

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

**VLIV MOLEKULÁRNÍHO VODÍKU NA SUBJEKTIVNĚ VNÍMANOU  
SVALOVOU BOLEST PO INTENZIVNÍM ZATÍŽENÍ U ELITNÍCH  
PLAVCŮ S PLOUTVEMI**

Bakalářská práce

Autor: Petra Polišenská

Studijní program: Tělesná výchova se zaměřením na vzdělávání/  
Ekonomicko-manažerská studia

Vedoucí práce: Mgr. Barbora Sládečková

Olomouc 2023



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Petra Polišenská

**Název práce:** Vliv molekulárního vodíku na subjektivně vnímanou svalovou bolest po intenzivním zatížení u elitních plavců s ploutvemi

**Vedoucí práce:** Mgr. Barbora Sládečková

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2023

### **Abstrakt:**

Pozitivní efekt na subjektivní markery po administraci molekulárního vodíku (H<sub>2</sub>), byl prokázán u různých typů zatížení. Avšak velmi málo studií se zabývá vlivem H<sub>2</sub> v rámci dvoufázového zatížení a žádná z těchto studií se nezaměřuje na plavce nebo plavce s ploutvemi. Cílem bakalářské práce bylo posoudit vliv administrace vody obohacené o molekulární vodík (HRW) na subjektivně vnímanou svalovou bolest během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi. Dílčími cíli práce bylo posoudit vliv administrace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest v poloze dřep, v poloze sed a následně pak porovnání rozdílů mezi nimi. Výzkum byl proveden dvojitě zaslepenou, randomizovanou, cross-over metodou a zahrnoval 12 elitních plavců s ploutvemi (4 muži a 8 žen) ve věku 17–30 let. Probandi absolvovali dvě totožná testování, kdy každé z nich obsahovalo dvě zatížení v plaveckém bazénu. Tréninková jednotka 1 měla charakter vysoce intenzivního intervalového zatížení a tréninková jednotka 2 obsahovala 400m kontinuální závodní zatížení. Z výsledků můžeme konstatovat, že zvolená administrace HRW, narozdíl od placebo, prokázala pozitivní efekt na subjektivně vnímanou svalovou bolest ve 12. hod regenerace ( $p = 0,045$ ) v případě hodnocení v poloze dřep. Při hodnocení v poloze sed nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly mezi HRW a placebem, zároveň však provedená statistická analýza prokázala významný rozdíl mezi hodnocením v poloze dřep a sed ve všech sledovaných časech. Na základě získaných výsledku lze konstatovat, že použitá strategie administrace HRW snižuje projevy opožděné svalové bolesti a urychluje tak regeneraci.

### **Klíčová slova:**

Hydrogenovaná voda, svalová bolest, vizuální analogová škála, plavání s ploutvemi, opožděná svalová bolest

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Petra Polišíenská  
**Title:** The effect of molecular hydrogen on subjective perceived muscle pain after intensive load in elite finswimmers

**Supervisor:** Mgr. Barbora Sládečková  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Year:** 2023

### **Abstract:**

The positive effect on subjective markers after administration of molecular hydrogen (H<sub>2</sub>) has been demonstrated for different types of load. However, very few studies have addressed the effect of H<sub>2</sub> under biphasic loading and none of these studies have focused on swimmers or finswimmers. The aim of this undergraduate thesis was to assess the effect of administration of molecular hydrogen-enriched water (HRW) on subjectively perceived muscle pain during biphasic loading and subsequent 24 h recovery in elite swimmers with fins. The sub-objectives of this study were to assess the effect of HRW administration on subjectively perceived muscle pain in the squatting position, the sitting position and then to compare the differences between them. The study was conducted using a double-blind, randomized, cross-over design and included 12 elite finswimmers (4 males and 8 females) aged 17-30 years. Subjects completed two identical testing sessions, each involving two loads in the swimming pool. Training unit 1 was a high-intensity interval load and training unit 2 contained a 400m continuous race load. From the results we can conclude that the chosen administration of HRW, in contrast to placebo, showed a positive effect on subjectively perceived muscle pain at the 12th hour of recovery ( $p = 0.045$ ). No statistically significant differences were observed between HRW and placebo in the squatting position, but the statistical analysis showed a significant difference between the squatting and sitting position at all monitored times. Based on the results obtained, it can be concluded that the HRW administration strategy used reduces the manifestations of delayed muscle pain and thus accelerates recovery.

### **Keywords:**

Hydrogen-rich water, subjectively perceived muscle pain, visual analogue scale, finswimming, delayed onset muscle soreness

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Barbory Sládečkové, uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. června 2023

.....

Děkuji mé vedoucí práce Mgr. Barboře Sládečkové za vedení, pomoc, cenné rady a čas, který mi věnovala při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji RNDr. Jakubu Krejčímu, Ph.D. za statistické zpracování dat a děkuji všem probandům, kteří se podíleli na výzkumu.

## OBSAH

Obsah.....	7
1 Úvod .....	9
2 Přehled poznatků .....	10
2.1 Molekulární vodík .....	10
2.1.1 Užití molekulárního vodíku ve sportu .....	11
2.1.2 Metody příjmu molekulárního vodíku .....	12
2.2 Plavání s ploutvemi .....	13
2.2.1 Plavání s ploutvemi a jeho disciplíny .....	14
2.2.2 Základní vybavení .....	15
2.3 Psychometrické ukazatelé.....	18
2.3.1 Subjektivně vnímaná svalová bolest.....	18
2.3.2 Opožděná svalová bolest.....	19
2.3.3 Vizuální analogová stupnice (VAS).....	20
3 Cíle.....	22
3.1 Hlavní cíl.....	22
3.2 Dílčí cíle .....	22
3.3 Výzkumné otázky .....	22
4 Metodika.....	23
4.1 Charakteristika výzkumného souboru.....	23
4.2 Design studie .....	24
4.3 Etické aspekty výzkumu.....	25
4.4 Metodika sběru dat.....	25
4.5 Použité metody testování a přístroje .....	26
4.6 Statistické zpracování dat .....	27
4.7 Limity studie .....	28
5 Výsledky.....	29
5.1 Hodnocení suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze dřep .....	29

5.2	Hodnocení suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze sed.....	30
5.3	Porovnání hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed a dřep.....	31
6	Diskuse .....	32
7	Závěry.....	34
8	Souhrn.....	35
9	Summary.....	36
10	Referenční seznam .....	37
11	Přílohy .....	45
11.1	Vyjádření Etické komise FTK UP .....	45



# 1 ÚVOD

Plavání s ploutvemi se závodně věnuji od svých pěti let a aktuálně také jako trenér dětí a mládeže. Jedná se o technický sport ve vodním prostředí, při kterém dochází k zapojení celého těla. Nedílnou součástí pohybu ve vodě je monoploutev, ploutve bi-fins, dýchací trubice nebo dýchací přístroj. Po několika letech náročné tréninkové přípravy musím poukázat na náročnost pohybu a celého tréninkového procesu. Stejně jako v jiných sportech, se i v plavání s ploutvemi stále hledají prostředky a metody, jak tréninkový proces zefektivnit a zkvalitnit. Vědeckých poznatků je z oblasti plavání s ploutvemi velmi málo, a proto jsem se rozhodla rozšířit tyto poznatky ve své bakalářské práci. V tomto ohledu mě zaujalo téma molekulárního vodíku ( $H_2$ ), jehož prozatím doložené účinky vzbuzují stále větší zájem u sportovců i trenérů různých sportovních odvětví.

Na počátku byl  $H_2$  považován za nefunkční a inertní plyn, nicméně díky své malé velikosti a schopnosti velmi rychle pronikat do buněk organismu se stal předmětem zkoumání v klinických podmínkách (Ostojic, 2015). Klinické studie prokázaly protizánětlivé (Ichihara et al., 2015), antiapoptické (Li et al., 2022), antioxidační (Ohsawa et al., 2007) a alkalizační (Ohsawa et al., 2007) účinky  $H_2$ . Tyto vlastnosti vzbudily zájem u odborníků ve sportovní oblasti. Aktuální sportovní studie sledující vliv  $H_2$  prezentují laktát snižující efekt (Aoki et al., 2012) nebo lepší ventilační a percepční odpověď organismu na zvyšující se zatížení (Botek et al., 2019). Pozitivní vliv vody obohacené o  $H_2$  (HRW) na svalovou odolnost byl prezentován u silového tréninku (Botek, et al., 2022) nebo běžeckých sprintů (Botek, et al., 2022). Lepší subjektivní vnímání svalové bolesti po silovém tréninku prezentoval Botek et al., 2022.

$H_2$  ve sportovní oblasti je téma stále málo prozkoumané. Předložená práce rozšiřuje poznatky o vlivu HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest u elitních plavců s ploutvemi v rámci dvoufázového zatížení a následného 24 hod zotavení. Výsledky z této studie by mohly vzbudit zájem u sportovců na všech úrovních výkonnosti.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Molekulární vodík

Molekulární vodík ( $H_2$ ) je minimální molekula bez zápachu, barvy, chuti a má vysokou hořlavost při teplotách nad  $570^\circ C$  (Huang et al., 2010).  $H_2$  byl mnoho let považován za inertní plyn v živých organismech. Jedná se o nejmenší molekulu, u které dochází k snadnému přenosu přes buněčnou membránu a rychle se tak pomocí difúze dostane do ostatních organel. U  $H_2$  byla také prokázána silná chemická afinita neboli schopnost reagovat s jiným atomem nebo sloučeninou (Ostojic, 2015). Podle studií, můžeme  $H_2$  do organismus přijmou několika způsoby jako například orálním příjmem hydrogenované vody (HRW), inhalací  $H_2$ , prostřednictvím  $H_2$  koupelí, nitrožilním podáním nebo formou očních kapek (Kawamura et al., 2020). Formy příjmu  $H_2$  do organismu detailně popisuje kapitola 3.1.2 „Metody příjmu molekulárního vodíku“.

