

Univerzita Palackého v Olomouci Fakulta tělesné kultury

**Vliv molekulárního vodíku na odezvu organismu během silového tréninku a
24 hodinového zotavení**

Diplomová práce

Autor: Bc. Ondřej Švébiš

Studijní obor: TVS

Vedoucí práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2020

Jméno a příjmení autora: Bc. Ondřej Švébiš

Název diplomové práce: Vliv molekulárního vodíku na odezvu organismu během silového tréninku a 24 hodinového zotavení

Pracoviště: Katedra přírodních věd v Kinantropologii

Vedoucí diplomové práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2020

Abstrakt: Cílem této práce bylo zjistit účinek molekulárního vodíku v podobě hydrogenované vody na odezvu organismu během intenzivního silového zatížení a následné 24 hodinové zatížení. Dílčími cíli bylo posoudit vnímání subjektivních pocitů, fyziologickou a výkonovou odpověď na zátěžový protokol a na následující 24 hodinové zotavení. Celkově bylo probandům podáno 1260 ml HRW rozdělené do 5 dávek. Jednalo se o randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou crossover studii. Studie se zúčastnilo 12 zdravých mužů v průměrném věku 23.8 ± 1.9 let, kteří absolvovali zátěžový protokol celkem 2x. Jednou s HRW a jednou s placebem. Zátěžový protokol se skládal ze 4 silových cvičení v následujícím pořadí: dřep do 90° , flexe v kolenním kloubu, extenze v kolenním kloubu,, výpady. V polovině a bezprostředně po ukončení cvičení byla měřena hladina laktátu, Borgova škála, VAS škála. Byl také měřen čas provedení každé série. Hladina kreatinkinázy, vertikální skok a variabilita srdeční frekvence byla měřena v 30 min, 6h a 24h po ukončení cvičení. Při suplementaci HRW byla ve srovnání s placebem zjištěna nižší hladina laktátu v polovině cvičení (HRW: $5,3 \pm 2,1$ mmol.L⁻¹, placebo: $6,5 \pm 1,8$ mmol.L⁻¹) a bezprostředně po cvičení (HRW: $5,1 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹, placebo: $6,3 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹). Ve všech třech sériích byl zjištěn rychlejší čas provedení s HRW ($43,4 \pm 5,3$; $42,7 \pm 3,2$; $42,8 \pm 2,9$ s) v porovnání s placebem ($45,6 \pm 4,1$; $46,6 \pm 2,8$; $47,5 \pm 2,8$ s). VAS bylo významně nižší s HRW (26 ± 11 mm) v porovnání s placebem (41 ± 20 mm) ve 24 hodině po cvičení. Z výsledku jsme vyvodili závěr, že suplementace HRW pozitivně ovlivňuje hladinu laktátu, má únavu snižující efekt a zmírňuje nástup bolestivosti svalů ve 24 hodině zotavení.

Klíčová slova: hydrogenovaná voda, zánět, svalová bolest, silový trénink, oxidační stres, zotavení

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Bc. Ondřej Švébiš

Title of the thesis: The effect of molecular hydrogen on body's response during strength training and 24-hour recovery

Department: Department of nature science in Kinantropology

Supervisor: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

The year of presentation: 2020

Abstract:

We studied the effect of HRW on body's response during an intense strength loading with subsequent 24-hour rest. The partial goals were to assess the perception of subjective feelings, physiological and performance response to the exercise protocol and to the subsequent 24-hour recovery. A total of 1260 ml of HRW divided into 5 doses was administered to the probands. This was a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. The study involved 12 healthy men with a mean age of 23.8 ± 1.9 years, who completed the exercise protocol once with HRW and once with placebo. The exercise protocol consisted of a squat to 90° , knee flexion, knee extension and lunges. We measured the lactate level, Borg scale and VAS scale in the middle and immediately after the end of the exercise protocol. We measured the Creatine kinase level, vertical jump, and heart rate variability at 30 min, 6 h, and 24 h after the completion of the exercise protocol. We also measured the total time of each set of lunges. HRW supplementation resulted in lower lactate levels in the middle of exercise (HRW: $5,3 \pm 2,1$ mmol.L⁻¹, placebo: $6,5 \pm 1,8$ mmol.L⁻¹) and immediately after exercise (HRW: $5,1 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹) compared to placebo (placebo: $6,3 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹). In all three sets, there was a faster execution time with HRW ($4,4 \pm 5,3$; $42,7 \pm 3,2$; $42,8 \pm 2,9$ s) compared to placebo ($45,6 \pm 4,1$; $46,6 \pm 2,8$; $47,5 \pm 2,8$ s). VAS was significantly lower with HRW (26 ± 11 mm) compared to placebo (41 ± 20 mm) at 24 hours post-workout. From the results, we concluded that HRW supplementation positively affects lactate levels, has a fatigue-reducing effect and alleviates the delayed onset of muscle soreness at 242 hours of recovery.

Key words: hydrogen-rich water, inflammation, muscle pain, strength training, oxidative stress, recovery

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a pod vedením doc. PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 15. 5. 2020

.....

Děkuji doc. PhDr. Michalovi Botkovi, Ph.D. za vedení, pomoc a čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce. Také děkuji všem probandům, kteří se zúčastnili a rovněž RNDr. Jakubu Krejčímu, Ph.D. a Mgr. Barboře Sládečkové za pomoc při výzkumu.

Práce vznikla za podpory výzkumného grantu Univerzity Palackého v Olomouci č. IGA_FTK_2020_007.

Tato studie byla také podpořena výzkumným projektem vědeckotechnického parku Aplikační centrum BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci s názvem: *“Assessment of the effectiveness of healthy and active lifestyle of adult individuals on selected health indicators with the participants of research conducted by BALUO Application Centre of Faculty of Physical Culture, Palacký University Olomouc – retrospective study”*.

Seznam použitých zkratk

1RM	Jedno opakovací maximum (one repetition max)
CK	Kreatinkináza
d	Síla účinku
DOMS	Opožděný nástup svalové bolesti
H ₂	Molekulární vodík
HRW	Hydrogenovaná voda (hydrogen-rich water)
La	Laktát
ORP	Oxidačně-redukční potenciál
p	Statistická významnost
ROS	Volné radikály (reactive oxygen species)
SD	Směrodatná odchylka
VSF	Variabilita srdeční frekvence

Obsah

1	Úvod.....	11
2	PŘEHLED POZNATKŮ	13
2.1	Síla	13
2.1.1	Faktory ovlivňující svalovou sílu	14
2.1.2	Silový trénink	15
2.1.3	Principy silového tréninku	15
2.1.4	Základní parametry silového tréninku	16
2.1.5	Metody silového tréninku	21
1.2	Tělesné zatížení.....	23
1.2.2	Zánětlivý proces	23
1.2.3	Oxidační stres.....	26
1.3	Molekulární vodík.....	29
1.3.2	Molekulární vodík a jeho aplikace.....	29
1.3.3	Využití H ₂ v běžné medicíně.....	30
1.3.4	Využití H ₂ ve sportovní medicíně.....	31
3	CÍLE PRÁCE HYPOTÉZY A VÝZKUMNÉ OTÁZKY	38
3.1	Hlavní cíl.....	38
3.2	Dílčí cíle	38
3.3	Hypotézy	38
3.4	Výzkumné otázky	38
4	METODIKA PRÁCE	39
4.1	Charakteristika výzkumného souboru	39
4.2	Organizace měření	39
4.2.2	Analýza tělesného složení.....	40
4.2.3	Stanovení 1RM.....	40
4.2.4	Borgova RPE škála	41

4.2.5	VAS škála	41
4.2.6	Vertikální skok.....	42
4.2.7	Variabilita srdeční frekvence.....	42
4.2.8	Zátěžový protokol	43
4.2.9	Harmonogram podávání a charakteristika HRW/placeba	44
4.2.10	Měření hladiny laktátu a CK.....	45
4.3	Statistická analýza dat	46
5	VÝSLEDKY	47
5.1	Vliv HRW/placebo na délku provedení cviku – výpady	47
5.2	Vliv HRW/placebo na hladinu laktátu	48
5.3	Vliv HRW/placebo na úroveň svalové bolesti (VAS škála).....	49
5.4	Vliv HRW/placebo na subjektivně vnímané úsilí.....	50
5.5	Vliv HRW/placebo na hladinu CK	51
5.6	Vliv HRW/placebo na vertikální skok.....	52
5.7	Vliv HRW/placebo na VSF	52
5.8	Vyjádření k hypotézám.....	54
6	DISKUZE.....	55
7	ZÁVĚRY	59
8	SOUHRN	60
9	SUMMARY	62
	REFERENČNÍ SEZNAM	64

1 Úvod

V mé diplomové práci se budeme zabývat účinky hydrogenované vody (HRW), respektive molekulárního vodíku (H_2) a odezvou organismu na intenzivní silové zatížení. HRW je v posledních letech předmětem mnoha výzkumů v medicínské, ale i sportovní oblasti. Nedávno byl H_2 považován jako fyziologicky neúčinný a nevěnovala se tomuto nejléčivému chemickému prvku dostatečná pozornost. Vše ale změnila publikace od Ohsawy et al. (2007) který ve svém výzkumu potvrdil antioxidační účinky na organismus při selektivním redukování volných kyslíkových radikálů, které jsou pro tělo nebezpečné. Tento výzkum spustil kaskádu dalších studií, které se věnovali problematice H_2 jak v medicíně, tak ve sportu. V medicínské praxi existuje více než 450 studií, které se zabývají H_2 a jeho účinky u mnoha onemocnění a chorob, které doprovází oxidační stres a vysoká hladina volných kyslíkových radikálů (dále jen ROS) (viz kapitola 1.3.2). Ve sportovní praxi se potvrdila schopnost H_2 redukovat pozátěžový laktát (dále jen La) (Aoki et al., 2012; Botek et al., 2019; Drid et al., 2016), udržet stálé pH krve (Ostojic & Stojanovic, 2014), zlepšovat funkčnost svalstva (Ara et al., 2018; Botek et al., 2020) nebo využít H_2 jako vhodný terapeutický prostředek při léčení sportovního zranění (Huang et al., 2015; Ostojic et al., 2014).

Ještě nedávno se silový trénink považoval za doménu výjimečně pro sportovce, kteří potřebují vysokou úroveň síly. Patří mezi ně např. powerlifteři, vzpěrači, kulturisti aj. Sportovci jiných sportovních odvětví považovali silový trénink za nepotřebný s domněnkou, že brání jejich sportovnímu výkonu a vlivem rozvoje techniky bylo pěstování svalové síly podceňováno (Máček & Radvanský, 2011; Westcott, 2012). Nicméně v posledních letech se rozvoj síly stal důležitou součástí tréninku v mnoha sportech a sportovních hrách jako např. házená, volejbal, fotbal, basketbal nebo florbal atd. (Lehnert et al., 2014).

Je známo, že svalová kontrakce v rámci silového tréninku způsobuje poškození svalových vláken a to je doprovázeno opožděným nástupem silové bolesti (DOMS). DOMS je odpověď lidského organismu na silový trénink a způsoben více faktory jako: zvýšení hladiny La, kreatinkinázy (dále jen CK), vodíkových iontů H^+ , ROS a vytvoření zánětu v oblasti poškození (Close et al., 2005; Zajac, Waskiewicz & Pilis, 2001).

