívek, teplota vody, která musí odpovídat podle pravidel ČSPS nejméně 26 ± 1 °C, nižší nasazení probandů v testech (motivace), lepší prostudování Borgovi škály, nepříznivé podmínky v bazénu (vlny) a jako největší limit naší studie považujeme nízký počet probandů ($n=6$) z důvodu opatření týkajících se COVID-19.

5 VÝSLEDKY

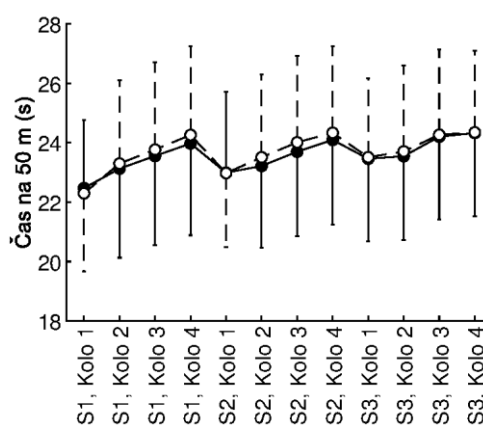
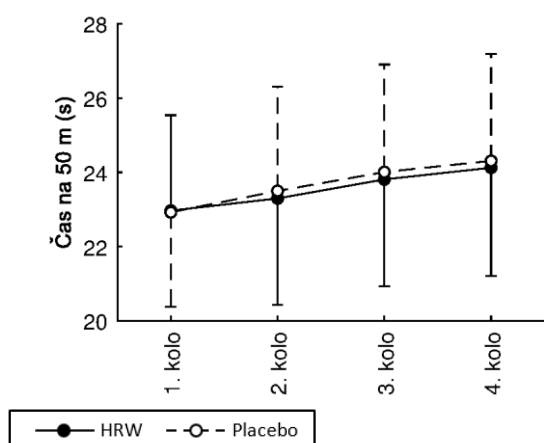
5.1. Výkon

Probandi absolvovali v našem výzkumu maximální test 3x (4x50 m) dvakrát, jednou s užitím HRW a jednou s placebem. Nebyl zjištěn statisticky významný vliv hydrogenované vody na výkon plavců.

Výkon při prvních 50 metrech v každé sérii byl s HRW $23,0 \pm 2,6$ s a při užití placeba $22,9 \pm 2,5$ s. Výkon v druhé padesátce, každé série se u HRW pohyboval $23,3 \pm 2,9$ s v případě placeba $23,5 \pm 2,8$ s. Ve 3. padesátce, každé série byl výkon s HRW $23,8 \pm 2,9$ s a u placeba $24,0 \pm 2,9$ s. Posledních 50 metrů ve 3 sériích probandi s HRW plavali v rozmezí $24,1 \pm 2,9$ s a při užití placeba $24,3 \pm 2,9$ s. Výkon se u skupiny, která užívala HRW statisticky významně nelišil vzhledem k placebo (ANOVA, $p=0,45$).

Použili jsme také Cohenovo d, které indikuje věcně významné změny v některých parametrech. Takže lze poukázat na to, že HRW může mít význam ($d=0,45$), který se však nepodařilo statisticky významně prokázat na této studii, protože jsme testovali pouze 6 probandů.

Například podle studie od Botek, Krejčí, McKune, Valenta a Sládečková (2021) byly prokázány pozitivní výsledky suplementace HRW na vytrvalostní výkon. A také ve studii od Da Ponte et al. (2018) prokázali, že užívání HRW zlepšilo výkon v prodloužených opakovaných all-out sprintech prováděných na kole.



Obrázek 13. Výkon na 3x (4x50m) v sériích.

Obrázek 14. Výkon po 50 metrech v sériích.

Tabulka 3. Výkon na 3x (4x50m), n=6.

	HRW ± SD	Placebo ± SD	p	d
1. série	23,0 ± 2,6 s	22,9 ± 2,5 s	0,83	0,09
2. série	23,3 ± 2,9 s	23,5 ± 2,8 s	0,31	-0,42
3. série	23,8 ± 2,9 s	24,0 ± 2,9 s	0,32	-0,41
4. série	24,1 ± 2,9 s	24,3 ± 2,9 s	0,35	-0,38

p= statistická významnost, d= Cohenovo d, výkon udáván v sekundách.

Tabulka 4. Výkon po 50 metrech v jednotlivých sériích, n=6.

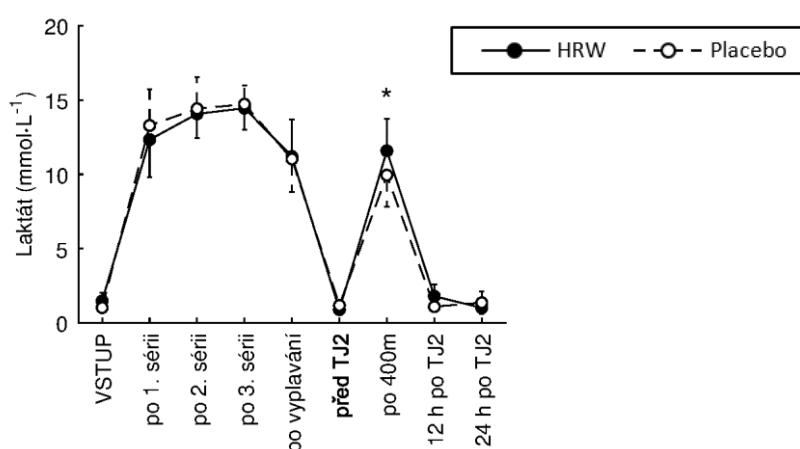
	HRW ± SD	Placebo ± SD	p	d
S1, 1. 50 m	22,5 ± 2,3 s	22,3 ± 2,6 s	0,49	0,28
S1, 2. 50 m	23,1 ± 3,0 s	23,3 ± 2,8 s	0,50	-0,28
S1, 3. 50 m	23,6 ± 3,0 s	23,8 ± 2,9 s	0,40	-0,34
S1, 4. 50 m	24,0 ± 3,1 s	24,3 ± 3,0 s	0,26	-0,46
S2, 1. 50 m	23,0 ± 2,7 s	23,0 ± 2,5 s	0,96	0,02
S2, 2. 50 m	23,2 ± 2,7 s	23,5 ± 2,8 s	0,25	-0,47
S2, 3. 50 m	23,7 ± 2,8 s	24,0 ± 2,9 s	0,21	-0,51
S2, 4. 50 m	24,1 ± 2,8 s	24,3 ± 2,9 s	0,35	-0,39
S3, 1. 50 m	23,5 ± 2,8 s	23,5 ± 2,6 s	0,84	-0,08
S3, 2. 50 m	23,5 ± 2,8 s	23,7 ± 2,9 s	0,52	-0,26
S3, 3. 50 m	24,2 ± 2,8 s	24,3 ± 2,9 s	0,80	-0,11
S3, 4. 50 m	24,3 ± 2,8 s	24,3 ± 2,7 s	0,93	-0,04

p= statistická významnost, d= Cohenovo d, výkon udáván v sekundách.