Klinické studie prokázaly protizánětlivé (Ichihara et al., 2015), antiapoptické (Li et al., 2022) a selektivní antioxidační (Ohsawa et al., 2007) účinky. Antioxidační účinky byly prokázány ve studii na zvířatech, kde inhalace  $H_2$  významně snižovala oxidační stres (Ohsawa et al., 2007). V této studii autoři prezentovali schopnost  $H_2$  reagovat s cytotoxickými reaktivními formami kyslíku (ROS) a dusíku (RNS) a tím potlačovat vzniklé oxidativní poškození. ROS a RNS se za normálních fyziologických podmínek vyskytují v buňkách v nízké koncentraci a nezpůsobují tak nadměrné buněčné poškození. Hladiny těchto potencionálně nebezpečných volných radikálů jsou udržovány pod kontrolou endogenních antioxidačních systémů, které upravují redoxní stav buněk (Lipinski, 2011; Schieber & Chandel, 2014). Když koncentrace ROS a RNS přesáhne schopnost neutralizace, dochází k oxidativnímu stresu a poškození buněk. K nadměrné produkci ROS a RNS dochází v patologických stavech, ale také například při vystavení lidského organismu fyzickému stresu (Nicolson et al., 2016). Antioxidační vlastnosti  $H_2$  byly prokázány u nemocí, které jsou oxidačním stresem způsobené. Jedná se zejména o nemoci jako je rakovina, cukrovka, mrtvice nebo Alzheimerova choroba (Kawamura et al., 2020). Dále pak revmatoidní artritida (Ishibashi, 2013), chronická hepatitida B (Xia et al., 2013) nebo Parkinsonova choroba (Yoritaka et al., 2013). Ačkoliv je v současné době omezené množství studií na lidském organismu, přesto je u spousty z nich pozitivní účinek  $H_2$  prokázán. Terapeutický potenciál  $H_2$  u nemocí shrnuje Nicolson et al. (2016) ve svém vědeckém článku, kde navíc prezentuje pozitivní vliv  $H_2$  při léčbě zánětů, obezity, hemodialýzy, autoimunitních, kardiovaskulárních a neuromuskulárních onemocnění.

Důkazem je také studie autorů Nakashima-Kamimura et al. (2009) kde byl testován vliv  $H_2$  při léčení rakoviny pomocí chemoterapie. Studie prováděná na myších a potkanech

prokázala, že H<sub>2</sub> napomáhá organismu lépe snášet dávku chemoterapie, zlepšila mortalitu a úbytek tělesné hmotnosti způsobené právě chemoterapickou látkou. Účinek se projevil i v ledvinách kde H<sub>2</sub> značně zmírnil nefrotoxicitu neboli poškození ledvin. Přes tyto pozitivní dopady nijak neovlivňuje nebo nenarušuje protinádorovou aktivitu (Nakashima-Kamimura et al., 2009).

Využití H<sub>2</sub> a jeho antioxidační a protizánětlivé účinky byly prokázány také u pacientů kteří se potýkali s post-covidovým syndromem. U pacientů, kteří 14 dní inhalovali H<sub>2</sub> došlo k výraznému zlepšení ušlé vzdálenosti v rámci 6min chodeckého testu a respiračních funkcí oproti pacientům, kterým bylo podáváno placebo (Botek et al., 2022).

### **2.1.1 Užití molekulárního vodíku ve sportu**

Primárním důvodem začátku zkoumání H<sub>2</sub> ve sportu, jsou jeho protizánětlivé (Ichihara et al., 2015) a antioxidační (Ohsawa et al., 2007) účinky. Intenzivní cvičení má za následek nadprodukcí ROS a RNS, která je spojována s mitochondriální dysfunkcí a buněčným poškozením, které přispívá k únavě a následně k opožděné svalové bolesti (DOMS) a tím zpomalení zotavení u sportovců (Botek et al., 2019). Použití silného antioxidantu může snižovat vzniklý oxidační stres a s ním také únavu. Protizánětlivé účinky H<sub>2</sub> najdou své uplatnění při mikroporanění svalstva, zánětech nebo přetrénování. Vzhledem k možným pozitivním účinkům na výkonost, regeneraci a celkovou únavu organismu u sportovců, je téma využívání molekulárního vodíku čím dál více v oblibě (Botek et al., 2019).

Pozitivní efekt H<sub>2</sub> na cvičením vzniklý oxidativní stres u zvířecích modelů prezentoval ve své studii (Nogueira et al., 2018). Kde prokázal signifikantní snížení markerů oxidativního stresu po 30minutovém běžeckém testu na úrovni 80 % V<sub>max</sub> (rychlost běhu na úrovni maximální spotřeby kyslíku VO<sub>2max</sub>). Laktát snižující efekt po aplikaci HRW prokázal Aoki et al. (2012) ve 45. a 60. minutě po cyklistickém zatížení u hráčů fotbalu. K potvrzení laktát snižujícího účinku HRW dospěli Botek et al. (2021) ve studii kde se zabývali účinkem 1 260 ml HRW na fyziologické, percepční a výkonnostní reakce na silový trénink a následného 24hod zotavení. Autoři této studie prokázali že akutní přerušovaná hydratace HRW zlepšila funkci svalů, snížila laktátovou odpověď a zmírnila opožděný nástup bolesti svalů.

Studie zaměřená na ventilační, percepční a laktátové reakce po výkonu prokázala, že podání 600 ml HRW před výkonem vyvolalo významné snížení krevního laktátu v polovině a bezprostředně po výkonu (Botek et al., 2019). Autoři této studie se domnívají, že H<sub>2</sub>obsažený v HRW je silný a selektivní antioxidant, který potencionálně chrání funkci mitochondrií před poškozením vyvolaným ROS, konkrétně tedy volným hydroxylovým radikálům vyvolaných

během nebo po fyzické aktivitě. Mechanismus účinku H<sub>2</sub> na snížení laktátu popsali ve své in vitro studii Murakami et al. (2017), kde H<sub>2</sub> působil stimulačně na mitochondriální dýchání a na výkonost mitochondriálních funkcí. Autoři této studie prokázali stimulační vliv H<sub>2</sub> na mitochondriální fosforylaci, a tím na mitochondriální resyntézu ATP (adenosintrifosfát).

Autoři studie Botek et al. (2021) dále prezentovali větší odolnost vůči svalové únavě během silového tréninku po administraci HRW. Tzv. proti únavový efekt byl potvrzen také u opakovaných cyklistických a běžeckých sprintů (Botek et al., 2022; Da Ponte et al., 2018). Přestože je H<sub>2</sub> spojován s proti únavovým účinkem u různých typů cvičení, bylo zjištěno, že účinek HRW může být závislý na trénovanosti sportovce. Poukázala na to studie zabývající se vlivem suplementace HRW na výkon při běhu do kopce. Výsledky studie ukázaly, že aplikace 1680 ml HRW mělo větší vliv u pomalejších, tedy méně trénovaných běžců (Botek et al., 2020).

Na začátku roku 2023 vyšla analytická studie zabývající se porovnáním výsledků randomizovaných kontrolovaných nebo cross-over studii, které zkoumaly vliv H<sub>2</sub> na hodnocení vnímané námahy (PRE), VO<sub>2</sub>max a peak příjmu kyslíku (VO<sub>2</sub>peak). Do analýzy bylo zařazeno 17 studií zabývajících se vytrvalostní výkony. Zahrnuté studie implementovali tři typy příjmu vodíku a to HRW (Hori, Sobue, et al., 2020), (Botek, Khanna, et al., 2022), (Mikami et al., 2019), (Botek et al., 2019), (Ooi et al., 2020), (Botek et al., 2020), (Timón et al., 2021), (Aoki et al., 2012), (Drid et al., 2016), (Da Ponte et al., 2018), (Da Ponte et al., 2018), (Dong et al., 2022), (Dobashi et al., 2020), inhalace plynu bohatého na vodík (Javorac et al., 2019), (Hori, Ichihara, et al., 2020), (Shibayama et al., 2020) a vápenatý prášek bohatý na H<sub>2</sub> (Alharbi et al., 2021). Výsledek systematického přehledu a metaanalýzy ve studii naznačuje, že suplementace H<sub>2</sub> je nástrojem pro zmírnění subjektivní únavy a zlepšení odbourávání krevního laktátu vyvolaného cvičením s vysokou intenzitou, nezvyšuje však aerobní kapacitu. (Zhou et al., 2023)

### **2.1.2 Metody příjmu molekulárního vodíku**

Hydrogenovaná voda (HRW)

HRW může být připravena několika způsoby a to například rozpuštěním elektrolyzovaného H<sub>2</sub> ve vodě, rozpuštěním H<sub>2</sub> a přítomnosti vysokého tlaku nebo chemickou reakcí kovového hořčíku s vodou (Sun et al., 2015). Jedná se o nejjednodušších a nejbezpečnějších způsob příjmu H<sub>2</sub> do organismu jak pro sportovce, tak pro širokou veřejnost (Aoki et al., 2012). Při pokojové teplotě a správném atmosférickém tlaku se H<sub>2</sub> může ve vodě rozpouštět až do koncentrace 1,6 mg/l. K zamezení poklesu koncentrace se však doporučuje skladovat HRW v hliníkové nádobě (Hong et al., 2010).

### Koupele v H<sub>2</sub>

H<sub>2</sub> má díky své vysoké difúzní funkci výhodu, že může být absorbován přes kůži do krevního toku. Za použití činidla produkující H<sub>2</sub> se vodík do těla dostane transkutánně nebo vdechováním výparů způsobené koupelí (Sun et al., 2015). Studie zabývající se účinky koupele ve vodě bohaté na vodík na biomarkery svalového poškození a vnímání bolesti u mladých mužů vystavených vysoce intenzivnímu excentrickému cvičení potvrzuje, že celotělová koupel snižuje poškození svalů a může zmírnit svalovou bolest. Nevyvolává žádné vedlejší účinky a díky tomu jde o bezpečnou metodu, která může být zařazena do regeneračního procesu u sportovce (Todorovic et al., 2020)

### Inhalace H<sub>2</sub>

Podle Kawamura et al., (2020) není inhalace plynného H<sub>2</sub> nejspolehlivějším způsobem podání. Přesto u inhalace dochází k rychlému dodání poměrně velkého množství H<sub>2</sub> do organismu. Plyn můžeme snadno vdechnout přes obličejovou masku, ventilačním okruhem nebo nosní kanylou. Při koncentraci ve vzduchu menším než 4% nehrozí nebezpečí výbuchu. (Kawamura et al., 2020). Faktory ovlivňující skutečný rozsah absorpce plynného vodíku mohou být problémy v dýchací nebo oběhové soustavě pacienta. Velkou nevýhodou je tedy nejistota dávkování příjmu vodíku. Nejdůležitějšími parametry při inhalaci jsou koncentrace H<sub>2</sub> a celkový objem směsi podávaného plynu. Při využívání této metody je vyžadováno dodržovat přísná bezpečnostní pravidla (Sun et al., 2015).