Dosud zjištěné účinky H_2 ve sportu jsou velice zajímavé. A protože bylo doposud provedeno velice malé množství studií zaměřující se na H_2 a jeho účinky na silové zatížení, rozhodl jsem se provést tuto pilotní studii a přispět tak svým dílem k této

problematicke, která by mohla mít přínos nejen pro vědu, ale i pro trenéry různých sportovních odvětví.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Síla

Existuje mnoho definic, jak popsat silovou schopnost. Uvedeme definice z domácí i zahraniční literatury. Například Havel a Hnízdil (2009) popisují silovou schopnost, jako základní a rozhodující schopnost jedince. Bez ní se při pohybové činnosti jedince nemohou ostatní schopnosti projevit. Je považována za důležitý činitel sportovní výkonnosti i rehabilitace. Podobně ji popisují Lehnert et al. (2010) jako schopnost, která je nedílnou součástí všech sportovních výkonů. Považují ji za jednu z klíčových kondičních schopností, díky které lze efektivně realizovat pohyb. Dále ji popisují jako schopnost, kterou můžeme překonávat, brzdit, nebo odolávat zvýšenému odporu pomocí svalové kontrakce. Kontrakci rozlišují statickou a dynamickou. Zatsiorsky (2002) definuje sílu jako schopnost překonat vnější odpor nebo mu odporovat svalovým úsilím. Knuttgen a Kraemer (1987) formulují sílu jako maximální sílu, kterou může sval nebo svalová skupina generovat při určité rychlosti.

Podle Periče (2004) Periče a Dovalila (2010) a Stoppaniho (2016) vychází dělení silových schopností především z typů svalových kontrakcí. Podle změny délky svalu a podle napětí svalu rozlišujeme kontrakci:

- Izometrickou, statickou – délka se nemění, ale napětí ve svalu se zvyšuje. Velikost odporu je stejná jako vyvinutá síla působící proti němu.
- Izotonicou, dynamickou – délka svalu se mění, ale napětí zůstává přibližně stejné. Izotonicou (dynamickou) kontrakci můžeme rozdělit dále podle typu pohybu svalu jako:
 - Koncentrickou – sval se zkracuje, napětí se nemění. Dochází ke zkrácení svalových vláken, pokud je svalová síla větší než hmotnost břemene.
 - Excentrickou (brzdivou) – sval se protahuje, napětí se nemění. Dochází k prodlužování svalových vláken, pokud je svalová síla menší než hmotnost překonávaného břemene.

Dynamická síla je podle Zahradníka a Korvase (2017) svalová akce dynamického charakteru, která je charakteristická pohybem těla a jeho segmentů. Spolu s Peričem a Dovalilem (2010) dělí dynamickou sílu v souvislosti s rychlostí pohybu a velikostí odporu následovně:

- Výbušná (explozivní) síla – tato svalová schopnost je charakteristická maximálním jednorázovým (acyklickým) zrychlením pohybu s nízkým odporem. Jsou to např. hody, odrazy atd.
- Maximální síla (absolutní) – touto svalovou schopností se překonávají velmi vysoké vnější odpory malou rychlostí při jednom opakování. Např. při benchpressu či mrtvém tahu.
- Vytrvalostní síla – je projevoována opakovaným překonáváním poměrně nízkých odporů. Provádí se nízkou rychlostí při cyklických pohybech. Jde např. o veslování nebo běhu na lyžích.
- Reaktivní síla – u této silové schopnosti je typická realizace pohybu, který využívá cyklus protažení a následného zkrácení svalu v časové době do 200ms od zahájení pohybu.

Tabulka 1. Určení silové schopnosti podle velikosti odporu, rychlosti pohybu a počtu opakování. Převzato a upraveno dle Dovalil et al., 2002, 27.

Druh silové schopnosti	Velikost odporu	Rychlost pohybu	Opakování (trvání pohybu)
Absolutní	maximální	malá	krátce
Rychlá (výbušná)	nemaximální	maximální	krátce
Vytrvalostní	nemaximální	nemaximální	dlouho

1.1.1 Faktory ovlivňující svalovou sílu

Existuje více faktorů ovlivňujících svalovou sílu. Za jedny z hlavních činitelů ovlivňující svalovou sílu považují Lehnert et al. (2014) a Havlíčková et al. (1999):

- Nitrosvalovou (intramuskulární) koordinaci. Z tohoto hlediska je velikost síly dána především nábořem motorických jednotek, frekvencí dráždění zapojených motorických jednotek a jejich synchronizace.
- Mezisvalová (intermuskulární) koordinace. Tato koordinace se projevuje zejména synchronizací zapojených svalů (agonistů a antagonistů) při vykonávání určitého pohybu za účelem dosažení silového maxima.
- Množství svalové hmoty. Nejčastěji je hodnocena velikost příčného průřezu svalu. Pro konkrétní sporty je důležitý poměr příčného průřezu pomalých a rychlých svalových vláken. Většinou jsou rychlá vlákna v menším zastoupení,

než vlákna pomalá. Nicméně rychlá vlákna lépe hypertrofují než pomalá vlákna.

- Energetické zdroje a jejich zásoba a mobilizace ve svalu. Člověk je při produkci síly závislý na zásobě zdrojů energie ve svalu a schopnosti využít a mobilizovat pohotovostní a doplňkové substráty ve svalu.
- Elasticita svalové a šlachové tkáně. Uplatňuje se hlavně v cyklu natažení - zkrácení svalových vláken (plyometrická metoda – viz metody silového tréninku kapitola 1.1.5)
- Naladění aktivační úrovně CNS (centrální nervová soustava). Pro vykonání maximálního výkonu sportovce hraje roli jeho soustředěnost a motivace.
- Poslední faktorem je zvládnutí techniky prováděného pohybu či cvičení. U sportovce se projevuje zautomatizováním pohybů a správným naučením pohybových stereotypů.

1.1.2 Silový trénink

Trenér by měl uplatňovat trénink síly u všech věkových kategorií. Silový trénink je jedna z hlavních částí rozvoje kondice a kondičního tréninku. Pro efektivní provádění silového tréninku je důležité, aby trenér znal a uplatňoval základní poznatky o silovém tréninku a informace s ním spojené. Mezi benefity jejich uplatňování patří např. navyšování sportovní výkonnosti, prevence zranění a s tím související delší kariéra. Při zařazování silového tréninku se rozvíjí i další pohybové schopnosti. Pokud se ale trenér dopouští základních chyb v silovém tréninku, může jeho svěřenec postupně ztrácet výkonnost a dokonce mu může i ublížit. Měl by tedy vědět jak manipulovat s různými proměnnými a řídit se základními principy silového tréninku (Lehnert et al., 2014; Psotta, 2006).

1.1.3 Principy silového tréninku

Mezi hlavní principy silového tréninku podle Stoppaniho (2008) a Stoppaniho (2016) patří:

- Princip specifičnosti – sestavení tréninkového plánu musí být takové, abychom dosáhli specifických změn.

- Princip postupného zvyšování zatížení – pro adaptaci potřebuje naše tělo určitý podnět. Toho docílíme tím, že budeme manipulovat se zatížením a budeme tělo vystavovat intenzivnějšímu adaptačnímu podnětu.
- Princip individualizace – trenér by měl brát v potaz individuální charakteristiky. Každý z nás je trochu odlišný z pohledu trénovanosti, genetiky, pohybových schopností i osobních cílů. Proto je potřeba silový trénink individualizovat, aby měl optimální účinek na každého svěřence.
- Princip variability – jak bylo výše zmíněno, adaptace v našem těle proběhne pouze, pokud je naše tělo vystavováno adekvátním podnětům v podobě tělesného zatížení. To znamená, že je důležité měnit i tréninkový program a střídat tréninkové metody.
- Princip udržování – po dosažení cíle (sportovní formy) je důležité neustále cvičit a tuto formu udržovat. Cvičení nemusí být tak častá a je možnost věnovat se i jiným složkám kondiční přípravy.
- Princip reverzibility – pokud tělo není vystavováno adaptačním podnětům a dávky tréninku klesnou pod udržovací úroveň, začne tělo a jeho silová úroveň stagnovat na původní úrovni.

1.1.4 Základní parametry silového tréninku

Každý sport má jiné nároky na jednotlivé druhy síly a adaptace vyvolané silovým tréninkem. Proto by trenér měl znát základní metodotvorné činitele, díky kterým optimalizuje trénink k vyžadovaným cílům. (Lehnert, 2010)

Jansa, Dovalil & Bunc (2009) zmiňují tři základní parametry:

- Velikost odporu.
- Počet opakování.
- Rychlost provedení pohybu.

Grasgruber & Cacek (2008) a Lehnert et al. (2014) zmiňují navíc:

- Dobu odpočinku (zotavení).
- Charakter odpočinku.

Velikost odporu

Velikost odporu úzce souvisí a současně limituje další činitele silového tréninku. Nejvíce je však spojena s počtem opakováním. Velikost odporu je dána většinou

hmotností použitého břemene, kinetikou použitého břemene, silou partnera, gravitací, odporem pružných předmětů, odporem vnějšího prostředí aj. (Perič & Dovalil, 2010).

Podle Lehnerta (2010) se velikost odporu stanovuje:

- Podle opakovacího maxima (anglicky RM – repetition max) – je to odpor, se kterým cvičenec provede technicky správně maximálně jedno opakování.
- Podle procenta (%) 1RM
- Podle zvolených fyzikálních veličin na trenažérech
- Podle kombinace hmotnosti břemene a výšky seskoku

Počet opakování

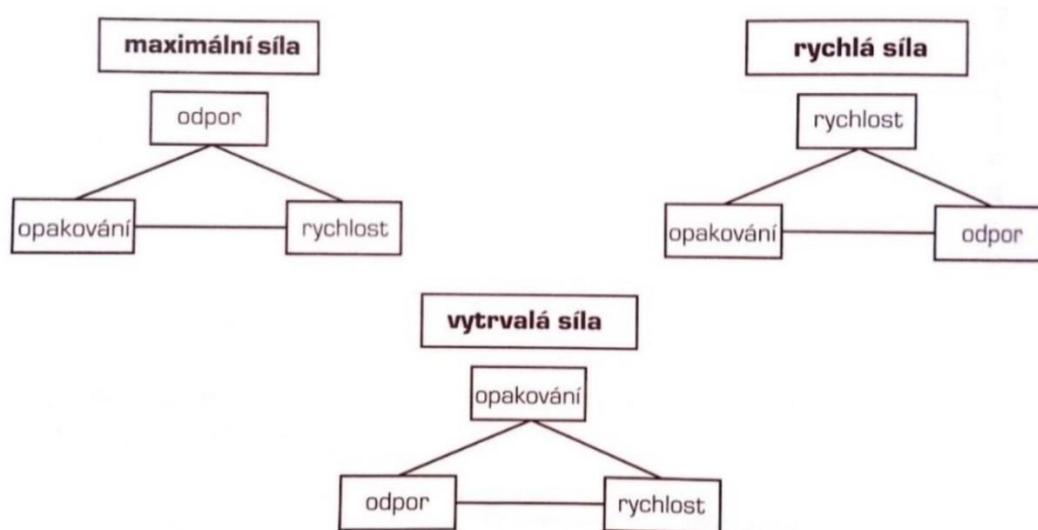
Jak bylo výše naznačeno, mezi velikostí odporu a počtem opakování existuje úzký vztah, a to takový, že počet opakování je nepřímo úměrný velikosti odporu. Platí pravidlo, že čím větší velikost odporu sportovec překonává, tím nižší je počet opakování, který může provést (Zahradník & Korvas, 2017). Na obrázku 1 můžeme vidět vztah mezi % 1RM a počtem maximálně povolených opakování podle Poliquina (1997).