Naši hypotézu, že aplikace hydrogenované vody zvyšuje výkon u plavců s ploutvemi zamítáme.

5.2. Hladina laktátu v krvi

Hladina laktátu u skupiny, která užívala HRW se statisticky významně nelišila vzhledem k placebo (ANOVA, $p=0,60$). Po první sérii v případě HRW byla hladina laktátu $12,3 \pm 2,5$ mmol/l a v případě placebo $13,3 \pm 2,4$ mmol/l. Dále po druhé sérii byla hladina laktátu u HRW $14,1 \pm 1,6$ mmol/l a u placebo $14,4 \pm 2,1$ mmol/l. Po poslední, třetí sérii byla u HRW hladina laktátu $14,4 \pm 1,5$ mmol/l a $14,7 \pm 1,3$ mmol/l u placebo. Po 12 minutách od posledních 50 metrů byla opět změřena hladina laktátu po vyplavání a hodnoty u HRW byly $11,2 \pm 2,5$ mmol/l a u placebo $11,0 \pm 2,2$ mmol/l. Můžeme tedy vidět, že hladina laktátu byla v sériích nižší při užití HRW než při užití placebo.



Obrázek 15. Hladina laktátu v krvi.

Tabulka 5. Hladina laktátu v krvi, $n=6$.

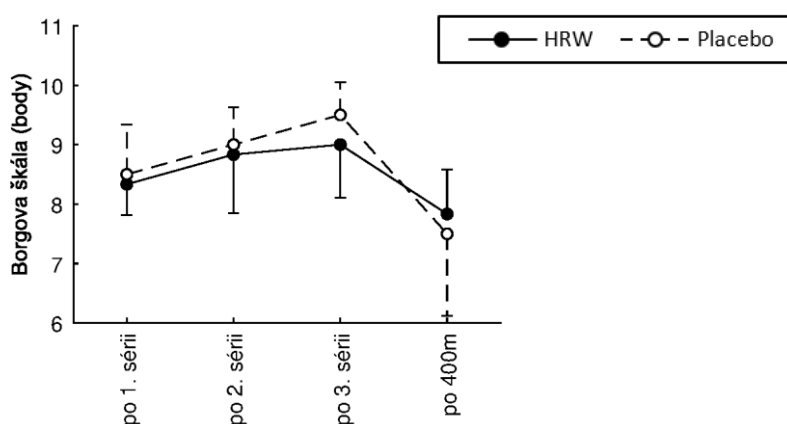
	HRW ± SD	Placebo ± SD	p	d
Po 1. sérii	12,3 ± 2,5	13,3 ± 2,4	0,20	-0,52
Po 2. sérii	14,1 ± 1,6	14,4 ± 2,1	0,64	-0,19
Po 3. sérii	14,4 ± 1,5	14,7 ± 1,3	0,72	-0,15
Po vyplavání	11,2 ± 2,5	11,0 ± 2,2	0,82	0,09

p= statistická významnost, d= Cohenovo d, hladina laktátu udávána v mmol/l.

Naši hypotézu, že užití hydrogenované vody snižuje koncentraci laktátu v krvi zamítáme.

5.3. Borgova škála

Probandi po ukončení každé série maximálního testu ihned hodnotili své subjektivní vnímání námahy podle Borgovi škály 1-10. Po první sérii byla hodnota Borgovi škály u HRW $8,3 \pm 0,5$ oproti hodnotě $8,5 \pm 0,8$ u placebo. Po druhé sérii vyšla hodnota Borgovy škály u HRW $8,8 \pm 1,0$ vzhledem k $9,0 \pm 0,6$ v případě placebo. Po poslední sérii byla hodnota Borgovi škály u HRW $9,0 \pm 0,9$ oproti hodnotě $9,5 \pm 0,5$ u placebo. Průměrné hodnoty Borgovi škály byly při použití HRW vždy nižší, tyto rozdíly však nebyly statisticky významné.



Obrázek 16. Borgova škála.

Tabulka 6. Borgova škála, n=6.

	HRW ± SD	Placebo ± SD	P	d
Po 1. sérii	8,3 ± 0,5	8,5 ± 0,8	0,72	-0,15
Po 2. sérii	8,8 ± 1,0	9,0 ± 0,6	0,72	-0,15
Po 3. sérii	9,0 ± 0,9	9,5 ± 0,5	0,28	-0,45

p= statistická významnost, d= Cohenovo d, Borgova škála 1-10.

Naši hypotézu, že hydrogenovaná voda neovlivní subjektivní vnímání intenzity zatížení potvrzujeme.

6 DISKUZE

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo zjistit vliv hydrogenované vody na výkon, koncentraci laktátu a subjektivní vnímání zátěže. Většina studií se zabývá vlivem hydrogenované vody na konkrétní sport, ale zatím nikdo nezkoumal, jak působí na plavce s ploutvemi. Dílčími cíli bylo posoudit vliv hydrogenované vody na koncentraci laktátu v krvi při zátěži a posouzení vlivu hydrogenované vody na hodnocení subjektivního vnímání intenzity zatížení pomocí Borgovi škály.

Námi vybraný testovaný soubor podstoupil experiment jako randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou, cross over studii. V diplomové práci jsem si zvolila test maximálního úsilí 3x (4x50 metrů), který absolvovali v rámci celého výzkumu dvakrát. Během celého výzkumu jedinci užívali vždy po dobu pěti dní hydrogenovanou vodu nebo placebo, která se v následujícím týdnu nahradila placebem nebo hydrogenovanou vodou, podle toho, jakou užívali v předchozím týdnu.