### Nitrožilní podání H<sub>2</sub>

Metodou, při níž podáváme fyziologický roztok H<sub>2</sub> nitrožilně, dosáhneme rychlého dodání velkého množství H<sub>2</sub> do lidského těla. Kvůli své invazivnosti a obtížnosti použití je špatně využitelná ve sportovním prostředí (Kawamura et al., 2020). Dávka příjmu H<sub>2</sub> u této metody může být přesně řízena, protože aplikace není ovlivněna vlastními faktory pacienta. Metoda se využívá při různých typech orgánových poranění, zánětlivých onemocnění, hypertenze, poškození jater atd. (Sun et al., 2015).

Dalším, alternativním, způsobem příjmu H<sub>2</sub> může být aplikace očních kapek, kdy je H<sub>2</sub> obsažen v solném roztoku a poté kapán na povrch oka (Oharazawa et al., 2010). Nebo pomocí vápenatého prášku bohatého na H<sub>2</sub> (Alharbi et al., 2021).

## 2.2 Plavání s ploutvemi

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 a pravidel podle kterých se dodnes soutěží. První disciplínou, ve

keré se soutěžilo nejčastěji a dodnes se jedná o nejrychlejší disciplínu bylo plavání pod vodou (Maršálek, 1997). K rozdělení bazénových disciplín a disciplín plavaných na volné vodě došlo v roce 1968. O rok později se lišila také místa mistrovských soutěží. Plavecké bazénové disciplíny 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 bazénech zařadilo v roce 1981 (Čuříková, 2014). Od roku 1960 se v České republice pořádají neoficiální soutěže konané v bazénech. 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). Svaz potápěčů České republiky (2022) charakterizuje plavání s ploutvemi jako nejrychlejší lokomoci a 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.

### **2.2.1 Plavání s ploutvemi a jeho disciplíny**

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 sešroubovaly různé předměty a zařízení (Svaz potápěčů České republiky, 2022). 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 bazénových disciplín je stejná jako u disciplín v klasickém plavání a to je 50, 100, 200, 400, 800 a 1500 metrů. Na volné vodě se plavou disciplíny o délce 5,3 a 1 km (Svaz potápěčů České republiky, 2022).

V bazénových soutěžích plavání s ploutvemi rozlišujeme tři disciplíny. Disciplína plavání s ploutvemi (PP) se plave na vzdálenosti 50, 100, 200, 400, 800 a 1500 metrů. Dále pak štafety na 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. Přepławání 15metrové hranice po startu nebo obrátce se trestá diskvalifikací, stejně tak ztráta šnorchlu během závodu (Svaz potápěčů České republiky, 2022).

Disciplína rychlostní potápění (RP) je rozdělena na disciplíny plavané na nádech a s dýchacím přístrojem (tlakovou lahví). Na nádech se plave na vzdálenost 25 a 50 metrů. S tlakovou lahví, která je plněna stlačeným vzduchem se závodí na vzdálenost 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 vodu. 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, 2022).

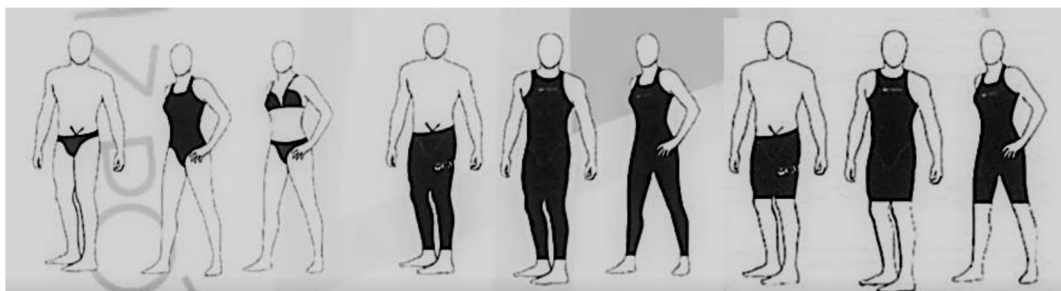
Disciplína bi-fins (BF) je nejmladší disciplína potápěčského sportu. Poprvé se na oficiálním programu mistrovských soutěží objevila v roce 2006. V této disciplíně má uplatnění plavecký způsob kraul, kterým se plave s použitím dvou ploutví a dýchací trubici. Plavecký způsob kraul je v této disciplíně podmínkou. Plavec smí plavat pouze 15 metrů pod vodou po startu a obrátce pomocí tzv. „delfínového vlnění“. Bi-Fins se plavou na vzdálenost 50, 100, 200 a 400 metrů. Štafetový závod byl do oficiálního rozpisu disciplín v rámci světových a kontinentálních šampionátů zařazen později, a to ve formách 4x50 BF a 4x100 BF (Svaz potápěčů České republiky, 2022).

### **2.2.2 Základní vybavení**

Základním vybavením každého plavce s ploutvemi jsou plavky, šnorchl nebo tlaková láhev, ploutve nebo monoploutev. Doplnujícím vybavením je např. plavecká čepice, plavecké brýle, popřípadě skřípec na nos. Plavky nesmí mít vliv na přirozený vztlak závodníka. 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 klasické jednodílné nebo dvoudílné (Svaz potápěčů České republiky, 2022).

#### **Obrázek 1**

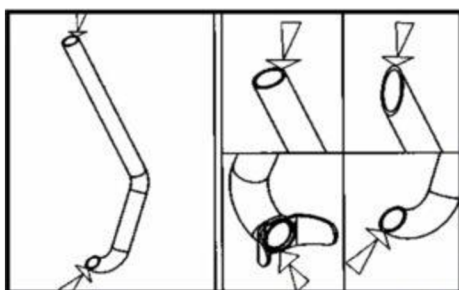
*Povolené závodní plavky ([www.ploutve.info/Pravidla\\_PP\\_2022\\_1.pdf](http://www.ploutve.info/Pravidla_PP_2022_1.pdf))*



Šnorchl neboli dýchací trubice, patří podle Svaz potápěčů České republiky (2022), 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 2

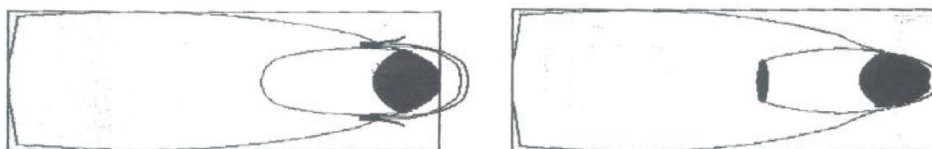
*Dýchací trubice (www.ploutve.info/Pravidla\_PP\_2022\_1.pdf)*



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 (2022) 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 povolena maximální délka 670 mm a šířka 225 mm. U potápěčských ploutví je maximální délka 675 mm a šířka 230 mm.

### Obrázek 3

*Potápěčské ploutve (www.ploutve.info/Pravidla\_PP\_2022\_1.pdf)*





#### Obrázek 4

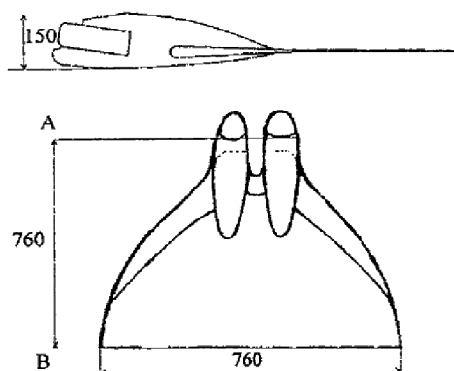
*Klasický model ploutví pro závodní plavání (www.najadefins.org)*



Monoploutev se používá pouze v disciplínách PP a RP. Jsou povoleny jakékoliv, které splňují požadavky mezinárodních pravidel CMAS a národních pravidel České republiky (2022). 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. Většina závodníků si ploutev nechává vyrábět na zakázku tak, aby seděla a splňovala požadavky závodníka. Při výběru monoploutve je jedním z nejdůležitějších faktorů délka a intenzita plavané tratě, na kterou závodník ploutev potřebuje. Od toho se odvíjí tvrdost a použitý materiál listu ploutve (Mazzei V., 2013).

#### Obrázek 5

*Monoploutev (www.ploutve.info/Pravidla\_PP\_2022\_1.pdf)*



## 2.3 Psychometrické ukazatelé

Pokud sportovec sleduje při sportovní zátěži odezvu organismu pouze pomocí objektivních parametrů, může své tělo dostat do nebezpečné situace. Může to vést ke špatnému vyhodnocení tréninkového zatížení a následně pak ke špatnému dávkování nadcházející zátěže. Sledování subjektivních parametrů jsou důležitým ukazatelem skutečného stupně zatížení a doplňující informací o reakci organismu na aplikovanou zátěž (Čechovská & Dobrý, 2008). Psychologické dotazníky jsou navíc ekonomickou formou sledování odezvy organismu a lze ji zprostředkovat většímu počtu jedinců (Borresen & Ian Lambert, 2009). Nástroje pro hodnocení subjektivních pocitů, lze rozdělit podle kategorie, na kterou se zaměřují např. nálada, vnímaný stres, behaviorální znaky atd. (Saw et al., 2016). Příkladem nástrojů vhodných k hodnocení subjektivního vnímání zatížení a zotavení může být například Recovery-stress questionnaire for athletes (Kallus & Kellmann, 2016), Profile of Mood State (Morgan et al., 1988), Daily analysis of life demands of athletes (Rushall, 1990) nebo Total Quality Recovery (Kenttä & Hassmén, 1998). Jednou z nejběžnějších subjektivních metrik je hodnocení vnímaného úsilí a jeho posouzení je důležité jak pro samotného sportovce, tak pro trenéry. Považuje se za jeden z důležitých subjektivních indikátorů zatížení (Čechovská & Dobrý, 2008). Vnímané úsilí můžeme definovat jako akt detekce a interpretace pocitů, které přichází z těla během tělesného cvičení (Daďová, 2015). Borg (1998) také uvádí definici, že subjektivní vnímané úsilí je pocit, jak těžké a namáhavé je cvičení. Od téhle definice se pak odvozuje metoda měření, podle které vyložené úsilí dokážeme hodnotit. Nejznámější metodou hodnocení subjektivního vnímání zatížení je Borgova stupnice (Ramos-Favaretto et al., 2019) Nejznámější borgovou stupnicí je RPE (Rating of Perceived Exertion). Tato škála je poměrně efektivní metoda kvantifikace intenzity zatížení u mnoha typů cvičení (Gearhart et al., 2002).