Maximum Number of Repetitions	% of Maximum
1	100.0
2	94.3
3	90.6
4	88.1
5	85.6
6	83.1
7	80.7
8	78.6
9	76.5
10	74.4
11	72.3
12	70.3
13	68.8
14	67.5
15	66.2
16	65.0
17	63.8
18	62.7
19	61.6
20	60.6

Obrázek 1. Vztah mezi počtem opakování a % 1RM (Poliquin, 1997, 9).

Rychlost provedení pohybu

Při vyšší až maximální rychlosti se sval výrazně napíná, ale rychlost provedení pohybu se těžko kontroluje. Je vhodné zvážit využití speciálních trenažérů, které nám zajistí kontrolu nad tímto aspektem. Rychlost pohybu, počet opakování a velikost odporu jsou společně provázané. Podle toho, který z těchto činitelů je v popředí silového tréninku, stimulujeme buď maximální, výbušnou či vytrvalostní sílu viz obrázek 2 (Perič & Dovalil, 2010).



Obrázek 2. Schéma vztahu mezi rychlostí pohybu, odporem a počtem opakování (Perič & Dovalil, 2010, 81).

Doba odpočinku

Délka odpočinku by měla být tak dlouhá, aby došlo k obnově energetických zdrojů (Perič & Dovalil, 2010). Délka odpočinku se může měnit s ohledem na zaměření tréninku, vyzrálost sportovců či druhy svalových skupin. Mělo by také dojít k zotavení centrální nervové soustavy (CNS) (Lehnert et al., 2014). De Salles et al. (2009) provedli rešerši 35 studií, kde se zkoumala jak akutní reakce na silový trénink tak i chronické adaptace s variabilní dobou odpočinku. Zjistili, že z hlediska fyziologického i psychického se 3 – 5 minutová přestávka mezi sériemi zdá pro sportovce bezpečnější a spolehlivější.

Charakter odpočinku

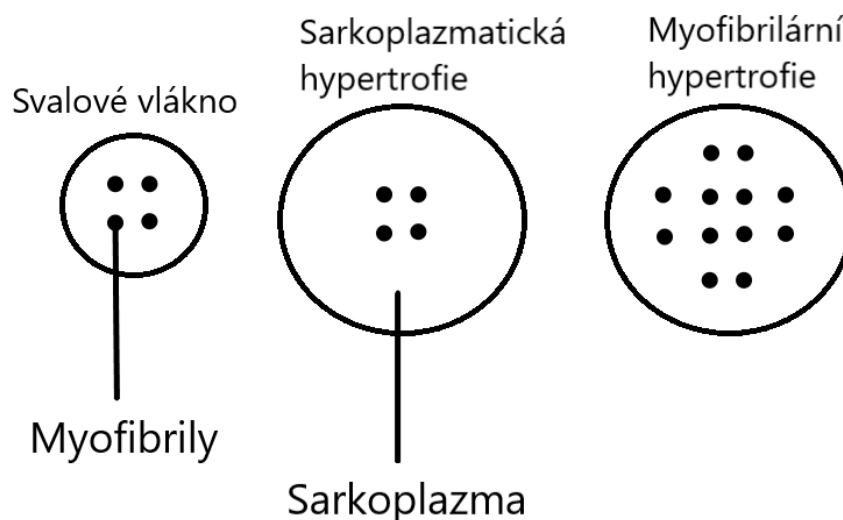
„Obecně se dá stanovit aktivní odpočinek mezi jednotlivými opakováními s lehkými protahovacími cviky, které jsou zaměřeny na posilované svalové partie. Podle některých autorů však není vhodné mezi jednotlivými opakováními zařazovat protahovací cvičení, neboť při nich dochází ke snížení svalového napětí, které se negativně projevuje v dalším opakování“ (Perič & Dovalil, 2010, 82).

Adaptace na silový trénink

Obecně se adaptací rozumí přizpůsobení sportovce opakující se zátěži. Toto přizpůsobení se projevuje funkčními a morfologickými změnami organismu sportovce. Zátěži můžeme rozumět jako stresovému podnětu, který narušuje klidový stav organismu (homeostázu). Pokud dlouhodobě organismus vystavujeme těmto stresovým podnětům, začne se tělo adaptovat a přestane na tyto podněty reagovat. Aby docházelo k adaptaci, je důležité, aby byl stresový podnět intenzivnějšího charakteru. Pokud není zatížení intenzivní, nedostaví se adaptační odpověď. Dále se musí k tréninku přistupovat z dlouhodobého hlediska a zatížení opakovat. Nesmí se opomíjet také adekvátní poměr zatížení a zotavení (Botek et al. 2017; Lehnert et al., 2010).

Za jednu z hlavních adaptací na silový trénink se považuje přírůstek svalové hmoty, který označujeme termínem hypertrofie. Ta se projevuje nejvíce u svalových vláken typu 2B (rychlá glykolytická), nicméně ji pozorujeme i u vláken typu 1 (červená pomalá) a 2A (rychlá oxidativní). S hypertrofií souvisí i nárůstek síly (Berry, 2017). Svalová hypertrofie znamená podle Botka et al. (2017) nárůst svalové hmoty z důvodu zvětšování objemu svalových vláken díky silovému tréninku. Hypertrofii dělíme na přechodnou a chronickou. Přechodnou hypertrofií rozumíme zvětšení svalové hmoty během a krátce po skončení silového tréninku z důvodu naplnění vnitrobuněčného prostoru tekutinou. Chronická hypertrofie se projevuje po opakovaném, dlouhodobém cvičení, a výsledkem jsou strukturální změny ve svalu (Kenney, Wilmore & Costill, 2012). Grasgruber a Cacek (2008) uvádí, že první známky hypertrofie je možno pozorovat po 6-8 týdnech silového tréninku. Botek et al. (2017) dělí hypertrofii na dva typy (viz obrázek 3):

- Sarkoplazmatická – jde o zvětšení objemu sarkoplazmy.
- Myofibrilární – větší počet aktinu a myozinu



Obrázek 3. Typy svalové hypertrofie (převzato a upraveno dle Botek et al., 2017, 52).

Další důležitou adaptací na silový trénink je zlepšení nervosvalová koordinace. Chronické neurální adaptace vedou k účinnějšímu náboru motorických jednotek, díky němuž je sval méně náchylný k únavě. Dále se také zlepšuje motorická koordinace agonistů a antagonistů a tím se zlepšuje efektivita pohybu. Jak jsme výše uvedli, svalová síla se zvětšuje se svalovou hypertrofií. Nicméně sportovec může dosahovat vyšší síly i bez dosažení hypertrofie. Důvodem je právě zlepšení koordinace svalů (Berry, 2017; Lehnert et al. 2014).

V neposlední řadě je důležité zmínit změny ve složení těla kosterního systému. Nejpoužívanější modelem složení těla se používá dvoukomponentový model. Ten Pastucha (2014) dělí na tuk a tukoprostou hmotu. Podle Berryho (2017) se tukoprostá hmota se zvyšuje z důsledku hypertrofie. Tělo si žádá více energie na udržování svalové hmoty (zvýší se kalorický výdej) a tím se snižuje tuková hmota. V dlouhodobém kontextu v silovém tréninku dochází ke zvýšení hustoty kostní tkáně. Layne a Nelson (1999) udělali přehled studií, které potvrzovali, že odporový trénink pozitivně ovlivňuje hustotu kostí u mladé i starší populace. Dobře zvolený a vedený silový trénink může udržovat i zvyšovat denzitu kostí u postmenopauzálních žen i seniorů. Podle Berryho (2017) můžeme vidět zlepšení v kostní denzitě od 6 do 8 týdnů pravidelného tréninku.

1.1.5 Metody silového tréninku

Grasburger & Cacek (2008), Lehnert et al. (2014) a Zahradník & Korvas (2017) popisují a dělí metody silového tréninku takto:

Metody s maximálním odporem

- Metoda maximálního úsilí (těžkoatletická). Tato metoda je charakteristická pomalou rychlostí provedení cviku s maximálním odporem. Slouží k rozvoji maximální síly. Tato metoda vyžaduje značnou úroveň svalové síly a techniky. Nikdy ji nezařazujeme na začátek kondiční přípravy a měli by ji volit jen silově připravení dospělí sportovci.
- Metoda excentrická (brzdivá). Sval je schopný vyvíjet asi o 30% vyšší sílu při supramaximálním odporu, když dojde k jeho prodloužení. Na tomto faktu je tato metoda založena a při cvičení se zapojují převážně rychlá svalová vlákna, která hypertrofují. Jako u metody maximálního úsilí, je tato metoda pro svou náročnost vhodná hlavně pro kvalitně připravené sportovce po silové stránce.
- Metoda izometrická. Při této metodě nedochází k prodloužení délky svalu. Je typická využíváním nepohyblivých předmětů nebo posilovacích přístrojů. Největší uplatnění pro přírůstek síly má při provádění cviku ve více úhlech. Tato metoda se nedoporučuje v tréninku dětí.

Metody nemaximální rychlostí s nemaximálním odporem

- Metoda opakovaných úsilí (kulturistická). Při této metodě se využívá submaximálních odporů a cvičí se nemaximální rychlostí. Při cvičení do vyčerpání se někdy využívá i dopomoc sparingpartnera.
- Metoda pyramidová. Tato metoda by se mohla nazvat variantou metody opakovaných úsilí. Spočívá v manipulaci s odporem a intervaly odpočinku, a ve zvyšování zátěže po každé sérii a její následnému snížení na původní úroveň.
- Metoda silově vytrvalostní. Pro tuto metodu je charakteristický vysoký počet opakování s odporem nízkého až středního charakteru. Tato metoda zlepšuje svalový i kardiovaskulární systém, nicméně nevede k hypertrofii ani ke zlepšení maximální síly.
- Metoda kruhového tréninku. Tato metoda se ve sportovní praxi objevuje a uplatňuje poměrně často u dětí, ale i dospělých sportovců. Soustřeďuje se na

rozvíjení pohybových schopností. Nejčastěji se skládá z 6 až 12 stanovišť uspořádaných do kruhu (může být i jiný tvar např. elipsa obdélník atd.) Zařazují se zde cvičení, které mají sportovci technicky zvládnuté. Typické je střídání stanovišť z hlediska zapojení svalových skupin (např. po cvičení zaměřené na spodní část těla následuje cvičení zaměřené na horní část těla).