6.1. Výkon

Bylo prokázáno, že voda obohacena vodíkem (HRW) má účinek proti únavě. Studie Botek et al. (2020) hodnotila běžecký výkon do kopce po suplementaci 1680 ml HRW mezi 24 hodinami a 40 minutami před zahájením experimentu. Pomocí randomizované, dvojitě zaslepené, placebem kontrolované cross over studie účastníci konzumovali buď HRW, nebo placebo před zahájením dvou 4,2 km dlouhých závodů do kopce oddělených jedním týdnem. Po analýze dat pro všechny běžce byl efekt HRW nejasný (-10 až 7 s, 90% interval spolehlivosti). Analýzy však naznačují, že účinek HRW zvyšující výkon (proti únavě) může záviset na výkonnostní schopnosti běžců do vrchů.

Naší výzkumnou hypotézou bylo, jestli aplikace hydrogenované vody má vliv na výkon u plavců s ploutvemi. Tuto hypotézu jsme v naší studii vyvrátili. Probandi absolvovali maximální test 3x (4x50 m) při užití HRW a placebo. Výkon u skupiny, která užívala HRW se bohužel statisticky významně nelišil vzhledem k placebo ($p=0,45$). Ale dalo by se říct, že HRW může mít alespoň věcný význam díky hodnotám Cohenového d ($d=0,45$), který se však nepodařilo statisticky významně prokázat na této studii.

Podle Botek, Krejčí, McKune, Valenta a Sládečková (2021) pozitivní výsledky suplementace HRW na vytrvalostní výkon byly prokázány. Cílem této studie bylo posoudit účinky 1260 ml příjmu HRW na fyziologické, percepční a výkonnostní reakce na trénink, na odpor a po 24 hodinách zotavení. Tato randomizovaná, dvojitě zaslepená, placebem

kontrolovaná zkřížená studie zahrnovala 12 mužů. Subjekty provedly napůl dřep, flexi kolena, a extenzní cviky se zátěží nastavenou na 70 % maxima (10 opakování / sada). Výpady byly prováděny se zátěží 30 % tělesné hmotnosti (20 opakování / sada). Výpady byly prováděny rychleji s HRW ve srovnání s placebem ($p < 0,001$), proto můžeme říct, že akutní přerušovaná hydratace HRW zlepšila funkci svalů a také zmírnila opožděný nástup bolesti svalů.

Mikami et al. (2019) zkoumali účinky H_2 v pitné vodě na vytrvalostní kapacitu v randomizované, dvojité zaslepené, placebem kontrolované studii. V první části experimentu pili všichni účastníci 30 minut před výkonem HRW/placebo. Při prvním experimentu zaznamenali snížení únavy po lehkém fyzickém cvičení na bicyklovém ergonometru u skupiny s HRW. V druhém experimentu byli účastníci podrobeni stejnému cvičení na bicyklovém ergometru, ale podání HRW/placebo bylo 10 minut před výkonem. Při druhém experimentu pozorovali výrazné zlepšení vytrvalosti a snížení únavy ve skupině, která pila HRW. Z jejich experimentu tedy vyplývá, že mělo požití HRW těsně před cvičením pozitivní účinky na snížení únavy a pro podání lepšího vytrvalostního výkonu.

Když naše výsledky přeneseme do praxe, kde rozdíl mezi padesátkami byl v průměru 2-3 desetiny s HRW, tak to může mít význam u plavců s ploutvemi. Na světových a evropských soutěžích na trati 50 metrů rozhodují setiny a desetiny. Proto si myslím, že hydrogenovaná voda má určitý potenciál ve sportu, jelikož 2 desetiny můžou plavce dělit od zlaté medaile například na Mistrovství Světa, Mistrovství Evropy nebo na Olympiádě.

Odborné vyjádření od Zbyňka Svozila na základě e-mailové komunikace ze dne 22. 4. 2021: „Statistika byla ve vašem případě ovlivněna počtem probandů, ale výsledky bych považoval za věcně významné. Výsledky, které jste naměřili s užitím HRW jsou pro praxi užitečné. Na trati 50 metrů 0,2-0,3 sekundy dělá rozdíl mezi medailí a pouhou účastí ve finále například.“

6.2. Hladina laktátu v krvi

Méně dobře je zdokumentován účinek HRW na výkon, zotavení a toleranci k submaximálnímu a maximálnímu cvičení. Tyto studie však naznačují, že HRW může zabránit brzké únavě a snížit hladinu laktátu (Ostojic et al., 2011, & Aoki et al., 2012), zmírnit opožděnou bolest svalů z excentrického cvičení, zabránit poklesu antioxidantních enzymů (Kawamura, 2016) a zlepšit schopnost udržovat špičkový výkon během opakovaných sprintů (Da Ponte, Giovanelli, Nigris, & Lazzer, 2018).

Během zvyšování intenzity cvičení začíná ATP být resyntetizováno anaerobním štěpením sacharidů (glukózy a glykogenu) s konečným metabolickým produktem kyseliny mléčné, která

způsobuje akumulaci H^+ a pokles pH (Brooks, Fahey, White, & Baldwin, 2000). Zvýšení svalové acidózy je považováno za důležitý faktor přispívající k rozvoji únavy periferních svalů, protože acidóza je spojena s inhibicí resyntézy ATP i svalových kontrakcí (Åstrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003). Nedávné studie ukázaly, že H_2 je silný a selektivní antioxidant (Ohta, 2015, Ohsawa, 2007, & Ara, 2018), který může potenciálně chránit mitochondriální funkce proti poškození volnými radikály hydroxylové skupiny během nebo po cvičení.

Naší výzkumnou hypotézou bylo, zda užití hydrogenované vody má pozitivní vliv na koncentraci laktátu v krvi. V našem experimentu se domníváme, že hydrogenovaná voda by se mohla podílet na snížení koncentrace laktátu v krvi při vytrvalostně rychlostním testu u plavců s ploutvemi, nicméně naše výsledné hodnoty jsou statisticky nevýznamné, a proto hypotézu zamítáme. Plavci, kteří užívali placebo měli hodnoty laktátu v sériích ($13,3 \pm 2,4/14,4 \pm 2,1/14,7 \pm 1,3$ mmol/l) a plavci, kteří užívali HRW měli průměrně naměřeny nepatrně nižší hodnoty laktátu ($12,3 \pm 2,5/14,1 \pm 1,6/14,4 \pm 1,5$ mmol/l), které jsou statisticky nevýznamné.