### 2.3.1 Subjektivně vnímaná svalová bolest

„Bolest je nepříjemným smyslovým a emočním zážitkem spojeným s akutním či potencionálním poškozením tkání, které souvisí s poruchou fyziologické povahy (onemocnění, zánět), nebo vnějším násilím (úraz, zhmoždění). Bolest je vždy subjektivní.“ (Janáčková, 2007)

Snášení bolesti je zcela individuální a záleží na řadě vnějších i vnitřních faktorech jedince. Mezi vnitřní faktory, patří především práh bolesti. Dalšími faktory jsou například různé časové úseky jako životní období, části dne atd. Záleží na psychickém rozpoložení jedince. Tedy pokud si člověk prochází těžkým obdobím, je dokázáno, že vnímá bolest mnohem intenzivněji. Tolerance se mění také během dne, kdy ráno bývá větší na rozdíl od večerních či nočních

hodinách. Nejdůležitějším faktorem je ale to, jaký význam postižený bolesti přikládá (Janáčková, 2007).

Fyzická aktivita je neodmyslitelně spojena s pocitem bolesti, ať už svalovou únavou nebo sportovním zraněním (záněty šlach, přepětí kloubních struktur, záněty svalů apod.). Vnímání bolesti v prostředí sportu, například sportovním tréninku, spočívá především v dlouhodobém, nadměrném úsilí, často převyšující adaptační schopnost organismu. Opakované a v podstatě nevyhnutelné zkušenosti s bolestí přirozeně a významně ovlivňují způsob, jakým je bolest vnímána (Maciejewska-Skrendo et al., 2021). Díky opakovanému vystavení bolesti se sportovci s tímhle nepříjemným pocitem učí pracovat. Fyzicky aktivní jedinci, kteří mají zkušenosti získané při zvládnutí bolesti, prokazují lepší kontrolu bolesti ve stresových situacích a významně snižují jejich citlivost narozdíl od fyzicky neaktivních jedinců. (Maciejewska-Skrendo et al., 2021) Na druhou stranu je dokázáno, že psychický stres má negativní vliv na vnímání bolesti. Poukazuje na to i studie zabývající se odolností vůči bolesti u profesionálních triatlonistů. U některých jedinců, po vystavení vysokému psychickému stresu, došlo významnému k snížení odolnosti vůči bolesti. (Geva et al., 2017)

Svalová bolest související s drobnými poraněními svalového vlákna je běžným stavem u elitních nebo rekreačních sportovců. Fyziologické poškození svalu je důsledkem vztahu mezi silou, rychlostí a napětím ve svalovém vláknu. Většinou se projevuje s opožděným nástupem svalové bolesti (DOMS – Delayed Onset Muscle Soreness) (Fleckenstein et al., 2017).

### **2.3.2 Opožděná svalová bolest**

Opožděná svalová bolest (DOMS) je typ ultrastrukturálního svalového poranění. DOMS je spojována především s excentrickými nebo tělu neznámými formami cvičení. Sportovci se s ní potýkají především na začátku sezóny po tréninkové pauze nebo po nezvyklé fyzické aktivitě (Cheung et al., 2003). Dalšími podstatnými faktory vzniku DOMS jsou intenzita a objem fyzického zatížení (Pyne, 1994). DOMS se projevuje jako svalová slabost, bolestivé omezení pohybu, ztuhlost, otoky a popřípadě dysfunkcí přilehlých kloubů (Cheung et al., 2003). Vznik DOMS je přisuzován metabolickým a mechanickým faktorům (Pyne, 1994). Přestože se DOMS považuje za mírný typ svalového zranění, je jedním z nejčastějších důvodů zhoršení sportovního výkonu sportovce. K projevu a pocítění svalového diskomfortu dochází během prvních 24 hod po fyzickém zatížení. Vrchol DOMS nastává mezi 48-72 h po zatížení (Hotfiel et al., 2018, Cheung et al., 2003).

DOMS je způsoben mikroskopickými trhlinami svalových vláken. Důsledkem může být snížení rozsahu pohybu a neschopnosti účinně absorbovat náraz, který ovlivňuje fyzickou aktivitu. Změny mechanického pohybu pak mohou zvýšit napětí působící na strukturu

měkkých tkání. Rozdíl v silových poměrech může taky způsobovat nadměrné namáhání nezvyklého svalstva (Veqar & Imtiyaz, 2014). Za funkční omezení lze také označit snížení nebo neschopnost vykonávat činnost nebo vnímat funkci v rozsahu, který je pro jednotlivce považován za normální. Dočasné zkrácené vnímání svalového aparátu díky DOMS může vést k zvýšenému riziku zranění (Cheung et al., 2003).

Faktorem vzniku DOMS je mechanické zatížení svalových tkání, zejména během excentrického zatížení, během něhož bylo prokázáno významné poškození svalových buněk (Howatson & Van Someren, 2008). Toto poškození indikuje difúzi leukocytů do poškozených svalových buněk, čímž aktivuje prozánětlivou reakci a další uvolnění ROS a RNS. I když zánět vede k pozitivním hojivým a adaptačním procesům v těle, jeho krátkodobé působení má za následek zvýšenou bolest a zpomalenou obnovu svalové funkce (Hotfiel et al., 2018). Poškození membrán svalových buněk, naruší jejich permeabilitu a umožní tak difúzi buněčných enzymů do krevního řečiště (Pyne, 1994). Cheung et al., (2003) popisuje porušení svalových proteinů ve svalových vláknech a difúzi cytoplazmatických enzymů do krevního řečiště jako možné mechanismy vzniku DOMS.

Metabolickým faktorem vzniku DOMS je zejména narušení buněčného metabolismu během dlouhotrvajícího nebo vysoce intenzivního zatížení. V souvislosti metabolického narušení autoři prezentují zejména nedostatečnou tvorbu mitochondriálního adenosintrifosfátu, ischemii, hypoxii nebo iontovou nerovnováhu v buňce (Pyne, 1994). DOMS je způsobená svalovým zatížením, kdy ve svalu dochází k dramatickým změnám v uspořádání sítě t-tubulů a rozložení triád, což je považováno za hlavní příčinu poruch membránových systémů, které se podílejí na selhání svalové vazby vzruch-kontrakce (Takekura et al., 2001). Předpokládá se, že mikroskopické poruchy vedou také k dalším poškozením buněčných membrán, tedy ke ztrátě vnitrobuněčné homeostázy vápníku. Dochází ke spuštění několika zánětlivých procesů, které následně vedou k poškození vláken a buněčné smrti. Poškození svalů vyvolané cvičením je různě závažné u svalů s různou architekturou a po počátečním poškození je ještě zhoršeno zánětem (Fleckenstein et al., 2017).

### **2.3.3 Vizuální analogová stupnice (VAS)**

VAS je konstruována jako jednorozměrná míra, kterou můžeme označit také monopolární stupnicí, latentního konstruktů s rovnou vodorovnou nebo svislou čarou. Čára představuje lineární kontinuum nebo spojitě spektrum konkrétního psychologického procesu, stavu duševního zdraví či postavení nebo preference k určitému tématu. Na obou koncích jsou ohraničeny koncovými popisky nebo číselnými kotvami, které znázorňují extrémy (Weigl & Forstner, 2021). Jedná se o stupnici, na níž se snažíme změřit charakteristiku nebo polohu, o

nichž se předpokládá, že se pohybují v určitém kontinuu hodnot a nelze je snadno změřit. Používá se při měření bolesti, kde se pohybujeme v kontinuu intenzity, od žádné po extrémní bolest. Musíme však poukázat na to, že takové hodnocení je vysoce subjektivní, tyto stupnice mají největší hodnotu při zaměření a pozorování změny v rámci jednotlivce (Crichton, 2001).

Hodnocení lidské bolesti se vyvinulo od stanovení prahu bolesti a tolerance intenzity bolesti až k použití široké škále psychologických a fyziologických metod. Ať už duševní nebo klinické bolesti (Beecher, 1956; Dubner, 1990). VAS byla posouzena jako validní a spolehlivá měřítka intenzity bolesti. Píší o tom autoři (Huskisson, 1974; Joyce et al., 1975; Levine et al., 1982; Revill et al., 1976). Verbální zakotvení bodů na VAS může být upraveno tak, aby vymezili různé dimenze bolesti (Price et al., 1983).

E. C. Huskisson (1983) definuje VAS jako analogovou stupnici intenzity bolesti, kterou je čára, jejíž délka má představovat kontinuum určitého prožitku bolesti. Je to jednoduchý a citlivý nástroj, který pacientovi umožňuje, aby jím sdělil lékaři intenzitu (sílu, výši, prudkost, ostrost atd.) bolesti takovým způsobem, že toto sdělení je možno vyjádřit číselnou hodnotou.

Při hodnocení DOMS s využitím VAS musíme počítat, že DOMS není měřitelné, pokud je sval v klidu bez jakéhokoliv zatížení. V tomhle případě je nutné vyvolat mechanický stimul v podobě palpace, natažení nebo kontrakce posuzovaného svalu. Uvádí tak Lau et al., (2013) ve své studii, kde porovnává VAS hodnocení svalové bolesti s PPT (tlakový práh bolesti). Cílem studie bylo porovnat VAS vyvolanou palpací a PPT flexorů lokte po excentrickém cvičení. Bylo dokázáno, že VAS a PPT spolu nekorelují, a to z důvodu, že PPT detekuje práh bolesti po působení minimální intenzity jediného podnětu, ale VAS podává hodnocení prostřednictvím odpovědi subjektu na celý percepční rozsah intenzity bolesti. Znamená to, že bolest vyvolaná palpací a hodnocena pomocí VAS je odlišná od bolesti PPT. VAS a hodnocení PPT představují různé aspekty bolesti, přestože se v obou případech měřilo DOMS.