- Izokinetická metoda. Touto metodou rozumíme spíše doplňkový prostředek tréninku cvičenců v obdobích, kdy podstupují specifické tréninky. Využívají se především speciální izokinetické přístroje. Na těchto přístrojích je umožněno cvičenci provést pohyb ve vymezeném rozsahu předem nastavenou rychlostí. Tyto přístroje umožňují provádět pouze izolovaný pohyb, což můžeme brát jako nevýhodu, protože nezapojujeme svaly se stabilizační funkcí.

Metody s nemaximálním odporem a maximální rychlostí pohybu

- Metoda rychlostní. Důležité je vyvíjet maximální rychlost pohybu. Používá se takový odpor, který nesmí výrazně zpomalit prováděné cvičení.
- Metoda explozivní. Podobá se metodě rychlostní s tím rozdílem, že odpor je vysoký (80 – 90 % 1RM).
- Metoda balistická. Metoda charakteristická prováděním pohybu maximální rychlostí s podstatně malým odporem. Cílem je dosažení závodní podoby pohybu po rychlostní i technické stránce. Síla, kterou sportovec vyvíjí, je značně vyšší než odpor náčiní.
- Metoda kontrastní. Je charakteristická střídáním vysokého a nízkého odporu. Důležitá je snaha o provedení pohybu maximální rychlostí. Motorické jednotky jsou nejvíce zapojovány při cvičení s vysokým odporem a dochází k vysoké frekvenci dráždění svalů pomocí nervových vzruchů. Podráždění svalů přetrvává určitý čas, který využíváme na cvičení s nižším odporem.
- Metoda plyometrická. Pro tuto metodu je typické využívání tzv. cyklu protažení a zkrácení svalu. Tento cyklus se objevuje v majoritě sportovních pohybů. Plyometrický trénink vyžaduje krátkou brzdou dráhu, přičemž se sval natáhne, a následující okamžitý explozivní pohyb v požadovaném směru, což vyvolá kontrakci svalu a jeho stáhnutí. Hlavními přínosy této metody je přírůstek explozivní síly a zdokonalení reaktivity centrální nervové soustavy.

Lehnert et al. (2014) zmiňuje ještě další dvě doplňkové metody. První je metoda elektrostimulace, která funguje na principu elektrických impulsů, které jsou aplikovány

na vybrané svalové partie pomocí elektrod. Druhou je metoda vibračního tréninku. Využívá se vibrační plošiny, která přenáší vibrace na sval. Sval opakovaně kontrahuje a relaxuje během krátké doby.

1.2 Tělesné zatížení

„Za zatížení se považuje pohybová činnost, která je vykonávána tak, že vyvolává žádoucí akutní změnu funkční aktivity člověka a ve svém důsledku trvalejší funkční, strukturální a psychosociální změny“ (Botek et al., 2017, 104). Dále Botek et al. (2017) popisuje tělesné zatížení organismu jako spouštěč stresové reakce. Lehnert et al. (2014) považuje stresovou reakci jako okamžitou odpověď organismu na stresový podnět (stresor). Za stresový podnět můžeme označit cokoli, co vyvolá stres a naruší dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí organismu neboli homeostázu. Základní reakcí organismu na stresor je podle Botka et al. (2017) aktivace stresové osy. Stresová osa je tvořena dvěma systémy, a sice autonomním systémem a humorálním systémem. Autonomní nervový systém má dva subsystémy, sympatikus a parasympatikus, které na orgány působí opačným způsobem. Humorálním systémem v kontextu aktivace stresové osy rozumíme vyplavení katecholaminů. Katecholaminy jsou stresové hormony (adrenalin, noradrenalin) produkované dřením nadledvin. Oba tyto systémy spolupracují a během zatížení mají za následek např. zvýšení tlaku krve, zrychlení srdeční frekvence, síly srdečního stahu, ventilace atd. (Botek et al., 2017; Lehnert et al., 2014).

1.2.2 Zánětlivý proces

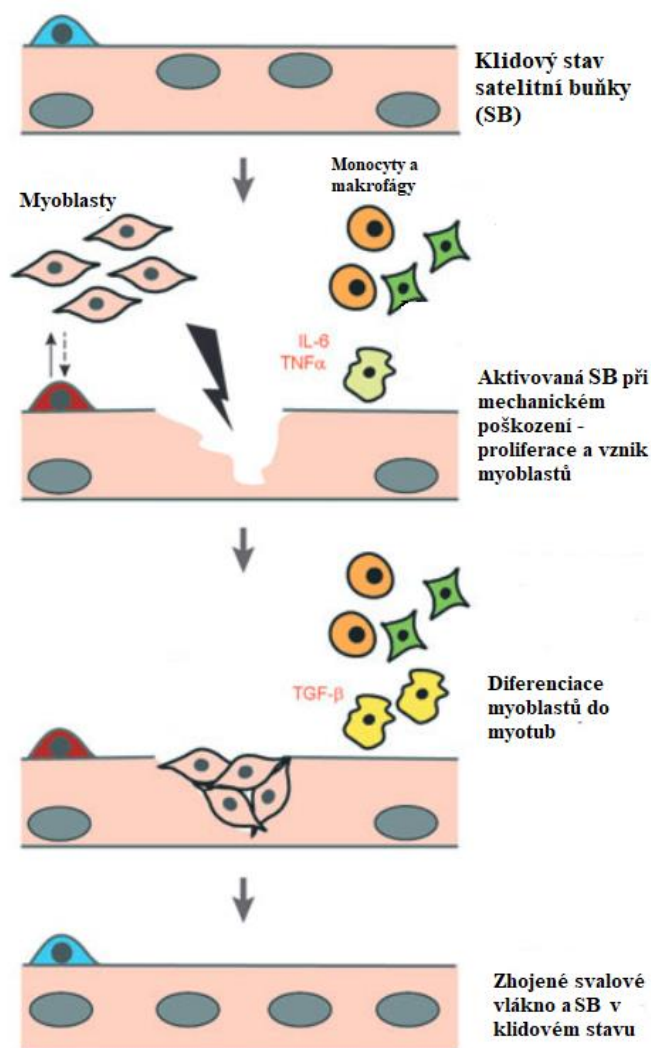
Role zánětu v těle nebyla pochopena několik let. Jde o jeden z nejdůležitějších mechanismů obrany člověka, protože ho chrání a vede k opravě poškozených tkání. Jde o odpověď imunitního systému na nebezpečné a pro tělo škodlivé podněty, jako jsou např. patogeny, poškozené buňky či toxické sloučeniny. Zánět funguje tak, že odstraní z těla látky, které jsou škodlivé a do těla nepatří, a zahájí hojící proces (Chen et al., 2017). Hořejší et al. (2017) dělí zánět na akutní a chronický. Akutní zánět má v lidském organismu pozitivní význam: vede k obnovení homeostázy tkáně a ke zhojení. V případě, že akutní zánět není řádně řešen, může akutní fáze přejít do fáze chronické. Chronický zánět můžeme vidět např. u sportovců, kteří nemají adekvátní regeneraci a pokračují ve sportování i přes nedoléčená mikrotraumata, zranění či nemoc. Akutní zánět je spuštěn např. různými poraněními, jako jsou např. říznutí, naražení, infekce,

vosí bodnutí atd. (Felman, 2020). Chronické stavy vedou k patologickým stavům (Hořejší et al., 2017; Chen et al., 2017; Máček & Radvanský, 2011).

Jedna z dalších příčin vyvolání akutního zánětu je trénink intenzivnějšího charakteru, jako je silový trénink. V silovém tréninku dochází k vysokému počtu kontrakcí, které vedou k poškození ve svalových strukturách, zejména Z-linií (Clarkson & Hubal, 2002). Také dochází ke zvýšení hladiny volných kyslíkových radikálů (Eckl & Steinbacher, 2015). Při poškození vznikají tzv. mikrotraumata. Mikrotraumata chápeme jako mikroskopická poškození měkkých tkání, která vedou k zánětu. Jejich rozsah závisí na objemu a intenzitě zátěže, ale také na tréninkové historii sportovce (Brumitt & Cuddeford, 2015). Cvičením vyvolané poškození myofibril vyvolá lokální zánět a spustí se zánětlivý proces. Zánětlivá reakce podporuje odstranění poškozených měkkých tkání, odpadních produktů a díky ní dochází k regeneraci svalových vláken. Tyto zánětlivé reakce vedou ke zvýšenému průtoku krve, pohybu tekutin, plazmatických bílkovin a leukocytů do míst, která jsou poškozená. Dochází k přechodnému snížení kapacity vyvolávající svalovou sílu (Ahtiainen, 2018; Hernandez & Kravitz, 2003). Kromě přechodného snížení schopnosti vyvolat sílu se lokální zánět podle Hořejšího et al. (2017) projevuje zčervenáním (rubor), otokem (tumor), zvýšením místní teploty (calor) a bolestivostí (dolor). Peake et al. (2017) pro bolestivost svalů používá termín DOMS (dále jen Delayed Onset Muscle Soreness), který můžeme volně přeložit jako opožděný nástup svalové bolestivosti. „DOMS narůstá na intenzitě během prvních 24h po cvičení, vrcholí během 24 – 48 hodin po cvičení a poté klesá během následujících 5 – 7 dnů“ (Plowman & Smith, 2008, 535).

Akutní zánětlivá reakce po cvičení zahrnuje makrofágy, které míří k poškozené oblasti a vylučují cytokiny a další látky. Cytokiny jsou bílkoviny, které fungují jako signální molekuly, starají se o mezibuněčnou komunikaci a mají protizánětlivý charakter. Cytokiny stimulují nahromadění buněk s léčivým potenciálem jako lymfocyty, neutrofilů, monocytů atd., k poškozeným oblastem. V místě poškození jsou uvolňovány zejména cytokiny typu IL-1, IL-6, IL-8 a TNF-alfa. Při vysoké hladině protizánětlivých cytokinů (zejména IL-6) se uvolňují i proteiny akutní fáze (ceruloplazmin, složka komplementu C3, haptoglobin, fibrinogen atd.), které mají za úkol vychytávat bakterie, volné radikály, volný hemoglobin a jejich produkty (Calle & Fernandez, 2010; Hernandez & Kravitz, 2003; Pedersen & Hoffman-Goetz, 2000). Uvolněné cytokiny také stimulují proliferaci satelitních buněk, což jsou prekurzory svalových vláken, které jsou přitahovány k poškozenému místu. Satelitní buňky se

vyskytují na vnějším povrchu svalových vláken mezi sarkolemou a bazálním plátem. Pokud není sval poškozený, tak zůstávají v klidu a aktivují se při mechanickém přetížení (obrázek 4) (Botek et al., 2017; Peake et al., 2017). Podle Švestkové et al. (2017) satelitní buňky představují buněčný zásobník, pomocí kterého jsou nahrazována poškozená svalová vlákna. Satelitní buňky obsahují jádra, která se mohou dělit. Tyto buňky tedy mají schopnost se množit. Množením z nich vznikají myoblasty a ty se nadále diferencují do myotub. Švestková et al. (2017) dále tvrdí, že po rozdělení satelitní buňky se dceřiná buňka se vrátí do klidového stavu nebo splyne se svalovým vláknem. Po splynutí satelitní buňky se svalovým vláknem dojde k navýšení počtu jader vlákna. Tento jev můžeme pozorovat při normálním růstu svalu nebo při svalovém tréninku, jehož výsledkem je zvětšená tloušťka svalového vlákna – hypertrofie (viz kapitola 1.1.4.).