Některé studie tvrdí, že HRW snižuje hladinu laktátu v krvi a další to naopak vyvracejí, záleží na typu zatížení, kterému jsou probandi vystaveni. Například ve studii Ostojic et al. (2011) užívalo 11 sportovců nápoj s alkalickým negativním oxidačním potenciálem (NORP) sedm dní před samotným experimentem. Uvedli, že krevní laktát odebraný po běhu maximální rychlostí, byl významně nižší ve skupině s NORP ($p < 0,05$). Žádní sportovci nehlásili žádné nepříjemné vedlejší účinky suplementace, a proto by mohla mít suplementace NORP pozitivní účinek na lidský výkon během maximálního cvičení. Bohužel podrobné informace o vlastnosti NORP (hodnota rozpuštěného H_2 nebo ORP) nebyly v práci popsány. Ostojic et al. (2011) uvádí, že z praktického hlediska se ukazuje HRW jako prospěšná hydratační strategie pro vytrvalostní sportovce díky své schopnosti snižovat laktát a zvyšovat ventilační účinnost během cvičení se střední až vysokou intenzitou.

Botek et al. (2019) dokonce uvedli ve své studii, že při užívání 600ml HRW 30minut před výkonem byl zjištěn významně nižší laktát v krvi ($4,0 \pm 1,6$ a $8,9 \pm 2,2$ mmol. l^{-1}) ve srovnání s placebem ($5,1 \pm 1,9$ a $10,6 \pm 3,0$ mmol. l^{-1}) při 3,0, respektive 4,0 W. kg^{-1} . Potvrzují tedy, že akutní suplementace HRW 30minut před cvičením snižuje hladinu laktátu v krvi při vyšších intenzitách.

Naproti tomu Da Ponte et al. (2018) prokázali, že užívání 2 litrů HRW denně po dobu dvou týdnů před cvičením zlepšilo výkon v prodloužených opakovaných all-out sprintech prováděných na kole u 8 trénovaných cyklistů. Zajímavé je, že v krvi nebyly žádné významné rozdíly koncentrace laktátu mezi HRW a placebem ($p > 0,05$). Nesoulad mezi zjištěnými

koncentracemi laktátu v krvi během cvičení mezi studií Da Ponte et al. (2018) a studií Botek et al. (2019) můžeme vysvětlit rozdílem v typu cvičení (přerušované versus kontinuální) a také v množství rozpuštěného H_2 a pH v HRW. Ve studii Botek et al. (2019) bylo rozpuštěné množství H_2 v HRW trvale na 0,5 ppm a $pH = 7,4$, zatímco Da Ponte et al. (2018) uváděli, že jejich množství H_2 v HRW se pohybovalo v rozmezí od 0,15 do 0,45 ppm a $pH = 9,8$. Jak můžeme vidět, tak na účinnost HRW má vliv množství rozpuštěného H_2 a také hodnota pH.

Další studie uváděla významně sníženou hladinu laktátu po cvičení u deseti fotbalistů po konzumaci 1,5 litru HRW ($H_2 = 0,9-1,0$ ppm) během 8 hodin před cvičením. Fotbalisti absolvovali 30 minut jízdy na kole při intenzitě 75 % VO_{2max} a poté následovalo 100 opakování maximálního isokinetického prodloužení kolena (předkopávání) (Aoki et al., 2012).

Studie Botek et al. (2021) také potvrdila, že voda bohatá na vodík redukovala laktát v polovině testu (cvičení s odporem) a bezprostředně po cvičení (HRW: $5,3 \pm 2,1$ a $5,1 \pm 2,2$, placebo: $6,5 \pm 1,8$ a $6,3 \pm 2,2$ mmol L^{-1} , $p \leq 0,008$). Můžeme tedy říct, že akutní přerušovaná hydratace HRW snížila laktátovou odpověď.

V naší studii jsme bohužel nedošli k závěru, že hydrogenovaná voda statisticky významně snížila koncentraci laktátu v krvi, ale důvodem mohl být právě nízký počet probandů, které jsme testovali z důvodu opatření týkajících se COVID-19.

6.3. Borgova škála

Vnímání intenzity zatížení je velice specifické a závislé na psychice, motivaci a prahu bolesti každého sportovce. Pro způsob, jakým toto subjektivní vnímání vyjádřit jsme použili Borgovu RPE (Rated Perceived Exertion) škálu, která hodnotí vnímání námahy na stupnici v číselném vyjádření od 1. do 10. stupně.

Dřívější výzkumy ukázaly, že RPE škála je platnou metodou pro kvantifikaci vnitřní tréninkové zátěže při tréninku s odporem. Předkládaná zjištění dále podporují použití RPE, jako platné metody pro kvantifikaci vnitřní tréninkové zátěže při aktivitě založené na vytrvalostním výkonu. (Day, McGuigan, Brice, & Foster, 2004, Sweet, Foster, McGuigan, & Brice, 2004). Předchozí studie naznačují, že RPE škála může poskytnout platnější metodu pro kvantifikaci intenzity tréninku, když jsou aktivovány aerobní i anaerobní systémy (např. u intervalového cvičení). RPE metoda, by také mohla být platnou metodou pro kvantifikaci intenzity zatížení během aktivit s velmi vysokou intenzitou (např. silový trénink, plyometrický trénink a také intervalový trénink s vysokou intenzitou) (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004, Sweet et al., 2004, Foster et al., 2001).

Čím dál tím víc se ale začínají objevovat studie, které naopak vyvrací spolehlivost využití Borgovi metody. Podle studie Botek et al., (2019) výsledky ukazují nízkou úroveň spolehlivosti pro kvantifikaci tréninkového zatížení. Tyto výsledky se podle něj mohou připsat špatné spolehlivosti stupnici CR-10 pro kvantifikaci zátěže. Toto zjištění potvrzují i některé předchozí výzkumy kde se používá RPE metoda ke kvantifikaci vnitřní tréninkové zátěže při odporovém tréninku (Day et al., 2004) nebo také u standardizovaného přerušovaného běžeckého tréninku u hráčů australského fotbalu (Scott, Black, Quinn, & Coutts, 2013). Podle Scot et al., (2013) nahrazení stupnice CR-10 stupnicí 6-20 zvyšuje spolehlivost metody RPE. Nesmíme zapomenout, že na výsledku se také podílí negativní faktory jako je například poškození svalů způsobené předchozím tréninkem, které také mohou ovlivnit vnímání úsilí (Marcora, S. M., & Bosio, A. (2007).