Kawamura et al. (2018) ve své studii zabývající se zapojením dynamiky a funkce neutrofilů na poškození svalů vyvolaného cvičením, DOMS a účinkem koupání v H<sub>2</sub>, porovnávali subjektivní hodnocení svalové bolesti pomocí VAS s prozánětlivým interleukinem-6, který řadíme mezi objektivní markery svalového poškození. Výsledky studie potvrzují korelaci mezi těmito faktory a naznačují tak, že interleukin-6 se podílí na mobilizaci neutrofilů do periferní krve, což může být spojeno s DOMS po běhu z kopce.

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem bakalářské práce je posoudit vliv administrace vody obohacené o molekulární vodík (HRW) na subjektivně vnímanou svalovou bolest během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Posoudit vliv administrace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze dřep během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi.
- 2) Posoudit vliv administrace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v pozici sed během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi.
- 3) Porovnat hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed a dřep během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi.

### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) Jaký je vliv suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze dřep během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení?
- 2) Jaký je vliv suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze sed během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení?
- 3) Jaký je rozdíl v hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze dřep a sed během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení?

## 4 METODIKA

Předkládaná studie byla součástí komplexnějšího projektu, který 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 24 hod 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“.

### 4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Testovaným souborem bylo 12 elitních plavců s ploutvemi (8 žen a 4 muži; dále jen „probandi“) z ČR ve věku 17–30 let. Charakteristiku výzkumného souboru ukazuje Tabulka X. Všichni probandi byli dlouhodobě účastníci tréninkové přípravy plavání s ploutvemi na mezinárodní úrovni. Důležitým pokynem pro probandy bylo vyřazení veškeré suplementace již tři týdny před začátkem testování. Probandi byli bez jakýchkoliv subjektivních známek nemoci a byli instruováni, aby 24 hod před testováním neprováděli žádnou namáhavou fyzickou aktivitu a nepožívali žádné alkoholické nápoje. Důvodem k vyloučení ze studie byly akutní zdravotní problémy nebo nedodržení předem stanovených pravidel. Všichni probandi byli předem seznámeni s náležitostmi a cíli výzkumu. Účast na testování byla dobrovolná, probandi před zahájením studie podepsali informovaný souhlas se zařazením do studie a doložili lékařské potvrzení o způsobilosti k tělesné výchově a sportu. Dále byly zakázány alkoholické a kofeinové nápoje. Týden před zahájením testování a v průběhu dvou testovaných týdnů bylo zakázáno zkoušet nebo praktikovat nezvyklé aktivity.

**Tabulka 1***Charakteristika výzkumného souboru*

Proměnná	Ženy	Muži	p
	Průměr ± SD	Průměr ± SD	
n	8	4	
Věk (roky)	21,5 ± 5,0	18,9 ± 1,3	0.72
Výška (cm)	164 ± 6	184 ± 9	0.004
Hmotnost (kg)	62 ± 7	78 ± 10	0.012
BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	22,8 ± 1,2	23,1 ± 1,9	0.81
Tělesný tuk (%)	22,0 ± 1,5	12,1 ± 4,6	0.004
VO <sub>2</sub> max (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	45,0 ± 2,5	52,2 ± 1,7	0.004

Poznámka: SD = směrodatná odchylka; p = statistická významnost srovnání mužů a žen (Mann-Whitney U test); BMI = body mass index; VO<sub>2</sub>max = maximální spotřeba kyslíku

## 4.2 Design studie

Experiment probíhal jako randomizovaná, dvojitě zaslepená, placebem kontrolovaná, cross over studie. Subjektivní míra svalové bolesti byla hodnocena na základě porovnání dat získaných během dvou měření (HRW vs. Placebo). Každé měření obsahovalo dva testovací dny. První den testování obsahoval dvě tréninkové jednotky a následovalo 24 hod zotavení. Doba mezi testováními 1 a 2 byla jeden týden.

Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin, kdy jedna skupina byla při prvním měření suplementována placebem a při druhém HRW. U druhé skupiny bylo pořadí HRW/placebo určeno naopak. Po absolvování měření 1 byli probandi instruováni podstoupit totožný tréninkový mikrocyklus jako před měřením 1. Vzhledem k tomu, že byla porovnávána data párově u jednotlivých probandů nikoli navzájem mezi probandy, nebyl stanovený jednotný tréninkový plán (mikrocyklus) pro všechny probandy stejně. Důraz byl kladen na totožný tréninkový i denní režim probandů. Administrace HRW/placebo byla stanovena pro všechny probandy jednotně. Probandi byli instruováni pít HRW nebo placebo již 3 dny před samotným měřením a vypili celkem 1260ml HRW/placeba (rozloženo do tří dávek po 420 ml). Během testovacího dne v plaveckém bazénu vypili 2520 ml HRW/placeba.



### **4.3 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 v souladu s Helsinskou deklarací (1983), Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem 25/2020 (Příloha 1).

### **4.4 Metodika sběru dat**

Testování proběhlo v krytém plaveckém bazénu o délce 25 m v Aplikačním centru Baluo. Testování sledovaných parametrů proběhlo v laboratořích Fakulty tělesné kultury, Univerzity Palackého v Olomouci. První den testování proběhlo základní antropometrické vyšetření (výška, váha) a vstupní hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti (VAS). Poté následovala první tréninková jednotka (TJ1), která obsahovala následující části: rozplavání (úvodní část), hlavní část a závěrečnou část. Hlavní náplní TJ1 bylo vysoce intenzivní intervalové zatížení. Plavecká série obsahovala 3x (4 x 50 m) start v 1 minutě (časový interval pro zvládnutí 50m úseku a odpočinek byl 1 minuta, čas od doplavání 50 m do 1 minuty byl vyplněn pasivním odpočinkem). Mezi každou sérií 4 x 50 m bylo zařazeno 300 m aktivní zotavení. Další plavaná série začínala vždy 12 minut po konci série předchozí. V 30. minutě po ukončení TJ1 proběhlo hodnocení VAS. S odstupem pěti hodin po TJ1 a před TJ2 proběhlo opět hodnocení VAS. Šest hodin po ukončení TJ1 následovala TJ2, jejíž obsahem bylo identické rozplavání jako v TJ1. Hlavní část TJ2 obsahovala kontinuální závodní zatížení na vzdálenost 400 m a poté 300 m vyplavání. Ve 30. minutě po TJ2 proběhlo hodnocení VAS. Následující den měření proběhlo pouze kontrolní měření VAS ve 12. a 24. hodině regenerace. Harmonogram suplementace HRW/placebo během testovacího dne byl následující: 420 ml HRW/placebo před TJ1, 210 ml HRW/placebo po první, druhé a třetí sérii 4 x 50 m, 210 ml HRW/placebo po závěrečném vyplavání. Dále pak 420 ml HRW/placebo před TJ2 a 420 ml HRW/placebo 30 min po TJ2 a 420 ml HRW/placebo hodinu před spánkem. Celkem 2520 ml HRW/placeba.

## Tabulka 2

### Náplň TJ1

Rozplavání	200 m bez ploutví, 200 m BF + 200 m delfínové vlnění v připažení + 400 m (25 m delfínové vlnění v připažení + 25 m PP), 50 m vyplavání, 4x50 m (25 m delfínové vlnění v připažení + 25 m PP), 50 m vyplavat
Hlavní úkol	3x (4x50) start v 1 minutě, 300 m vyplavání 3x (4x50) start v 1 minutě, 300 m vyplavání 3x (4x50) start v 1 minutě, 300 m vyplavání

*Poznámka:* BF – kraul s ploutvemi, PP – plavání s ploutvemi, m – metry

## Tabulka 3

### Náplň TJ2

Rozplavání	200 m bez ploutví, 200 m BF + 200 m delfínové vlnění v připažení + 400 m (25 m delfínové vlnění v připažení + 25 m PP), 50 m vyplavání, 4x50 m (25 m delfínové vlnění v připažení + 25 m PP), 50 m vyplavat
Hlavní úkol	400 m PP, 300 m vyplavání

*Poznámka:* BF – kraul s ploutvemi, PP – plavání s ploutvemi, m – metry

## 4.5 Použité metody testování a přístroje

### *Charakteristika HRW/placebo*

HRW bylo podáváno v 420ml hliníkových sáčcích s plynotěsným uzávěrem (Aquastamina-R, Nutristamina, Ostrava, Czech Republic), v totožných obalech bylo podáno placebo (Aquastamina – H<sub>2</sub> free, Nutristamina, Ostrava, Czech Republic). Charakteristiky HRW/placebo byly následující: pH = 7,9/7,7, oxidačně-redukční potenciál = -652/+170 mV, teplota = 20/20 °C a koncentrace rozpuštěného H<sub>2</sub>= 0,9/0,0 ppm. Odlišit HRW od placeba

nebylo možné vzhledem k tomu, že H<sub>2</sub> je bez zápachu, bez chuti a bez barvy. Druh intervence (HRW/placebo) byl označen na obalu díky různých šarží.

#### *Subjektivně vnímaná svalová bolest*

Pro hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti (únavy) byla použita vizuální metoda pomocí VAS škály (vizuální analogová stupnice). VAS je vodorovná přímka o délce 100 mm, která na obou koncích znázorňuje minimum a maximum měřené hodnoty. Probandi udělali značku na úsečce dle vlastních subjektivních pocitů tak, že reprezentuje jeho vnímání současného stavu. Výsledkem je vzdálenost v milimetrech mezi levým koncem přímky a bodem, který na úsečce proband vyznačil. Vyšší skóre ukazuje vyšší intenzitu bolesti. Skóre VAS se určuje změřením od levého konce přímky k bodu, který pacient určí (Crichton, 2001).

Během našeho měření měli probandi za úkol zaznačit na příjemce subjektivně vnímanou bolest stehenních svalů v poloze sed a v poloze dřep (Jakeman et al., 2010) s flexi v kolenním kloubu o velikosti úhlu 90°. Zaznačili tak dvě hodnoty na dvě přímky.

Boonstra et al., (2014) definoval intervaly intenzity bolesti následovně nízká bolest ( $\leq 34$  mm), střední bolest (35-65 mm) a silná bolest (66-100 mm).

#### **Obrázek 6**

Použitá VAS škála

#### **Škála VAS**

Zaznač křížkem na níže uvedené přímce, jakou bolest svalů pociťujeteš:

Žádná bolest  Nesnesitelná bolest

Jméno a příjmení: .....

Datum: .....