Obrázek 4 – Satelitní buňky při poškození svalového vlákna (převzato a upraveno podle Briggs & Morgan, 2013).

1.2.3 Oxidační stres

Oxidační stres je v posledních letech předmětem mnoha výzkumů a je spojován s mnoha onemocněními a chorobami člověka. Úzce souvisí s volnými radikály. Volné radikály působí neustále na organismus těla. Během života všech živých organismů dochází v jejich buňkách k neustálé tvorbě volných radikálů. Volné radikály jsou reaktivní formy kyslíku, které se účastní různých biologických procesů, nezbytných pro životní pochody (Halliwell & Gutteridge, 2015; Kasper, 2015).

Historie volných radikálů sahá do začátků 20. století. V roce 1900 byly poprvé definovány volné radikály na základě rozkladu hexafenyletanu na dva trifenylmetylové radikály. Výzkum pokračoval, ve 30. letech 20. století byl popsán vznik volných radikálů způsobený rozkladem tetrametylu a poté byly volné radikály popsány v biochemii. Následně ve 40. letech byl popsán mechanismus tvorby volných radikálů i u zvířat a rostlin jakožto u živých organismů (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Štípek (2000) a Racek (2003) dělí volné radikály na volné kyslíkové radikály (ROS – reactive oxygen species) a volné dusíkaté radikály (RNS – reactive nitrogen species). Dále popisují volné radikály jako molekuly, ionty nebo atomy obsahující jeden nebo více nepárových elektronů. Jedná se o velice reaktivní částice. Fungují tak, že bezprostředně po svém vzniku přenesou svůj volný elektron na sousední molekulu či naopak přijímají elektron z okolního prostředí tak, aby dosáhli párového seskupení elektronů. Radikál tedy odtrhává elektrony jiným radikálům či molekulám a tím spouští řetězovou reakci, která se zastaví až při srážce dvou radikálů za vzniku molekuly. Odtrhávání či odebrání elektronů je vlastně oxidace a proto mají ROS oxidační účinky. Tyto řetězové reakce narušují ostatní „zdravé“ molekuly a tím je poškozují.

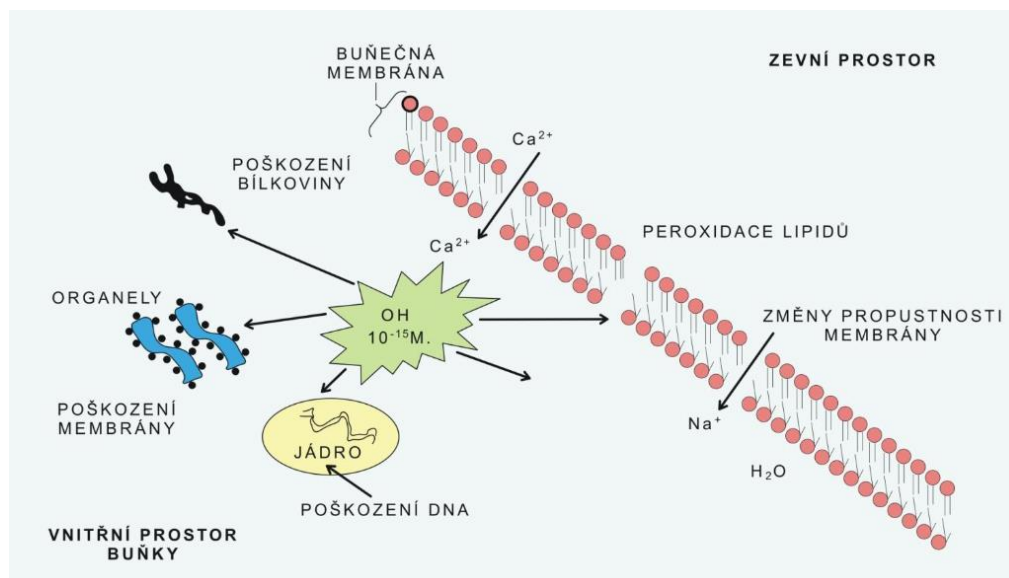
Mandelker (2009) tvrdí, že pokud je organismus pod oxidačním stresem, znamená to, že se zvýšila hladina volných radikálů, která přesahuje míru antioxidační kapacity organismu. Dochází k nerovnováze mezi vytvářením a regulováním ROS a tedy i k oxidačnímu stresu. Může být vyvolán např. chemoterapií, zánětlivým procesem, ionizujícím zářením, nedostatečným množstvím antioxidačních látek v těle, intenzivním tělesným zatížením atd. Mandelker dále dodává, že i když jsou volné radikály stálou součástí biologických funkcí a procesů, jejich nadbytek může být v dlouhodobém kontextu pro organismus nebezpečný a vede k různým zdravotním problémům.

Podle Halliwella a Gutteridge (2015) se ROS se dělí na radikálové a neradikálové. Mezi radikálové ROS patří superoxid (O_2^-), hydroxylový radikál ($OH\cdot$),

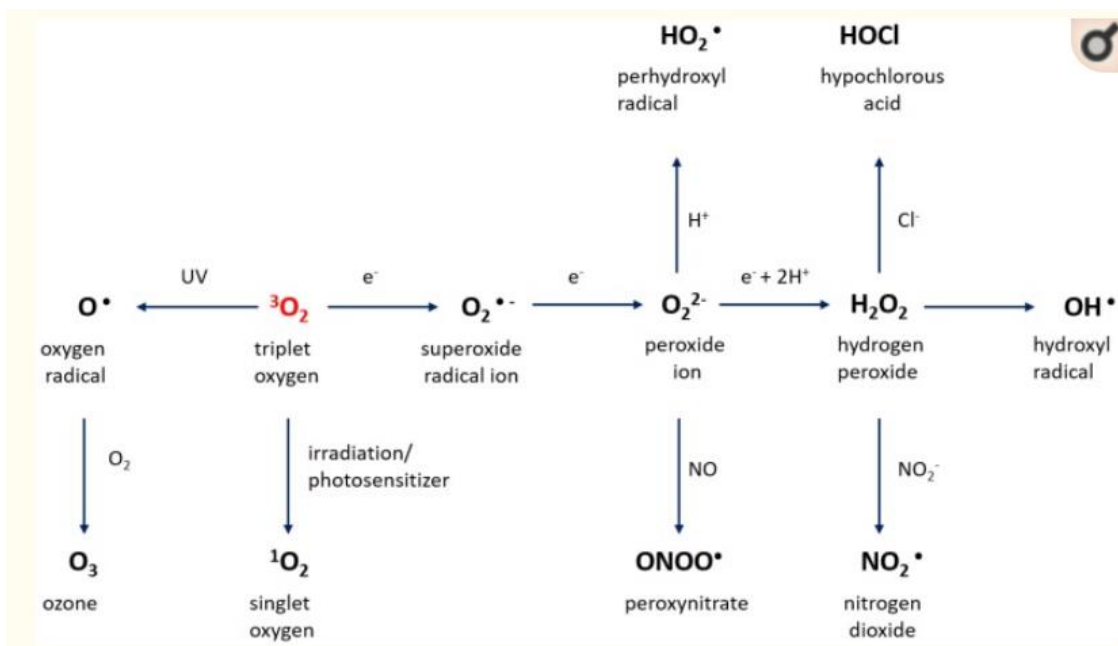
hydroperoxyl radikál (HO_2), peroxy (ROO^\cdot) a alkoxy (RO^\cdot). Neradikálová skupina ROS obsahuje peroxid vodíku (H_2O_2), ozon (O_3), kyselinu chlornou (HClO) a první excitovaný stav kyslíku, tzv. singletní kyslík ($^1\text{O}_2$). Dále Halliwell a Gutteridge dodávají, že radikálová skupina je více reaktivní z důvodu většího počtu nepárových elektronů a vyššího pozitivně redoxního potenciálu. Neradikálové ROS mohou být reaktivní, i když neobsahují nepárový elektron. Mitra et al. (2019) tvrdí, že z kyslíku v základním stavu (kyslíkový triplet $^3\text{O}_2$) může pomocí reakcí přenosu elektronů být změněn na reaktivnější typy ROS (viz obrázek 6). Nejnebezpečnější ROS je podle Lumba (2000) hydroxylový radikál (OH^\cdot), který je nejvíce reaktivní a je schopen působit a mít vliv na všechny biologické molekuly.

ROS mají pro tělo pozitivní i negativní přínos. Mezi prospěšné funkce ROS patří přenos energie, buněčná signalizace a imunitní ochrana. V kontextu imunitní ochrany jsou ROS využívány neutrofilními leukocyty a makrofágy k boji proti bakteriím a k likvidaci mrtvých buněk. Negativní vliv mají ROS ve smyslu poškození buněk, buněčných organel, enzymů, DNA, hormonů aj. Pro tělo jsou tedy ROS potřebné a mají veliký význam, nicméně organismus je musí regulovat a držet v optimální rovnováze (Halliwell & Gutteridge, 2015; Botek et al. 2017).

Tím, že ROS narušují a poškozují buněčné membrány a strukturu buněk (viz obrázek 5), může dojít k poruchám funkce kardiovaskulárního systému, očí, ledvin, kůže, kloubů, plic, mozku, žláz a dalších orgánů (Bernaciková et al., 2014; Mitra et al., 2019).



Obrázek 5 – Narušení buněčné membrány ROS – OH^\cdot (Bernaciková et al., 2014, 22).



Obrázek 6 – Produkce ROS ze základního stavu kyslíku $^3\text{O}_2$ (Mitra et al., 2019).

Tělo má své antioxidační látky, díky kterým se chrání před negativními vlivy oxidačního stresu. Antioxidanty jsou látky sloužící k prevenci a regulaci oxidačních účinků ROS a ochraně před oxidačním stresem. Antioxidant je dostatečně stabilní molekula na to, aby darovala elektron volnému radikálu a tím ho neutralizovala (Štípek, 2000). Existují tři cesty, jak se může organismus bránit ROS. První cestou je bránění tvorby ROS tak, aby nedošlo k nadměrnému množství radikálů. Druhou cestou je zachycení a odstranění ROS, které již vznikly. Poslední cestou je reparace buněk a molekul, které již byly poškozeny (Ráček, 2003).