Naší výzkumnou hypotézou bylo, že hydrogenovaná voda neovlivní subjektivní vnímání zatížení. Z výsledků našeho experimentu se v průměru hodnoty významně nelišily. Průměrné hodnoty Borgovi škály byly při užití Placeba v daných sériích ($8,5 \pm 0,8/9,0 \pm 0,6/9,5 \pm 0,5$) a při užití HRW ($8,3 \pm 0,5/8,8 \pm 1,0/9,0 \pm 0,9$). Tato hodnota byla na Borgově škále vyjádřena slovy jako velmi vysoká až extrémní zátěž. Můžeme říct, že užití hydrogenované vody má vliv na subjektivní vnímání intenzity zatížení, který ale nemá statistický význam.

Podle Botek et al., (2019) nižší vnímané úsilí s příjmem hydrogenované vody (HRW) může souviset s nižší svalovou acidózou vyvolanou HRW, která následně vyvolala při nižší produkci CO₂ pufrovacím systémem nižší ventilační reakci. Na základě toho můžeme říct, že požití HRW před cvičením může vytvořit subjektivně větší toleranci k intenzivnímu cvičení. Na druhou stranu věří, že praktické zvážení rozdílů v úrovni RPE by nemělo být přeceňováno. Cílem této studie bylo posoudit fyziologické a vjemové odpovědi na cvičení po podání 600ml HRW 30 minut před výkonem. Ventilační ekvivalent pro kyslík a RPE vykazoval významně nižší hodnoty s HRW ($32,3 \pm 7,2$, respektive $17,8 \pm 1,2$ bodu) ve srovnání s placebem ($35,0 \pm 8,4$ a $18,5 \pm 0,8$ bodu) při $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$. Z toho vyplývá, že akutní suplementace HRW před cvičením zlepšila vnímání námahy vyvolané cvičením a ventilační účinnost.

Ostojic et al. (2011) uváděli ve své studii také nižší hodnoty RPE během maximálního úsilí. Sedm dní před samotným experimentem užívalo denně jedenáct sportovců 1 litr nápoje s alkalickým negativním oxidačním potenciálem (NORP). Z praktického hlediska se ukazují HRW jako prospěšná hydratační strategie pro vytrvalostní sportovce díky své schopnosti snižovat RPE.

V poslední době se subjektivní hodnocení zátěže považuje za nejméně spolehlivé, jelikož úzce souvisí s motivací k podání výkonu. Pokud je motivace malá, člověk se cítí vyčerpan a podle objektivních ukazatelů nepodá maximální výkon (Scot et al., 2013, Ostojic et al., 2011).

V naší studii jsme došli k závěru, že užití hydrogenované vody má vliv na subjektivní vnímání intenzity zatížení, nemá ale statistický význam. Statistickou nevýznamnost můžeme přisuzovat hlavně malému vzorku probandů, kteří se zúčastnili výzkumu.

7 ZÁVĚRY

Můžeme říct, že se nám v našem výzkumu podařilo splnit hlavní i dílčí cíle a také jsme potvrdili nebo zamítli stanovené hypotézy.

První hypotéza byla, zda aplikace hydrogenované vody zvyšuje výkon u plavců s ploutvemi. Výkon u skupiny, která užívala HRW se statisticky významně nelišil vzhledem k placebo ($p=0,45$). Probandi, kteří užívali hydrogenovanou vodu plavali o 0,2-0,3s rychleji než probandi, kteří užívali placebo, ale tento rozdíl nebyl statisticky významný, proto hypotézu zamítáme.

Druhá hypotéza, měla zjistit, jestli užití hydrogenované vody snižuje koncentraci laktátu v krvi. V našem experimentu probandi, kteří užívali HRW měli nižší laktát než probandi užívající placebo, ale rozdíl byl statisticky nevýznamný. Proto jsme i druhou hypotézu zamítli.

Třetí hypotézou bylo, jestli hydrogenovaná voda neovlivní subjektivní vnímání intenzity zatížení. Během našeho výzkumu byly hodnoty subjektivně vnímané intenzity zatížení nižší při užití HRW než u probandů, kteří užívali placebo, ale tento rozdíl nebyl statisticky významný, a proto tuto hypotézu potvrzujeme.

Výsledky, které jsme v diplomové práci uvedli, jsou ovlivněny opatřeními týkajícími se COVID-19, jelikož jsme stihli otestovat pouze 6 probandů.

8 SOUHRN

Hydrogenovaná voda díky svým antioxidačním vlastnostem by mohla být přínosem pro medicínskou praxi, ale také pro sportovní oblast. Cílem této diplomové práce bylo zjistit jaký vliv má hydrogenovaná voda na výkon, na koncentraci laktátu v krvi a na subjektivní vnímání intenzity zatížení u plavců s ploutvemi.

Experimentální soubor byl malý z důvodu opatření týkajících se COVID-19. Experimentu se zúčastnilo 6 probandů z klubu KSP Olomouc (1 muž a 5 žen) ve věku $21,3 \pm 6,2$ let, hmotností $61,7 \pm 7,9$ kg a výškou $166,3 \pm 9,7$ cm. Všichni probandi podstoupili dvakrát experimentální, maximální test 3x (4x50 m) jednou při užití HRW a podruhé s placebem. Druhý maximální test proběhl s odstupem jednoho týdne. Výběr tekutiny proběhl náhodným výběrem samotnými probandy. Celkové tělesné složení a další somatické informace byly měřeny pomocí přístroje In Body 720 (InBody, Seoul, Korea). K měření výkonu na bazénu jsme použili stopky Casio H8-80TW. Časy měřili tři časoměřiči na setiny a počítal se vždy prostřední čas. K měření hladiny laktátu v krvi byl použit přístroj Lactate Scout⁺ a lancety Verifine. A pro posouzení subjektivního vnímání zatížení jsme použili Borgovu škálu na stupnici od 1 do 10. Celý výzkum byl proveden v prostorách Aplikačního centra Baluo.