#### **4.6 Statistické zpracování dat**

Pro prezentaci naměřených hodnot byly použity deskriptivní charakteristiky aritmetický průměr a standardní odchylka. Hladina statistické významnosti byla pro všechny použité statistické testy zvolena následovně  $\alpha = 0,05$ . Pro hodnocení statistické významnosti efektu HRW na hodnocení VAS byl použit párový t-test. Pro hodnocení věcné významnosti byl použit

ukazatel Cohenova  $d$ , který byl vypočítán jako rozdíl průměrných hodnot HRW a placebo podělený hodnotou standardní odchylky zjištěné po intervenci placebo. Absolutní hodnoty Cohenova  $d$  byly klasifikovány podle Cohen (1988) následujícím způsobem: triviální (0,00 až 0,19), malý (0,20 až 0,49), střední (0,50 až 0,79) a velký (0,80 a více). Statistické zpracování bylo provedeno v aplikaci MATLAB R2020a (MathWorks, Natick, USA) se statistickým balíčkem Statistics Toolbox.

#### **4.7 Limity studie**

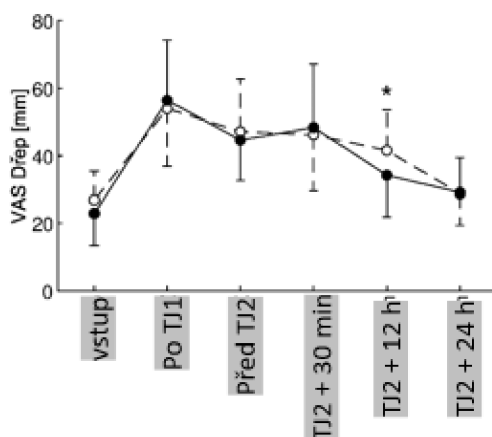
Mezi limity naší studie patří nedodržení předem daných instrukcí jako totožný denní režim, zákaz užití alkoholu nebo stimulantů a podstoupení jiného fyzické zatížení. Další limity studie jsou například menstruační cyklus u dívek, nedostatečný spánkový režim a rozdílné nasazení probandů během jednotlivých testování (motivace). Popřípadě také zhoršené/zlepšené psychické pohodlí probandů.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Hodnocení suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze dřep

Obrázek 7

Hodnocení vlivu HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest v poloze dřep



Poznámka: ● = hydrogenovaná voda, ○ = placebo, \* = statisticky významné ( $p < 0,05$ , párový t-test).

Data jsou prezentována jako průměr a standardní odchylka.

Výsledky hodnocení VAS v poloze dřep ukazují statisticky významný rozdíl mezi HRW a placebem ve 12. hod regenerace. Naměřené hodnoty byly ve 12. hod regenerace při užití HRW signifikantně nižší než při použití placeba. V ostatních sledovaných časech se naměřené hodnoty významně nelišily. Detailní pohled na naměřené hodnoty popisuje tabulka 4.

Tabulka 4

Hodnocení vlivu HRW na vnímanou svalovou bolest v poloze dřep při porovnání s placebem

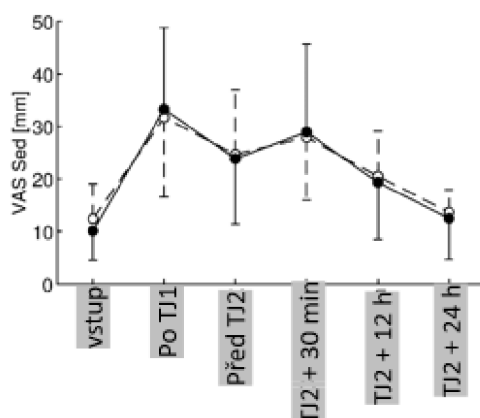
Čas	Placebo M ± SD	HRW M ± SD	$p$	$d$	Efekt
Vstup	27 ± 8	23 ± 10	0,13	-0,47	malý
Po TJ1	54 ± 17	56 ± 18	0,57	0,29	malý
Před TJ2	47 ± 16	45 ± 12	0,33	-0,3	malý
TJ2 + 30 min	46 ± 17	48 ± 19	0,54	0,26	malý
TJ2 + 12 h	42 ± 12	34 ± 12	0,045	-0,88	velký
TJ2 + 24 h	29 ± 9	29 ± 10	0,78	0,05	triviální

Poznámka:  $p$  = statistická významnost (párový t-test),  $d$  = Cohenovo  $d$ .

## 5.2 Hodnocení suplementace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou v poloze sed

Obrázek 8

Hodnocení vlivu HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest v poloze sed



Poznámka: ● = hydrogenovaná voda, ○ = placebo, \* = statisticky významné ( $p < 0,05$ , párový t-test).

Data jsou prezentována jako průměr a standardní odchylka.

Výsledky hodnocení VAS v poloze sed nevykazují ve sledovaných časech žádný statisticky významný rozdíl mezi HRW a placebem (Obrázek 8). Detailní pohled na naměřené hodnoty popisuje Tabulka 5.

Tabulka 5

Hodnocení vlivu HRW na vnímanou svalovou bolest v poloze sed při porovnání s placebem

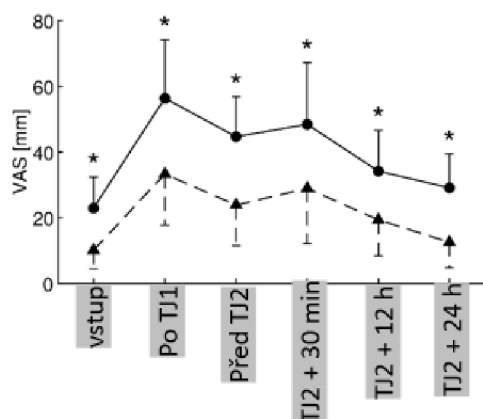
Čas	Placebo M ± SD	HRW M ± SD	<i>p</i>	<i>d</i>	Efekt
Vstup	12 ± 7	10 ± 6	0,061	-0,35	malý
Po TJ1	32 ± 15	33 ± 16	0,69	0,24	malý
Před TJ2	25 ± 12	24 ± 12	0,82	-0,13	triviální
TJ2 + 30 min	28 ± 12	29 ± 17	0,83	0,15	triviální
TJ2 + 12 h	21 ± 9	19 ± 11	0,68	-0,18	triviální
TJ2 + 24 h	14 ± 4	13 ± 8	0,43	-0,18	triviální

Poznámka: *p* = statistická významnost (párový t-test), *d* = Cohenovo *d*.

### 5.3 Porovnání hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed a dřep

Obrázek 9

Porovnání hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed a dřep



Poznámka: ▲ = VAS v sedu, ● = VAS v dřepu, \* = statisticky významné ( $p < 0,05$ , párový t-test). Data jsou prezentována jako průměr a standardní odchylka.

Výsledky porovnání naměřených hodnot v poloze dřep a sed vykazují statisticky významný rozdíl mezi sledovanými polohami, a to ve všech sledovaných časech (Obrázek 9). Detailní pohled na provedenou statistickou analýzu ukazuje Tabulka 6.

Tabulka 6

Porovnání hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed a dřep ve srovnání s placebem

Čas	Sed M ± SD	Dřep M ± SD	<i>p</i>	<i>d</i>	Efekt
Vstup	10 ± 6	23 ± 10	0,002	2,29	velký
Po TJ1	33 ± 16	56 ± 18	0,001	4,12	velký
Před TJ2	24 ± 12	45 ± 12	<0,001	3,72	velký
TJ2 + 30 min	29 ± 17	48 ± 19	<0,001	3,48	velký
TJ2 + 12 h	19 ± 11	34 ± 12	0,001	2,65	velký
TJ2 + 24 h	13 ± 8	29 ± 10	<0,001	2,96	velký

Poznámka: *p* = statistická významnost (párový t-test), *d* = Cohenovo *d*.

## 6 DISKUSE

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo posoudit vliv administrace vody obohacené o molekulární vodík (HRW) na subjektivně vnímanou svalovou bolest během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi. Z výsledků studie vyplývá, že použitá strategie suplementace HRW při porovnání s placebem signifikantně snížila subjektivně vnímanou svalovou bolest hodnocenou VAS v poloze dřep ve 12. hod regenerace po TJ2. Při hodnocení VAS v poloze sed nebyl signifikantní rozdíl HRW oproti placebo zaznamenán v žádném sledovaném čase. Při porovnání získaných hodnot v poloze dřep a sed byly zjištěny statisticky významné rozdíly ve všech sledovaných časech.

Nejzajímavějším výsledkem této studie je statisticky významný rozdíl v hodnocení VAS v poloze dřep ve 12. hod regenerace po TJ2 ( $p = 0,045$ ). Zvýšená hodnota VAS poukazuje na přítomnost DOMS, kterou lze pomocí VAS spolehlivě hodnotit (Bijur et al., 2001). Citlivost svalů až silnou svalovou bolest lze řadit k symptomům DOMS (Cheung et al., 2003). Pozátěžová svalová bolest je spojena se zánětlivými procesy ve svalové buňce, které vznikají jako důsledek působení fagocytů, které prostupují do poškozené svalové tkáně a produkují prozánětlivé cytokiny zahajující zánětlivou reakci jako začátek adaptačních procesů a oprava poškozené tkáně (Kawamura et al., 2018). Tyto výsledky lze porovnat s randomizovanou, cross-over studií Botek et al. (2021). Autoři této studie prokázali statisticky významně nižší hodnocení VAS 24 hod po silovém tréninku při použití HRW v porovnání s placebem. V souladu s těmito studiemi je studie Kawamura et al., (2016), která prezentuje pozitivní efekt  $H_2$  koupelí po dobu jednoho týdne na hodnocení VAS ve 24 hod a 48 hod po 30min běhu z kopce. Nižší hodnoty VAS po intenzivním zatížení mohou být odrazem protizánětlivého účinku  $H_2$  (Cheung et al., 2003), který dokáže redukovat zánětlivou reakci a pomoci a urychlit regeneraci při zánětlivých mikroporaněních svalstva (Botek et al., 2019). Vzhledem ke skutečnosti, že Kawamura et al., (2018) prokázal korelaci mezi objektivním prozánětlivým markerem interleukinem-6 a subjektivním hodnocením VAS, je také možné se domnívat, že HRW měla ve 12 hod zotavení analgetický efekt na vnímání svalové bolesti.