U antioxidantů se v literatuře setkáváme s vícero dělením. Dělí se např. podle původu na endogenní a exogenní. Endogenní si organismus je schopen sám vytvořit (glutathion, ubiquinol, kyselina močová, albumin, kataláza, melatonin atd.), nicméně některé antioxidanty si tělo neumí vyrobit, a tak je pro organismus příjem antioxidantů prostřednictvím potravy nebo suplementy nezbytný (vitamin E, C, B-karoten atd. Do enzymatických řadíme superoxid dismutázu, katalázu, a glutathion systém. Dále se dělí na enzymatické a neenzymatické. K neenzymatickým antioxidantům patří kyselina askorbová (vitamin C), glutathion, melatonin, tocopheroly a tocotrienoly (vitamin E) a kyselina močová. Antioxidanty rozlišujeme podle rozpustnosti ve vodě nebo tucích: hydrofilní (rozpustné ve vodě – Vitamin C), lipofilní (rozpustné v tucích – vitamin E) a amfifilní (vlastnosti obou přechozích – melatonin). V posledních letech probíhá mnoho

studií, které se zaměřují na H₂, jakožto na potenciální antioxidant redukující ROS. (Lobo et al., 2010; Nicolson et al., 2016; Racek, 2003).

1.3 Molekulární vodík

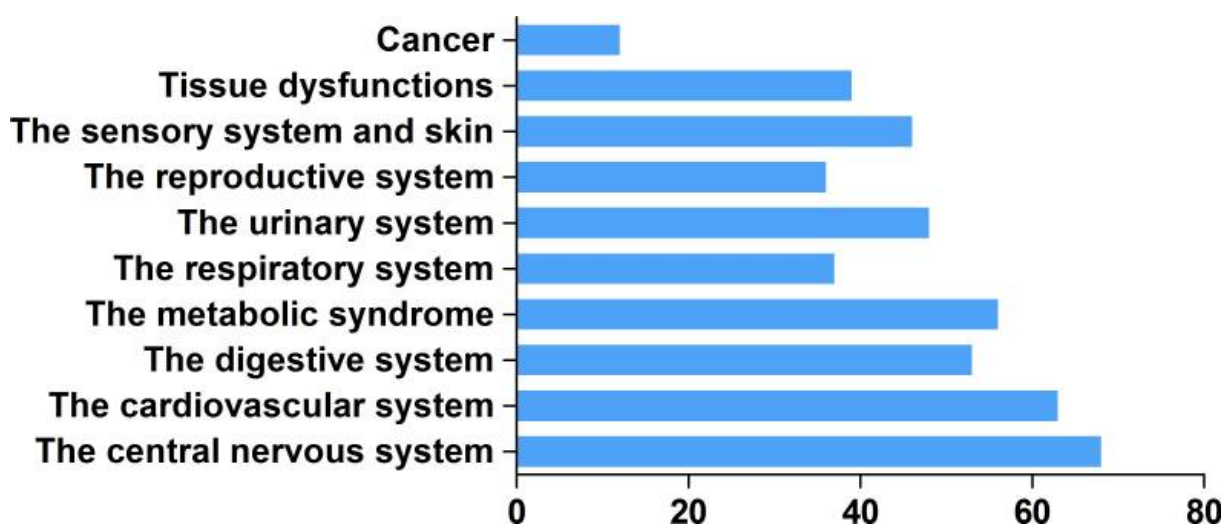
Vodík je považován za nejjednodušší plynný chemický prvek v přírodě a zároveň nejmenší atom ve vesmíru. Je charakteristický svou hořlavostí při vysokých teplotách, je bez chuti a bez zápachu a nemá žádnou barvu. Je to nejlehčí plyn (H₂), který díky svým unikátním fyzikálním a chemickým vlastnostem dokáže prostoupit přes buněčné membrány hlouběji k buněčným organelám, jako jsou mitochondrie, kde může mít svůj léčebný vliv (Petrošová, 2016). V dnešní době existuje více než 400 studií, které se zabývají vlivem vodíku na živé organismy. Oxidační stres je považován jako jedna z příčin u civilizačních chorob a nemocí. Ukazuje se, že H₂ má antioxidantní potenciál a dokáže tlumit důsledky oxidačního stresu. Žádná ze studií dosud neprokázala, že by H₂ měl negativní vliv a byl nebezpečným pro lidský organismus. (Nicolson et al., 2016; Ohsawa et al., 2007).

1.3.2 Molekulární vodík a jeho aplikace

V dnešní době existuje vícero způsobů jak aplikovat H₂. Při rešerši většina autorů uvádí následující formy aplikace. Jako jednu z forem aplikace uvádí Sun et al. (2015) a Kawamura (2010) inhalaci plynného vodíku. Jde o plynnou směs, v němž je obsažen molekulární vodík v koncentraci 2 - 4%. Pokud je koncentrace vyšší, jde o vysoce hořlavou směs, která je velice nebezpečná. Důležité je při použití této metody dodržovat správný objem vdechované směsi a její koncentraci. Další formou podle Kawamury et al. (2020) je intravenózní podání H₂ ve fyziologickém roztoku. Tato forma je považována za nejméně účinný způsob aplikace. Třetí metodou je podle Nicolsona et al. (2016) perorální užití H₂. Jde o vodu bohatou na molekulární vodík (HRW). Tato metoda se jeví jako nejdostupnější k širokému užití. Dalšími možnými metodami zmiňovanými v publikaci Kawamury et al. (2020) jsou: koupele bohaté na H₂ a oční kapky.

1.3.3 Využití H₂ v běžné medicíně

Většina chorob, onemocnění, poškození tkání, ale i proces stárnutí je příčinou dlouhodobého působení oxidačního stresu (Ohta, 2012). Ještě před nedávnem se vodík považoval za fyziologicky nečinný prvek. Nicméně v roce 2007 Oshawa s kolegy publikoval svoji práci, díky které se spustila lavina dalších studií, které se zabývali tématem molekulárního vodíku a jeho účinky na lidský organismus. Ve své práci Oshawa et al. (2007) zkoumali krysy, které měli poškození mozku oxidačním stresem způsobeným lokální ischemií a reperfuzí. Jako léčba jim byl inhalačně podáván H₂. Touto studií prokázali, že podávání H₂ výrazně tlumí účinky oxidačního stresu. Také zjistili, že H₂ selektivně redukuje reaktivní kyslíkové radikály (ROS) a to konkrétně hydroxylový radikál ($\cdot\text{OH}$) a peroxynitrit (ONOO-), které patří k velice silným radikálům. Před rokem 2007, než Oshawa publikoval svou studii, je vhodné zmínit studii z roku 1975 od Dola, Wilsona a Fife. Ti zkoumali myši nesoucí karcinom a umístili je do hyperbarické komory (8 atmosfér), která obsahovala 2,5% kyslíku a 97,5% H₂. Bylo vypořádováno výrazné zmenšení velikosti karcinomů (Dole, Wilson & Fife, 1975). Od června roku 2007 do března 2017 (obrázek 7) bylo vydáno více než 450 studií zabývajících se biologicky či lékařsky příznivými účinky H₂. Tyto studie se zabývali problematikou účinků molekulárního vodíku na témata rakoviny, tkáňových dysfunkcí, metabolických poruch, reprodukčního systému, vylučovacího systému, dýchací a trávicí soustavu, kardiovaskulární a centrální nervový systém (Ge et al., 2017).



Obrázek 7 – počet studií publikované mezi rokem 2007 – 2017 (Ge et al., 2017).

Molekulární vodík zmírňuje nepříznivé účinky vyvolané radioterapií u pacientů léčících se s nádory jater. Pacienti k léčbě používali navíc HRW a výsledky ukazují na zlepšení kvality života bez snížení účinků ozařování (Kang et al. 2011). Dále má H₂ příznivé účinky na pleť. Po 90 denním koupání ve vodě obohacené o vodík bylo pozorováno zlepšení vrásek na krku (Kato et al., 2012). Pozitivně ovlivňuje pacienty po mozkovém infarktu (Ono et al., 2017), pomáhá zvyšovat produkci a pohyblivost spermíí (Ku et al., 2020), má pozitivní účinky na obezitu, diabetes a metabolický syndrom (Kamimura et al., 2011), snižuje poškození po mozkovém infarktu (Ono et al., 2017), snižuje vysoký krevní tlak (Nakayama et al., 2010), pozitivně ovlivňuje revmatoidní artritidu (Ishibashi et al., 2012) nebo Parkinsonovu chorobu (Yoritaka et al., 2013). V literatuře existují studie shrnující účinky molekulárního vodíku v posledních letech. Shrnutí účinků můžeme najít např. v článku od Nicolsona et al. (2016) s názvem „*Clinical effects of hydrogen administration: From animal and human diseases to exercise medicine*“ nebo v práci Ichihara et al. (2015) „*Beneficial effects and the underlying mechanism of molecular hydrogen – comprehensive review of 321 original articles*“.

Některé účinky H₂ na lidské choroby byly zkoumány na zvířatech. Většinou se používají hlodavci (krysy, myši), ale jsou i studie zkoumající účinky na prasatech, králících a koních (Nicolson et al. 2016). Ohno et al. (2012) shrnul účinky H₂ u 63 zvířecích modelů lidských onemocnění. Vodík byl v těchto studiích podáván v plynné formě (21 publikací), injekčně (27 publikací) a jako HRW (23 publikací).

1.3.4 Využití H₂ ve sportovní medicíně

Příspěvků k účinkům H₂ ve sportovní medicíně je výrazně méně než můžeme vidět u klinické medicíny. Sportovní zatížení vyvolává produkci ROS. Produkce těchto aktivních radikálů závisí na intenzitě a délce trvání cvičení. (Kawamura & Muraoka, 2018). Oxidativní stres způsobený ROS vede ke svalové únavě a slabosti, způsobuje zánět a mikrotrhliny (Niess & Simon, 2007). Pro výhody H₂, které zmiňuje Kawamura, Higashida a Muraoka (2020) se předpokládá, že v příštích letech přibude vědeckých článků a výzkumů ve sportovní medicíně. Mezi výhody H₂ patří:

- Snadné pronikání přes buněčnou membránu a difundování do buněčných organel.
- Selektivní snižování silných ROS a to ·OH a ONOO·.

- Více způsobů dodání H₂ do těla
- Minimální vedlejší účinky z důvodu vylučování dechem.

Dále zmiňují i některé nevýhody:

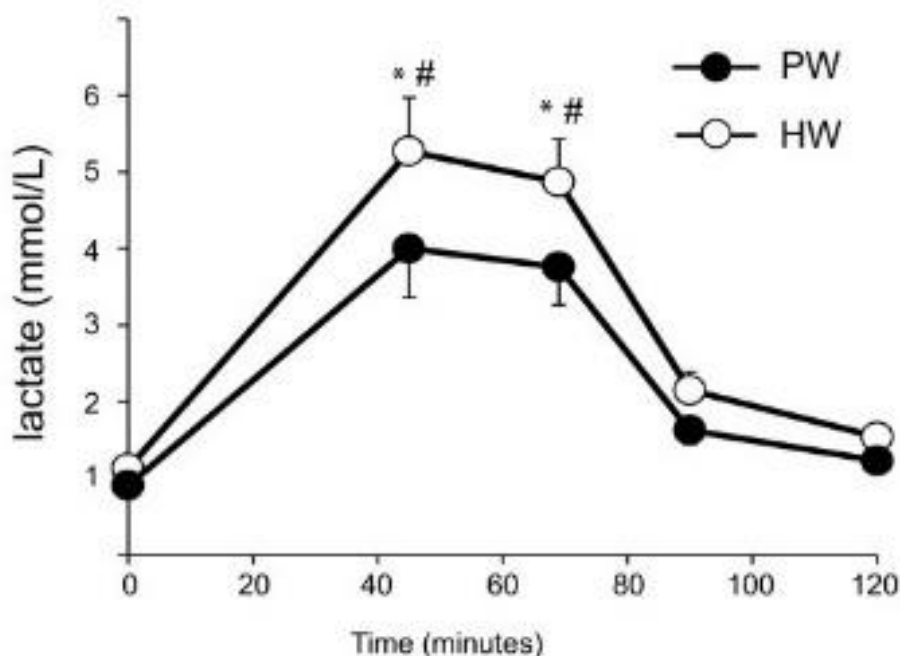
- H₂ přebývá v těle krátkou dobu.
- Nebyl stanoven optimální příjem.
- Malý počet vědeckých studií.
- Nejsou známy účinky při dlouhodobém užívání.