V naší studii nebyl zjištěn statisticky významný vliv užití HRW na výkon, hladiny laktátu a ani v subjektivním vnímání intenzity zatížení u plavců s ploutvemi. Toto zjištění mohla ovlivnit velikost našeho souboru, který byl malý z důvodu koronavirové pandemie. Výkon u plavců s ploutvemi, kteří užívali HRW sice nebyl statisticky významný, ale v praxi by užívání HRW mělo mít potenciál k podání lepšího výkonu.

9 SUMMARY

Hydrogenated water thanks to its antioxidant properties could be beneficial for medical practice but also for sports. The aim of this masters thesis was to determine the effect of hydrogenated water on performance, on the concentration of lactate in the blood and on the subjective perception of load intensity in swimmers.

The experiment sample was small due to COVID-19. The experiment was attended by 6 probands from the KSP Olomouc club (1 man and 5 women) aged $21,3 \pm 6,2$ years, weighing $61,7 \pm 7,9$ kg and height $166,3 \pm 9,7$ cm. All subjects underwent two experimental maximum tests 3x (4x50 m) once with HRW and then with placebo. The second maximum test was performed one week after the first. The fluid was selected at random by the probands themselves. Total body composition and other somatic information were measured using an InBody 720 instrument (InBody, Seoul, Korea). We used a Casio H8-80TW stopwatch to measure performance in the pool. Times were measured by three timekeepers in hundredths, and the mean time was always counted. A Lactate Scout + and Verifine lancets were used to measure blood lactate levels. And to assess the subjective perception of the load, we used the Borg scale on a scale from 1 to 10. The entire research was conducted in the premises of the Baluo Application Center.

In our study, no statistically significant effect of HRW use on performance, lactate levels or in the subjective perception of load intensity in finswimmers was found. This finding may have been affected by the size of our sample, which was small due to the coronavirus pandemic. The performance of finswimmers who used HRW was not statistically significant, but in practice the use of HRW should have the potential to provide better performance.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Aoki, K., Nakao, A., Adachi, T., Matsui, Y., & Miyakawa, S. (2012). Pilot study: Effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Medical Gas Research*, 2. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-12>
- Ara J, Fadriuela A, Ahmed MF, Bajgai J, Sajo MEJ, Lee SP, Kim TS, Jung JY, Kim CS, Kim S-K, Shim KY, Lee K-J (2018). Hydrogen water drinking exerts antifatigue effects in chronic forced swimming mice via antioxidative and anti-inflammatory activities. *Biomed Res Int*; 2018: 2571269
- Åstrand, P-O., Rodahl, K., Dahl, H. A., Strømme, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. 4th ed. New York, NY: McGraw Hill
- Bartůňková, S. (2010). *Stres a jeho mechanismy* (1. vyd.). Karolinum.
- Bartůňková, S. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů* (1. vydání). Univerzita Karlova v Praze.
- Baumann, L., & Studhalter, M. (2020). Die Lactatazidose und andere Missverständnisse. *Praxis (16618157)*, 109(12), 979–983. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003508>
- Botek, M., Krejčí, J., McKune, A. J., & Sládečková, B. (2020). Hydrogen-Rich Water Supplementation and Up-Hill Running Performance: Effect of Athlete Performance Level. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 15(8), 1193.
- Botek, M., Krejčí, J., McKune, A. J., Sládečková, B., & Naumovski, N. (2019). Hydrogen Rich Water Improved Ventilatory, Perceptual and Lactate Responses to Exercise. *International journal of sports medicine*, 40(14), 879–885. <https://doi.org/10.1055/a-0991-0268>
- Botek, M., Krejčí, J., McKune, A., Valenta, M., & Sládečková, B. (2021). Hydrogen Rich Water Consumption Positively Affects Muscle Performance, Lactate Response, and Alleviates Delayed Onset of Muscle Soreness After Resistance Training. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000003979. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003979>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)* (Část I.). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., White, T. P., Baldwin, K. M. (2000). *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications*. 3rd ed. Mayfield, CA; Mountain View

- Cejka, C., Kubinova, S., & Cejkova, J. (2019). The preventive and therapeutic effects of molecular hydrogen in ocular diseases and injuries where oxidative stress is involved. *Free Radical Research*, 53(3), 237–247. <https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1582770>
- Čechovská, I., & Dobrý, L. (2008). Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití. *Tělesná výchova a sport mládeže*, 74(3)
- Čechovská, I., & Miler, T. (2008). *Plavání* (2., přeprac. vyd.). Grada Publishing.
- Čechovská, I., Pokorná, J., & Jurák, D. (2018). *Plavání: pohybový trénink ve vodě* (2. vydání). Karolinum.
- Čuříková, L. (2014). *Vodní sporty a zábavné formy plavání* [Vysokoškolská skripta].
- Da Ponte, A., Giovanelli, N., Lazzer, S., & Nigris, D. (2018). Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 612–621. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06883-9>
- Da Ponte, A., Giovanelli, N., Nigris, D., & Lazzer, S. (2018). Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(5), 612–621. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06883-9>
- Day, M. L., Mcguigan, M. R., Brice, G., & Foster, C. (2004). Monitoring Exercise Intensity during Resistance Training Using the Session Rpe Scale. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 353–358.
- Foster, C., Florhaug, J., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of strength and conditioning research*, 15(1), 109–115.
- Gearhart Jr., R. F., Goss, F. L., Lagally, K. M., Jakicic, J. M., Gallagher, J., Gallagher, K. I., & Robertson, R. J. (2002). Ratings of perceived exertion in active muscle during high-intensity and low-intensity resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 87–91. <https://doi.org/10.1519/00124278-200202000-00013>
- Hall, M. M., Rajasekaran, S., Thomsen, T. W., & Peterson, A. R. (2016). Lactate: Friend or Foe. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 8(3 Suppl), S8–S15. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.10.018>
- Hanaoka, T., Kamimura, N., Yokota, T., Takai, S., & Ohta, S. (2011). Molecular hydrogen protects chondrocytes from oxidative stress and indirectly alters gene expressions through reducing peroxynitrite derived from nitric oxide. *Medical Gas Research*, 1(1), 18. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-1-18>