Při hodnocení VAS v poloze sed se hodnoty mezi HRW a placebem významně nelišily ani v jednom ze sledovaných měření. Naměřené hodnoty v případě HRW i placebo vykazovaly nízkou intenzitu subjektivně vnímané svalové bolesti (Collins et al., 1997) ve všech sledovaných časech kromě měření po TJ1. Domníváme se, že je to z důvodu minimální aktivace posuzované svalové skupiny. Píší o tom ve svém článku O'Connor & Cook, (1999), kde říkají, že DOMS není cítit, když je postižený sval v klidu. Je tedy nutné k vyvolání a cítění bolesti poskytnout mechanický podnět, jako je například palpace, kontrakce nebo natažení svalu. Toto tvrzení se



zřejmě projevilo také při porovnání naměřených hodnot v poloze sed a v poloze dřep. Zde jsme zjistili, že výsledky jsou signifikantně rozdílné ve všech sledovaných časech. Přitom v poloze sed se jedná o statisticky významně nižší hodnoty než v poloze dřep. Proto se nám hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti v poloze sed, pomocí VAS jeví jako nevhodné.

Výsledky mé bakalářské práce mohou primárně posloužit čtenářům, kteří se zajímají o vliv  $H_2$  na regeneraci po tréninkovém nebo závodním zatížení. Získané poznatky mohou být přínosem jak pro trenéry, tak pro aktivní sportovce, kteří mají problém s regenerací nebo ji chtějí podpořit a zefektivnit tréninkový proces a následně tak zvýšit celkovou výkonnost. Výsledky této práce by mohly vzbudit zájem u sportovců, kteří podstupují maximální zatížení v rámci několika hodin a potřebují rychle a efektivně regenerovat.

## 7 ZÁVĚRY

Hlavním cílem bakalářské práce bylo posoudit vliv HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi.

Z výsledků studie vyplývá, že zvolená strategie suplementace HRW významně snižuje hodnocení VAS v poloze dřep ve 12. hod ( $p = 0,045$ ) po intenzivním dvoufázovém zatížení u elitních plavců s ploutvemi. V poloze sed nebyly žádné statisticky významné rozdíly mezi HRW a placebem zaznamenány. Při porovnání hodnocení VAS v poloze dřep a v poloze sed byly prokázány signifikantní rozdíly ve všech sledovaných časech. V poloze sed byly naměřené hodnoty významně nižší v porovnání s hodnotami dosaženými v poloze dřep. Získané rozdíly naměřených hodnot dosahovaly statistické významnosti  $p = 0,002$  až  $p < 0,001$ .

## 8 SOUHRN

Bakalářská práce se zabývá vlivem administrace vody obohacené o molekulární vodík (HRW) na subjektivně vnímanou svalovou bolest během dvoufázového zatížení a následného 24hod zotavení u elitních plavců s ploutvemi. V teoretické části jsou uvedeny kapitoly o H<sub>2</sub>, jeho účincích a administraci. Dále o plavání s ploutvemi a kapitola zabývající se subjektivním vnímáním bolesti. Obsahem praktické části je výzkum, který byl proveden dvojité zaslepenou, randomizovanou, cross-over metodou a zahrnoval 12 elitních plavců s ploutvemi (4 muži a 8 žen) ve věku 17–30 let. Probandi absolvovali dvě totožná testování, kdy každé z nich obsahovalo dvě zatížení v plaveckém bazénu. Tréninková jednotka 1 měla charakter vysoce intenzivního intervalového zatížení a tréninková jednotka 2 obsahovala 400m kontinuální závodní zatížení. Subjektivně vnímanou svalovou bolest jsme měřili pomocí vizuální analogové stupnice (VAS). Měření VAS proběhlo v rámci testování v šesti různých časech a to konkrétně jako vstupní měření, po TJ1, před TJ2, 30 min po TJ2, 12 hod po TJ2 a 24 hod po TJ2. Hodnocení VAS bylo vždy zaznamenáno v poloze sed a poté v poloze dřep. Druhé testování proběhlo s odstupem jednoho týdne. Celý výzkum byl proveden v prostorách Aplikačního centra Baluo na Fakultě tělesné kultury, Univerzity Palackého v Olomouci.

Z výsledků studie vyplývá, že zvolená strategie suplementace HRW významně snižuje hodnocení VAS v poloze dřep ve 12. hod po intenzivním dvoufázovém zatížení u elitních plavců s ploutvemi. U ostatních naměřených hodnot VAS v poloze dřep je rozdíl zanedbatelný a nevykazuje významný vliv administrace HRW na subjektivně vnímanou svalovou bolest. Při hodnocení VAS v poloze sed nedochází k výrazným rozdílům v hodnotách naměřených při administraci HRW a placebo. Při porovnání hodnocení VAS v poloze dřep a v poloze sed byly prokázány signifikantní rozdíly ve všech sledovaných časech. V poloze sed byly naměřené hodnoty statisticky nižší v porovnání s hodnotami dosaženými v poloze dřep.

## 9 SUMMARY

This bachelor thesis investigates the effect of administration of molecular hydrogen-rich water (HRW) on subjectively perceived muscle pain during biphasic loading and subsequent 24-h recovery in elite finswimmers. The theoretical section includes chapters on H<sub>2</sub>, its effects and administration. There is also a chapter on swimming with fins and a chapter dealing with subjective pain perception. The content of the practical part is a research that was conducted with a double-blind, randomized, cross-over method and included 12 elite finswimmers (4 males and 8 females) aged 17-30 years. Subjects completed two identical testing sessions, each involving two loads in the swimming pool. Training unit 1 was a high-intensity interval load and training unit 2 contained a 400m continuous race load. Subjectively perceived muscle pain was measured using a visual analogue scale (VAS). The VAS was measured at six different times during testing, specifically as a baseline measurement, after TJ1, before TJ2, 30 min after TJ2, 12 h after TJ2, and 24 h after TJ2. VAS scores were always recorded in the sitting position and then in the squat position. The second testing was performed one week apart. The whole research was conducted in the premises of the Baluo Application Centre at the Faculty of Physical Culture, Palacký University in Olomouc.

The results of the study show that the chosen HRW supplementation strategy significantly reduces the VAS score in the squat position at 12 h after an intensive two-phase load in elite swimmers with fins. For the other measured VAS values in the squat position, the difference is negligible and shows no significant effect of HRW administration on subjectively perceived muscle pain. When assessing VAS in the sitting position, there are no significant differences in the values measured with HRW and placebo administration. Comparison of VAS assessment in the squat and sit positions showed significant differences at all time points studied. In the sit position, the measured values were statistically lower compared to those obtained in the squat position.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Alharbi, A. A. D., Ebine, N., Nakae, S., Hojo, T., & Fukuoka, Y. (2021a). Application of molecular hydrogen as an antioxidant in responses to ventilatory and ergogenic adjustments during incremental exercise in humans. *Nutrients*, *13*(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nu13020459>
- Alharbi, A. A. D., Ebine, N., Nakae, S., Hojo, T., & Fukuoka, Y. (2021b). Application of Molecular Hydrogen as an Antioxidant in Responses to Ventilatory and Ergogenic Adjustments during Incremental Exercise in Humans. *Nutrients*, *13*(2), 459. <https://doi.org/10.3390/nu13020459>
- 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*(1), 12. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-12>
- Beecher, H. K. (1956). *Measurement of subjective responses: quantitative effects of drugs*. Oxford University Press.
- Bijur, P. E., Silver, W., & Gallagher, E. J. (2001). Reliability of the Visual Analog Scale for Measurement of Acute Pain. *Academic Emergency Medicine*, *8*(12), 1153–1157. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2001.tb01132.x>
- Boonstra, A. M., Schiphorst Preuper, H. R., Balk, G. A., & Stewart, R. E. (2014). Cut-off points for mild, moderate, and severe pain on the visual analogue scale for pain in patients with chronic musculoskeletal pain. *Pain*, *155*(12), 2545–2550. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2014.09.014>
- Borresen, J., & Ian Lambert, M. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, *39*(9), 779–795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Botek, M., Khanna, D., Krejčí, J., Valenta, M., McKune, A., Sládečková, B., & Klimešová, I. (2022). Molecular Hydrogen Mitigates Performance Decrement during Repeated Sprints in Professional Soccer Players. *Nutrients*, *14*(3), 1–10. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>
- 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 and Performance*, *15*(8), 1193–1196. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0507>
- 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*, 36(10), 2792–2799. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003979>
- Botek, M., Krejčí, J., Valenta, M., McKune, A., Sládečková, B., Konečný, P., Klimešová, I., & Pastucha, D. (2022). Molecular Hydrogen Positively Affects Physical and Respiratory Function in Acute Post-COVID-19 Patients: A New Perspective in Rehabilitation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph19041992>
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Cheung2003.Pdf. *Sports Medicine*, 33(2), 145–164.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Vol. 2). Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, S. L., Moore, A. R., & McQuay, H. J. (1997). The visual analogue pain intensity scale: what is moderate pain in millimetres? *Pain*, 72(1), 95–97. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(97\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(97)00005-5)
- Crichton, N. (2001). Visual Analog Scale (VAS) - in depth. *Journal of Clinical Nursing*, 10, 697–706.
- Čechovská, I., & Dobrý, L. (2008). *Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití*. *Tělesná výchova a sport mládeže*, 74(3), 37-45.
- Čuříková, L. (2014). *Vodní sporty a zábavné formy plavání* [Vysokoškolská skripta].
- 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). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06883-9>
- Daďová, K. (2015). *Subjektivní vnímání tělesné zátěže*. Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Dobashi, S., Takeuchi, K., & Koyama, K. (2020). Hydrogen-rich water suppresses the reduction in blood total antioxidant capacity induced by 3 consecutive days of severe exercise in physically active males. *Medical Gas Research*, 10(1), 21. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.279979>
- Dong, G., Fu, J., Bao, D., & Zhou, J. (2022). Short-Term Consumption of Hydrogen-Rich Water Enhances Power Performance and Heart Rate Recovery in Dragon Boat Athletes:

- Evidence from a Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5413. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095413>
- Drid, P., Trivic, T., Casals, C., Trivic, S., Stojanovic, M., & Ostojic, S. M. (2016). Is molecular hydrogen beneficial to enhance post-exercise recovery in female athletes? *Science & Sports*, 31(4), 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.04.010>
- Dubner, R. (1990). The neural basis of oral-facial function and pain. *American Journal of Orthodontics*, 50, 1990.
- Fleckenstein, J., König, M., Vogt, L., & Banzer, W. (2017). The pain threshold of high-threshold mechanosensitive receptors subsequent to maximal eccentric exercise is a potential marker in the prediction of DOMS associated impairment. *PLoS ONE*, 12(10), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185463>
- Gearhart, 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>
- Geva, N., Pruessner, J., & Defrin, R. (2017). Triathletes Lose Their Advantageous Pain Modulation under Acute Psychosocial Stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(2), 333–341. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001110>
- Huskisson, E. C., Sturrock, R. D., & Tugwell, P. (1983). Measurement of patient outcome. *British journal of rheumatology*, 22(3 Suppl), 86–89. [https://doi.org/10.1093/rheumatology/xxii.suppl\\_1.86](https://doi.org/10.1093/rheumatology/xxii.suppl_1.86)
- 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. <https://doi.org/10.1177/147323001003800602>
- 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). <https://doi.org/10.4103/2045-9912.296038>
- Hori, A., Sobue, S., Kurokawa, R., Hirano, S., Ichihara, M., & Hotta, N. (2020). Two-week continuous supplementation of hydrogenrich water increases peak oxygen uptake during an incremental cycling exercise test in healthy humans: a randomized, single-blinded, placebo-controlled study. *Medical Gas Research*, 10(4), 163. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.304223>
- Hotfiel, T., Freiwald, J., Hoppe, M., Lutter, C., Forst, R., Grim, C., Bloch, W., Hüttel, M., & Heiss, R. (2018). Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and

- Diagnostics. *Sportverletzung · Sportschaden*, 32(04), 243–250. <https://doi.org/10.1055/a-0753-1884>
- Howatson, G., & Van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38(6), 483–503. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838060-00004>
- 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>
- Ichihara, M., Sobue, S., Ito, M., Ito, M., Hirayama, M., & Ohno, K. (2015). Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen - Comprehensive review of 321 original articles. *Medical Gas Research*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s13618-015-0035-1>
- Ishibashi, T. (2013). Molecular Hydrogen: New Antioxidant and Anti-inflammatory Therapy for Rheumatoid Arthritis and Related Diseases. *Current Pharmaceutical Design*, 19(35), 6375–6381. <https://doi.org/10.2174/13816128113199990507>
- Jakeman, J. R., Byrne, C., & Eston, R. G. (2010). Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1137–1144. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1464-0>
- Javorac, D., Stajer, V., Ratgeber, L., Betlehem, J., & Ostojic, S. (2019). Short-term H<sub>2</sub> inhalation improves running performance and torso strength in healthy adults. *Biology of Sport*, 36(4), 333–339. <https://doi.org/10.5114/biolport.2019.88756>
- Joyce, C. R. B., Zutshi, D. W., Hrubes, V., & Mason, R. M. (1975). Comparison of fixed interval and visual analogue scales for rating chronic pain. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 8(6), 415–420. <https://doi.org/10.1007/BF00562315>
- Kallus, W., & Kellmann, M. (2016). *The Recovery-Stress Questionnaires : User Manual The Recovery-Stress Questionnaires : User Manual Michael Kellmann , PhD The University of Queensland , Australia. June.*
- 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. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>



- Kawamura, T., Suzuki, K., Takahashi, M., Tomari, M., Hara, R., Gando, Y., & Muraoka, I. (2018). Involvement of neutrophil dynamics and function in exercise-induced muscle damage and delayed-onset muscle soreness: Effect of hydrogen bath. *Antioxidants*, 7(10). <https://doi.org/10.3390/antiox7100127>
- Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and Recovery. *Sports Medicine*, 26(1), 1–16. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00001>
- Lau, W. Y., Muthalib, M., & Nosaka, K. (2013). Visual analog scale and pressure pain threshold for delayed onset muscle soreness assessment. *Journal of Musculoskeletal Pain*, 21(4), 320–326. <https://doi.org/10.3109/10582452.2013.848967>
- Levine, J. D., Gordon, N. C., & Fields, H. L. (1982). Naloxone Fails to antagonize nitrous oxide analgesia for clinical pain. *Pain*, 13(2), 165–170. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(82\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0304-3959(82)90026-4)
- Li, T., Sun, T., Wang, Y., Wan, Q., Li, W., & Yang, W. (2022). Molecular hydrogen alleviates lung injury after traumatic brain injury: Pyroptosis and apoptosis. *European Journal of Pharmacology*, 914, 174664. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2021.174664>
- Lipinski, B. (2011). Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/809696>
- Maciejewska-Skrendo, A., Pawlak, M., Leońska-Duniec, A., Jurewicz, A., Kaczmarczyk, M., Ciężczyk, P., & Leźnicka, K. (2021). Can Injuries Have a Lasting Effect on the Perception of Pain in Young, Healthy Women and Men? *Sports Health*, 13(3), 278–284. <https://doi.org/10.1177/1941738120953165>
- Maršálek, K. (1997). *Průběh kinematického řetězce lidského těla při plavání s monoploutví*. Diplomová práce, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova v Praze.
- Mazzei V., F. S. M. M. (2013). *Learn the Monofin. Analysis and Management of the Tool and the Techniques*. Addictions-Magenes Editoriale.
- 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. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(9), 857–862. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0059>
- MORGAN, W. P., COSTILL, D. L., FLYNN, M. G., RAGLIN, J. S., & O'CONNOR, P. J. (1988). Mood disturbance following increased training in swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 20(4), 408–414. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00014>
- Nakashima-Kamimura, N., Mori, T., Ohsawa, I., Asoh, S., & Ohta, S. (2009). Molecular hydrogen alleviates nephrotoxicity induced by an anti-cancer drug cisplatin without compromising anti-tumor activity in mice. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, 64(4), 753–761.

<https://doi.org/10.1007/s00280-008-0924-2>

- Nicolson, G. L., de Mattos, G. F., Settineri, R., Costa, C., Ellithorpe, R., Rosenblatt, S., La Valle, J., Jimenez, A., & Ohta, S. (2016). Clinical Effects of Hydrogen Administration: From Animal and Human Diseases to Exercise Medicine. *International Journal of Clinical Medicine*, *07*(01), 32–76. <https://doi.org/10.4236/ijcm.2016.71005>
- Nogueira, J. E., Passaglia, P., Mota, C. M. D., Santos, B. M., Batalhão, M. E., Carnio, E. C., & Branco, L. G. S. (2018). Molecular hydrogen reduces acute exercise-induced inflammatory and oxidative stress status. *Free Radical Biology and Medicine*, *129*, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.09.028>
- O'Connor, P. J., & Cook, D. B. (1999). Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exercise and sport sciences Creviews*, *27*, 119–166. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10791016>
- Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K. I., 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>
- 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*, *45*(5), 513–519. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0553>
- Ostojic, S. M. (2015). Molecular hydrogen: An inert gas turns clinically effective. *Annals of Medicine*, *47*(4), 301–304. <https://doi.org/10.3109/07853890.2015.1034765>
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, *17*(1), 45–56. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(83\)90126-4](https://doi.org/10.1016/0304-3959(83)90126-4)
- Pyne, D. B. (1994). Exercise-induced muscle damage and inflammation: A review. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, *26*(3–4), 49–58.
- 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), 1–8. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20192018296>
- Revill, S. I., Robinson, J. O., Rosen, M., & Hogg, M. I. J. (1976). The reliability of a linear analogue for evaluating pain. *Anaesthesia*, *31*(9), 1191–1198. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1976.tb11971.x>
- Rushall, B. S. (1990). A tool for measuring stress tolerance in elite athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, *2*(1), 51–66. <https://doi.org/10.1080/10413209008406420>

- Schieber, M., & Chandel, N. S. (2014). ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current Biology*, 24(10), R453–R462. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.034>
- Shibayama, Y., Dobashi, S., Arisawa, T., Fukuoka, T., & Koyama, K. (2020). Impact of hydrogen-rich gas mixture inhalation through nasal cannula during post-exercise recovery period on subsequent oxidative stress, muscle damage, and exercise performances in men. *Medical Gas Research*, 10(4), 155. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.304222>
- Svaz potápěčů České republiky (2018). Plavání s ploutvemi. *Mezinárodní pravidla a*
- Svaz potápěčů Moravy a Slezska (2015). *Ploutvové plavání – moderní sport*. Retrived 12.1.2023 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
- Sun, X., Ohta, S., & Nakao, A. (Ed.). (2015). *Hydrogen Molecular Biology and Medicine*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9691-0>
- Takekura, H., Fujinami, N., Nishizawa, T., Ogasawara, H., & Kasuga, N. (2001). Eccentric exercise-induced morphological changes in the membrane systems involved in excitation—contraction coupling in rat skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 533(2), 571–583. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0571a.x>
- Timón, R., Olcina, G., González-Custodio, A., Camacho-Cardenosa, M., Camacho-Cardenosa, A., & Guardado, I. (2021). Effects of 7-day intake of hydrogen-rich water on physical performance of trained and untrained subjects. *Biology of Sport*, 38(2), 269–275. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2020.98625>
- 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*, 2020, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2020/8836070>
- Veqar, Z., & Imtiyaz, S. (2014). Vibration therapy in management of delayed onset muscle soreness. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8(6), 10–13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/7323.4434>
- Weigl, K., & Forstner, T. (2021). Design of Paper-Based Visual Analogue Scale Items. *Educational and Psychological Measurement*, 81(3), 595–611. <https://doi.org/10.1177/0013164420952118>
- Zhou, K., Liu, M., Wang, Y., Liu, H., Manor, B., Bao, D., Zhang, L., & Zhou, J. (2023). Effects of molecular hydrogen supplementation on fatigue and aerobic capacity in healthy adults: A

systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 10.  
<https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1094767>

## 11 PŘÍLOHY

### 11.1 Vyjádření Etické komise FTK UP



Fakulta  
tělesné kultury

#### Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně  
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.  
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.  
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.  
doc. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.  
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.

Na základě žádosti ze dne **6. 1. 2020** byl projekt výzkumné práce

Autor (hlavní řešitel): **Mgr. Barbora Sládečková**

s 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**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **25 / 2020**  
dne: **9. 1. 2020**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury  
Komise etická  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

za etickou komisí FTK UP  
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.  
člen komise