V posledních letech se výzkumy molekulárního vodíku ve sportu zabývaly tématy spojenými např. se sportovním zraněním. Ve studii Huang et al. (2015) zkoumali účinky H₂ na ischemicko – reperfuční poškození svalu. Výzkum byl proveden na potkanech, jejichž zranění se léčilo pomocí běžného fyziologického roztoku nebo fyziologickým roztokem obohaceným o H₂. Z výsledků autoři došli k závěru, že fyziologický roztok obohacený o molekulární vodík vyvolal signifikantní zmírnění poškození svalu díky svému antioxidantnímu, antiapoptóznímu a antiautofagickému účinkům.

Další publikací spojenou s účinky H₂ na sportovní zranění je pilotní studie Ostojice et al. (2014). Tohoto výzkumu se zúčastnilo 36 profesionálních sportovců rozdělených do tří skupin léčených po dobu 14 dní. První skupina byla léčená tradičním postupem. Druhá skupina byla léčena tradičním způsobem a navíc brali tablety bohaté na H₂ (2g denně perorálně). Třetí skupina byla také léčena tradičním způsobem, brali tablety obohacené o molekulární vodík a 6x denně po dobu 20 min. používali lokálně sáčky s vodou bohatou na vodík. Probandi byli kontrolováni v den zranění, týden po zranění a 14 dní po zranění. Výsledky prokázali zvýšení viskozity plazmy u skupin užívající H₂. Dále zjistili, že skupiny užívající H₂ dosáhly rychleji normálního rozsahu pohybu poraněné končetiny než první skupina. Autoři došli k závěru, že přidání H₂ k tradičnímu způsobu léčby by mohl být účinný způsob léčení při poranění měkkých tkání u sportovců (Ostojic et al., 2014).

Další zajímavou studii v oblasti sportu provedli Aoki et al. (2012). Vycházeli z faktů, že intenzivní cvičení způsobuje oxidační stres, který způsobuje svalovou únavu, přetrénování z důvodu mikrotrhlin a zánětu ve svalu. Výzkumu se zúčastnilo deset mužských fotbalistů s průměrným věkem 20,9 ±1,3 let. Každý byl testován dvakrát v dvojité zaslepené crossover studii, ve které jim byla podávána HRW nebo placebo. HRW nebo placebo jim bylo podáváno v časovém rozmezí jednoho týdne ve třech 500 ml dávkách. Probandům bylo změřeno VO₂ max na cykloergometru. Test spočíval

v jízdě na cykloergometru o zatížení 75% VO₂ max po dobu 30 minut. Následovalo 100 opakování izokinetických extenzí v kolene. Z výsledků bylo zřejmé, že při užití HRW se snížil La v krvi během intenzivního zatížení (viz obrázek 8). Dalším významným postřehem byla větší síla extenzorů kolene u probandů užívající HRW.



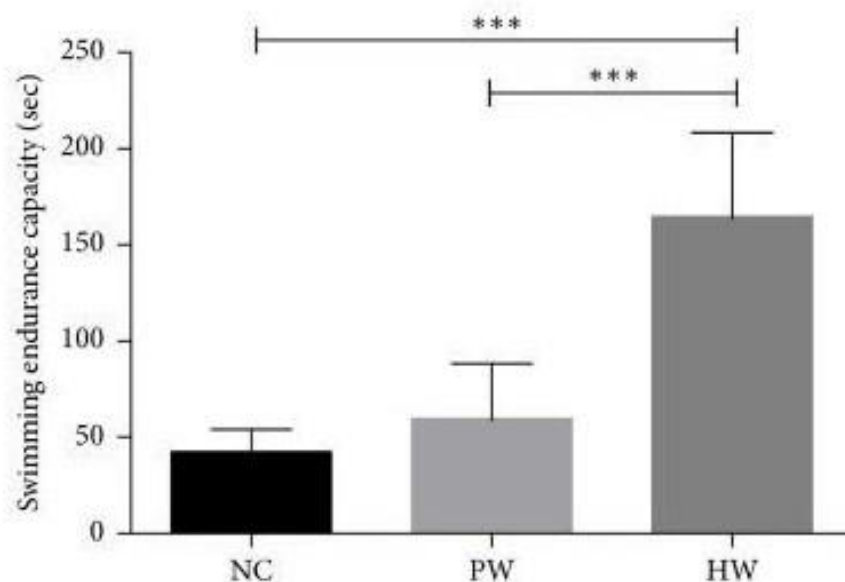
Obrázek 8 – Hladina laktátu před, během a po zatížení (Aoki et al. 2012). Vysvětlivky: PW – placebo, HW – voda obohacená o H₂

Mezi studie prokazující pokles hladiny laktátu při zatížení patří i výzkum Drida et al. (2016). Jako u studie, kterou provedl Aoki et al. (2012) se jednalo o dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou cross over studii. Výzkum byl proveden na 8 judistkách ve věku $21,4 \pm 2,2$ let. Bylo jim podáváno 300 ml HRW nebo placebo vždy 30 minut před cvičením. Test spočíval ve specifických cvičeních specifických pro judo. Výsledkem byl snížený potréninkový La a vyšší pH krve oproti skupině, která používala placebo.

Vyšší alkalozu arteriální krve před i po cvičení u jedinců požívajících HRW zaznamenali i Ostojic a Stojanovic (2014). Jejich studie se zúčastnilo 52 mužských dobrovolníků. Všichni probandi byli fyzicky aktivní a zdraví. 26 probandům bylo podáváno HRW a zbylým 26 účastníkům placebo 2 litry denně v časovém rozmezí 14 dnů. Byla měřena hladina bikarbonátů, pCO₂ a pH arteriální krve. Výsledky prokazovaly, že HRW může fungovat jako alkalizační činidlo bez vedlejších účinků a oddálit tak zakyselení u aktivních i neaktivních jedinců.

Studie Da Ponte et al. (2017) prokazuje udržení stabilního výkonu při stupňované zátěži. Výzkumu se zúčastnilo 8 trénovaných cyklistů. Každý cyklista podstoupil na trenažéru deset 3 minutových intervalů, ve kterých se postupně zvyšovala zátěž tímto způsobem: 90 s. při 40% VO₂ max, 60 s. VO₂ max, 16 s. při 100% VO₂ max, poté následovala 14 sekundová zotavovací pauza před dalším intervalem. Před samotným testem bylo cyklistům podáváno denně 2l placebo nebo HRW. Z výsledků vyplývá, že u skupiny užívající placebo výkon klesl u 6. intervalu. Skupina s HRW prokazovala podobné výkony ve všech 10 intervalech. Autoři tedy došli k závěru, že užití HRW pomáhá dosáhnout stabilní výkon a tím pádem i oddálit fyzickou únavu během 30 minutového zatížení.

Další studií zabývající se vlivem HRW na výkon provedl Ara et al. (2018). Výzkum byl proveden na myších, které byly rozdělené do tří skupin (kontrolní skupina – bez nuceného zatížení, placebo skupina – podávané placebo při nuceném zatížení, HRW skupina – podávané HRW při nuceném zatížení). Každý den po dobu 4 týdnů byly myši umístěny do skleněného akvária (18x22cm) a byly nuceny plavat do vyčerpání. Z výsledků autoři zjistili, že skupina s HRW, podstupující nucené zatížení a suplementující vodu bohatou o vodík, vydržela plavat déle než placebo skupina (viz obrázek 9).

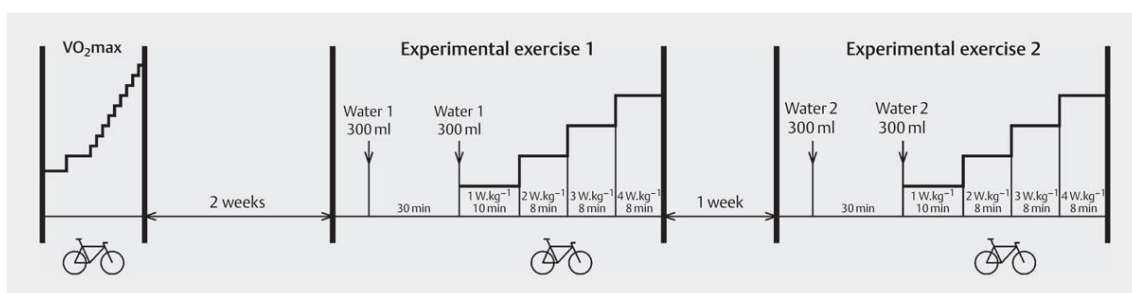


Obrázek 9 – Plavecká vytrvalostní kapacita myši (Ara et al., 2018).

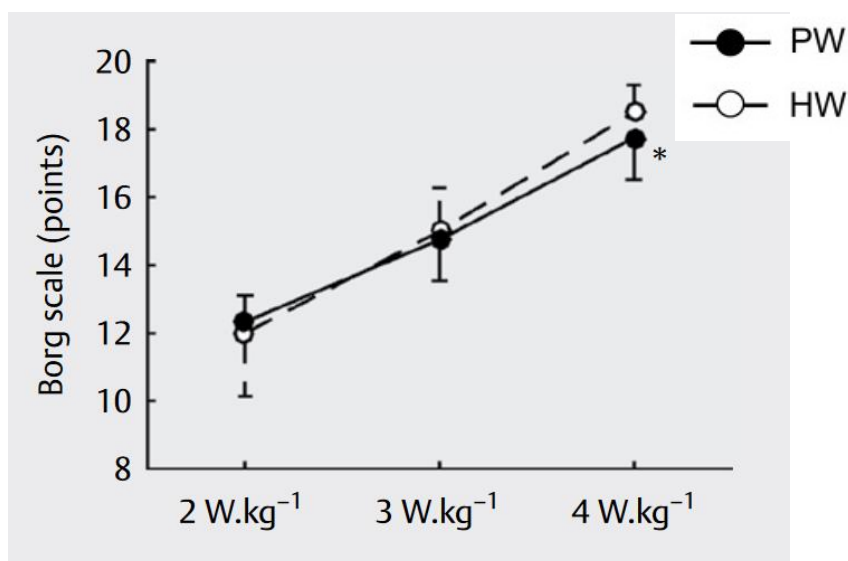
Vysvětlivky: NC – kontrolní skupina, PW – skupina užívající placebo,

HW – skupina užívající vodu bohatou na vodík.