- Hong, Y., Chen, S., & Zhang, J.-M. (2010). Hydrogen as a Selective Antioxidant: a Review of Clinical and Experimental Studies. *Journal of international medical research*, 38(6), 1893–1903.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(1), 3.
- Hori, A., Ichihara, M., Kimura, H., Ogata, H., Kondo, T., & Hotta, N. (2020). Inhalation of molecular hydrogen increases breath acetone excretion during submaximal exercise: a randomized, single-blinded, placebo-controlled study. *Medical gas research*, 10(3), 96–102. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.296038>
http://www.ploutve.info/dokumenty/Pravidla_PP_2018_1.pdf
- Huang, C.-S., Kawamura, T., Toyoda, Y., & Nakao, A. (2010). Recent advances in hydrogen research as a therapeutic medical gas. *Free Radical Research*, 44(9), 971–982. <https://doi.org/10.3109/10715762.2010.500328>
- Hylemon, P. B., Harris, S. C., & Ridlon, J. M. (2018). Metabolism of hydrogen gases and bile acids in the gut microbiome. *FEBS letters*, 592(12), 2070–2082. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.13064>
- Impellizzeri, F. M., Borg, E., & Coutts, A. J. (2011). Intersubjective comparisons are possible with an accurate use of the Borg CR scales. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 2–4. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.2>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042–1047. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128199.23901.2f>
- Jančík, J., Závodná, E., & Novotná, M. (2006). *Fyziologie tělesné zátěže–vybrané kapitoly*. Fakulta sportovních studií MU. Brno: Servisní středisko pro podporu e-learningu na MU, 21-28.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>
- Kawamura, T., & Muraoka, I. (2018). Exercise-Induced Oxidative Stress and the Effects of Antioxidant Intake from a Physiological Viewpoint. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 7(9), 119. <https://doi.org/10.3390/antiox7090119>

- Kawamura, T., Gando, Y., Takahashi, M., Hara, R., Suzuki, K., & Muraoka, I. (2016). Effects of hydrogen bathing on exercise-induced oxidative stress and delayed-onset muscle soreness. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 65(3), 297–305. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.65.297>
- Kawamura, T., Higashida, K., & Muraoka, I. (2020). Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 2328768. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>
- Langmeier, M. (2009). *Základy lékařské fyziologie* (1. elektronické vydání). Grada.
- LeBaron, T. W., Laher, I., Kura, B., & Slezak, J. (2019). Hydrogen gas: from clinical medicine to an emerging ergogenic molecule for sports athletes 1. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(9), 797–807. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0067>
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., Neuls, F., Ješina, O., Hůlka, K., Viktorjeník, D., Langer, F., Kratochvíl, J., Rozsypal, R., & Šťastný, P. (2014). *Sportovní trénink I. vyd.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, ISBN 978-80-244-4330-0 (e-kniha)
- Lehnert, M., Langer, F., Botek, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2010). *Trénink kondice ve sportu* (1. vydání). Univerzita Palackého v Olomouci
Liberec: Technická univerzita.
- Lucas, K., Rosch, M., & Langguth, P. (2020). Molecular hydrogen (H₂) as a potential treatment for acute and chronic fatigue. *Archiv der Pharmazie*, e2000378. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ardp.202000378>
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity* (1. vyd.). Galén.
- Maffetone, P., & Laursen, P. B. (2020). Maximum Aerobic Function: Clinical Relevance, Physiological Underpinnings, and Practical Application. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00296>
- Marangoz, Ī. (2020). A different approach to the determination of aerobic capacity: Relative endurance method. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 9(8), 42-46. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/2446727893?accountid=16730>
- Marcora, S. M., & Bosio, A. (2007). Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(6), 662–671. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00627.x>
- Maršálek, K. (1997). *Průběh kinematického řetězce lidského těla při plavání s monoploutví*. Diplomová práce, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova v Praze.

- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Michael J., J., & Edward F., C. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35–44.
- Mikami, T., Tano, K., Lee, H., Lee, H., Park, J., Ohta, F., LeBaron, T. W., & Ohta, S. (2019). Drinking hydrogen water enhances endurance and relieves psychometric fatigue: a randomized, double-blind, placebo-controlled study 1. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(9), 857–862. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0059>
- Modric, T., Versic, S., & Sekulic, D. (2020). Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations. *Heliyon*, 6(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05427>
- Murakami, Y., Ohsawa, I., & Ito, M. (2017). Molecular hydrogen protects against oxidative stress-induced SH-SY5Y neuroblastoma cell death through the process of mitohormesis. *PLoS ONE*, 12(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176992>
- Mysliveček, J., & Riljak, V. (2020). *Fyziologie : repetitorium*. Stanislav Juhaňák - Triton.
- Nagatani, K., Nawashiro, H., Takeuchi, S., Tomura, S., Otani, N., Osada, H., Wada, K., Katoh, H., Tsuzuki, N., & Mori, K. (2013). Safety of intravenous administration of hydrogen-enriched fluid in patients with acute cerebral ischemia: initial clinical studies. *Medical Gas Research*, 3. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-3-13>
- národní pravidla České republiky*. Retrieved 2.11.2020 from the World Wide Web
- Neumann, G., Tvrzník, A., Hottenrott, K., & Pfützner, A. (2005). *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku* (1. vyd.). Grada Publishing
- Newcomb, L. W., Koltyn, K. F., Morgan, W. P., & Cook, D. B. (2011). Influence of preferred versus prescribed exercise on pain in fibromyalgia. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(6), 1106–1113. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182061b49>
- Nogueira, J. E., Amorim, M. R., Pinto, A. P., da Rocha, A. L., da Silva, A., & Branco, L. (2020). Molecular hydrogen downregulates acute exhaustive exercise-induced skeletal muscle damage. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 10.1139/cjpp-2020-0297. Advance online publication. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2020-0297>
- Oharazawa, H., Fujii, H., Igarashi, T., Suzuki, H., Takahashi, H., Yokota, T., Machide, M., Ohsawa, I., & Ohta, S. (2010). Protection of the retina by rapid diffusion of hydrogen: Administration of hydrogen-loaded eye drops in retinal ischemia-reperfusion

- injury. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 51(1), 487–492. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-4089>
- Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K., Katayama, Y., Asoh, S., & Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13(6), 688–694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
- Ohta S. (2014). Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. *Pharmacology & therapeutics*, 144(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006>
- Ohta, S. (2011). Recent progress toward hydrogen medicine: Potential of molecular hydrogen for preventive and therapeutic applications. *Current Pharmaceutical Design*, 17(22), 2241–2252. <https://doi.org/10.2174/138161211797052664>
- Ohta, S. (2014). Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. *Pharmacology and Therapeutics*, 144(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006>
- Ohta, S. (2015). Molecular hydrogen as a novel antioxidant: overview of the advantages of hydrogen for medical applications. *Methods in enzymology*, 555, 289-317.
- Ooi, C. H., Ng, S. K., & Omar, E. A. (2020). Acute ingestion of hydrogen-rich water does not improve incremental treadmill running performance in endurance-trained athletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 45(5), 513–519. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0553>
- Ostojic S. M. (2015). Molecular hydrogen in sports medicine: new therapeutic perspectives. *International journal of sports medicine*, 36(4), 273–279. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395509>
- Ostojić, S. M., Stojanović, M. D., Calleja-Gonzalez, J., Obrenović, M. D., Veljović, D., Medjedović, B., Kanostrevac, K., Stojanović, M., & Vukomanović, B. (2011). Drinks with Alkaline Negative Oxidative Reduction Potential Improve Exercise Performance in Physically Active Men and Women: Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled, Cross-Over Trial of Efficacy and Safety. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 5(3), 83–89.
- Pantovic, M., Jevtic, N., Magoc, D., Obradovic, J., Madic, D., & Howatson, G. (2016). Molecular Hydrogen Supplementation and Multiple Sprint Running Performance; a Pilot Investigation.: 903 Board #219 June 1, 3: 30 PM - 5: 00 PM. *Medicine & Science in*

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000485766.21001.be>

- Pereira da Silva, R., Izais Marcelo, H., Leite Lemos, D., Tetila Felix, M., Chaccon Castoldi, R., & Carvalho Zanuto, E. A. (2020). Concentrações De Lactato, Creatinaquinase E Lactatodesidrogenase Em Jogadores De Futebol Amador Expostos a Crioterapia Por Imersão E Eficiência Da Percepção Subjetiva Do Esforço. / Lactate, Creatine Kinase, and Lactate Dehydrogenase Concentrations in Amateur Soccer Players Exposed to Immersion Cryotherapy and Efficiency of the Subjective Perception of Effort. *Brazilian Journal of Soccer Science / Revista Brasileira de Futebol*, 13(3), 17–28.
- Persson, P. B., & Bondke Persson, A. (2016). Fatigue. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 218(1), 3–4. <https://doi.org/10.1111/apha.12756>
- Phillips, Ross O. (2015). A review of definitions of fatigue – And a step towards a whole definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, roč. 29, s. 48-56. ISSN 1369-8478.
- Placheta, Z. (2001). *Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství* (1. vyd.). Masarykova univerzita. *Potápění*. Praha: Grada.
- Ramos-Favaretto, F. S., Fukushiro, A. P., Scarmagnani, R. H., & Yamashita, R. P. (2019). Borg scale: a new method for hypernasality rating. *CoDAS*, 31(6), e20180296. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20192018296>
- Rothschild, J. A., & Bishop, D. J. (2020). Effects of Dietary Supplements on Adaptations to Endurance Training. *Sports Medicine*, 50(1), 25. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01185-8>
- Scott, T. J., Black, C. R., Quinn, J., & Coutts, A. J. (2013). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *Journal of strength and conditioning research*, 27(1), 270–276. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d2e>
- Scott, T. J., Black, C. R., Quinn, J., & Coutts, A. J. (2013). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *Journal of strength and conditioning research*, 27(1), 270–276. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d2e>
- Slezák, J., Kura, B., Frimmel, K., Zálešák, M., Ravingerová, T., Vicenczová, C., Okruhlicová, Ľ., & Tribulová, N. (2016). Preventive and therapeutic application of molecular hydrogen

- in situations with excessive production of free radicals. *Physiological research*, 65 Suppl 1, S11–S28. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933414>
- Svaz potápěčů České republiky (2018). Plavání s ploutvemi. *Mezinárodní pravidla a*
- Svaz potápěčů Moravy a Slezska (2015). Ploutvové plavání – moderní sport. Retrived 2.11.2020 from World Wide Web: <http://www.spms.cz/plavani-s-ploutvemi/detail/1/pp-ploutvove-plavani-moderni-sport>
- Svozil, Z. (2005). *Plavání s ploutvemi a rychlostní potápění*. In Z. Dvořáková (Ed.),
- Svozil, Z., & Smolík, P. (2001). Plavání s ploutvemi-učební postup. In *Sport v České republice na začátku nového tisíciletí*. Praha: Karolinum
- Sweet, T., Foster, C., McGuigan, M., & Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *Journal of strength and conditioning research*, 18(4), 796–802.
- Todorovic, N., Javorac, D., Stajer, V., & Ostojic, S. M. (2020). The Effects of Supersaturated Hydrogen-Rich Water Bathing on Biomarkers of Muscular Damage and Soreness Perception in Young Men Subjected to High-Intensity Eccentric Exercise. *Journal of Sports Medicine (Hindawi Publishing Corporation)*, 2020, 8836070. <https://doi.org/10.1155/2020/8836070>
- Tuka, V., & Slabý, K. (2020). Adaptace kardiovaskulárního systému na sportovní zátěž-
atletické srdce. *Cor et Vasa*, 62(4), 354-356.
- Vobr, P. R. (2013). *Antropomotorika*. Brno: Masarykova univerzita.
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2014). Establishing the criterion validity and reliability of common methods for quantifying training load. *Journal of strength and conditioning research*, 28(8), 2330–2337. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000416>
- Yao, H.-T., Yang, Y.-H., & Li, M.-L. (2019). Intake of Molecular Hydrogen in Drinking Water Increases Membrane Transporters, p -Glycoprotein, and Multidrug Resistance-Associated Protein 2 without Affecting Xenobiotic-Metabolizing Enzymes in Rat Liver. *Molecules* (Basel, Switzerland), 24(14). <https://doi.org/10.3390/molecules24142627>
- Zahradník, D., & Korvas, P. (2012). *Základy sportovního tréninku*. Masarykova univerzita, Brno.