Botek et al. (2019) provedl experiment formou dvojité zaslepené, placebem kontrolované, crossover metody. Studie se zúčastnilo 12 mužských sportovců s průměrným věkem $27,1 \pm 4,9$ let. Cílem této studie bylo sledovat a posoudit fyziologickou a percepční odpověď na zátěžový protokol složený ze 4 fází a charakteristický postupným zvyšováním zátěže až do vyčerpání (viz obrázek 5). Zátěžový protokol spočíval v jízdě na cyklistickém trenažéru. Celkově bylo sportovcům podáno 600 ml HRW či placebo rozdělených do 2 dávek (300 ml 30 minut před výkonem a 300 ml 1 minutu před výkonem). V poslední minutě v každé fázi byla změřena hladina laktátu a také subjektivní vnímání zátěže. Z výsledků vyplývá, že při vyšší intenzitě zátěže se při užívání HRW snížilo subjektivní vnímání zátěže (viz obrázek 11) a také byla signifikantně nižší hladina laktátu (viz obrázek 12).

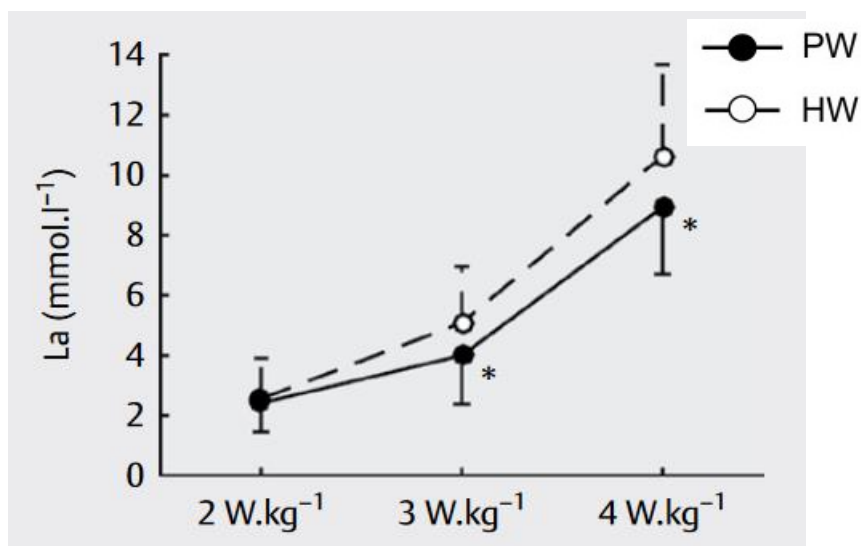


Obrázek 10. Charakteristika experimentu (převzato od Botek et al., 2019)



Obrázek 11. Subjektivní vnímání zátěže během zatížení (převzato od Botek et al. 2019).

Vysvětlivky: PW – Placebo, HRW – hydrogenovaná voda.



Obrázek 12. Hladina laktátu v průběhu zátěže (převzato od Botek et al. 2019).

Vysvětlivky: PW – Placebo, HRW – hydrogenovaná voda.

Mezi nejnovější studie zkoumající účinky molekulárního vodíku patří výzkum Dobashiho, Takeuchiho a Koyami (2020). Předmětem studie byl vliv HRW na výkon a ukazatele oxidačního stresu vyvolané intenzivním cvičením. Studie se zúčastnilo 8 mužských dobrovolníků. Intenzivní cvičení zahrnovalo vertikální skok, maximální izometrickou kontrakci extenzorů kolen a sprint na cyklotrenažeru. Probandi se zúčastnili dvou 3-denních testování, kdy jim byla dána HRW nebo placebo. Z výsledků je patrné, že výkony se v obou 3 denních testování nelišily. Nicméně ve skupině s HRW se snížily diacron-reaktivní kyslíkové metabolity (d-ROM) a biologický antioxidační potenciál (BAP), které jsou brány jako ukazatelé oxidativního stresu. Z výsledků autoři vyvozují závěry, že užívání HRW může být užitečné při oddálení kumulativní únavy během tréninkových kempů nebo sportovních soutěží.

Moradi et al. (2020) provedli dvojité zaslepenou placebem kontrolovanou studii na 9 mužských sportovcích, konkrétně kulturistech. Probandi pili HRW vyrobenou pomocí alkalické tyče vložené do obyčejné vody. Všichni měli zkušenosti se silovým tréninkem minimálně 4 roky a žádný z nich neužíval žádné suplementy, energetické nápoje, drogy aj. Samotný test byl složen z 6 cviků zaměřených na dolní končetiny. U každého cviku provedli probandi 4 série se zatížením vypočítaných z 1RM a danými opakováními, které museli v dané sérii provést (1.série – 70% 1RM při 12 opak., 2.série – 75% 1RM při 10 opak., 3.série a 4.série – 80% 1RM při 8 opakováních). HRW jim byla podávána 2 hodiny před tréninkem, ihned po ukončení tréninku, 1 hodinu po tréninku a 24 hodin po tréninku. Z výsledků vyplývá, že HRW má signifikantní účinek

na pokles laktátu a laktátdehydrogenázy. Nicméně žádná signifikantní změna nebyla pozorována u hladiny CK. Autoři dospěli k názoru, že HRW vyrobená pomocí alkalické tyčinky je ideální nejen pro profesionální sportovce, ale i pro běžnou populaci.

Jedna z dalších nejnovějších studií byla publikovaná Botkem et al. (2020). Ti zjišťovali vliv HRW na vytrvalostní výkon a regeneraci. Dále zjišťovali, jakou roli hraje výkonnost sportovců na efekt HRW v disciplíně běh do vrchu. Experimentu se zúčastnilo 16 běžců. Běžci absolvovali 2 stejné běhy s odstupem jednoho týdne na trati dlouhé 4,24 km. Jednou s HRW a jednou s placebem, které jim bylo podáváno 24 hodin – 40 minut před závodem. Před závodem užili celkově 1680 ml HRW či placebo rozděleného do 4 dávek. Pátou dávku v objemu 420 ml vypili bezprostředně po závodě. Z výsledku vyplývá, že HRW neměla významný efekt na výkon a nebyl zaznamenán významný vliv HRW na hodnocení svalové únavy během 12 hodinového zotavení. Nicméně autoři zmiňují významný účinek HRW na sportovní výkonnost u sportovců s nižším výkonem. Po užití HRW se totiž jejich výkon výrazně zlepšil v porovnání s časem při užívání placebo. U závodníků, kteří měli nejrychlejší časy, nebyl tento efekt molekulárního vodíku zcela jasný. Autoři vyvodili závěr, že velikost účinku HRW závisí na adaptační úrovni běžců, protože lépe trénovaní sportovci nejsou tolik citliví na příjem H₂ v porovnání s méně trénovanými sportovci.

Z výše uvedených studií je zřejmé, že molekulární vodík se jeví jako pozitivně účinný antioxidant pro organismus. V obecné, ale i ve sportovní medicíně je nicméně je potřeba provést více výzkumů pro odhalení mechanismů účinků H₂ nebo nežádoucích účinků, které nebyly doposud v žádné ze studií zaznamenány.

3 CÍLE PRÁCE HYPOTÉZY A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce bylo posouzení vlivu HRW na odezvu organismu během jednorázového, intenzivního silové zatížení a následné 24 hodinové zotavení.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Posoudit vliv HRW na subjektivně vnímanou velikost zatížení (Borgova škála).
- 2) Posoudit vliv HRW na subjektivní vnímání bolesti (VAS škála).
- 3) Posoudit vliv HRW na aktivitu autonomního nervového systému.
- 4) Analyzovat vliv HRW na explozivní sílu dolních končetin.
- 5) Analyzovat časy provedení výpadů.
- 6) Posoudit vliv HRW na biochemické indikátory.

3.3 Hypotézy

- 1) H0₁ Není rozdíl v aktivitě autonomního systému při použití HRW a placebo.
- 2) H0₂ Není rozdíl ve velikosti subjektivně vnímaného zatížení při použití HRW a placebo.
- 3) H0₃ Není rozdíl v hladině CK během zotavovací fáze experimentu při použití HRW a placebo.
- 4) H0₄ Není rozdíl v explozivní síle dolních končetin při použití HRW a placebo.

3.4 Výzkumné otázky:

- 1) VO₁ Jaký bude vliv HRW na hladinu La během a ihned po zatížení??
- 2) VO₂ Jaké budou změny v hodnocení vnímání svalové bolesti v průběhu 24 hodinového zotavení při aplikaci HRW a placebo?
- 3) VO₃ Jak se projeví aplikace HRW na rychlosti provedení výpadů?

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumu se zúčastnilo celkem 12 mužských probandů. Oslovil jsem studenty fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci, kteří byli aktivní sportovci a měli zkušenost se silovým tréninkem. Žádný účastník výzkumu nekouřil, neužíval žádné potravinové doplňky a léky. Všichni účastníci byli zdraví a neuvedli žádné kardiovaskulární, plicní či metabolické poruchy. Probandi byli důkladně seznámeni se všemi částmi výzkumu a také se stravovacím a pohybovým režimem, který museli dodržovat během výzkumu. Do studie se přihlásili dobrovolně a podepsali informovaný souhlas. Výzkum byl schválen etickou komisí FTK UP pod referenčním číslem 75/2017. Během výzkumu ani po jeho ukončení nebyly nahlášeny žádné vedlejší účinky HRW.

Tabulka 2. Charakteristika výzkumného souboru.

	Věk	Tělesný tuk	Výška	Hmotnost	BMI
Průměr ± SD	23,8 ± 1,9	12,1 ± 3,6 %	180 ± 5 cm	78,2 ± 6,0 kg	24,1 ± 1,6 kg/m ²

4.2 Organizace měření

Jednalo se o randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou crossover studii. Pro výzkum jsem oslovil studenty FTK v Olomouci, kteří by splňovali základní podmínku – zkušenost se silovým tréninkem. Celý výzkum se skládal celkově ze 4 fází. V první fázi proběhlo důkladné seznámení s průběhem experimentu a požadavky na probandy, které měli dodržovat před samotným zahájením:

- Minimálně 2 hodiny před vstupním vyšetřením a experimentem nepít žádnou kávu, čaj a žádné jiné látky, které by mohly ovlivnit sledované parametry.
- 72 hodin před testováním nepít žádný alkohol.
- 72 hodin před testováním neprovádět žádnou intenzivní fyzickou aktivitu.
- 60 minut před testováním sníst malé standardizované jídlo (1 banán).
- Na testování se dostavit výhradně dopravním prostředkem (auto, bus atd.) a vyhnout se fyzické aktivitě (kolo, pěšky atd.).

Následující den proběhla druhá fáze a to vstupní vyšetření, které zahrnovalo antropometrické vyšetření a silové testy, kde jsme stanovily jednorázové maximum (1RM) u dřepu, flexe v kolenním kloubu a extenze v kolenním kloubu. Třetí a čtvrtá

fáze experimentu se skládala ze samotného zátěžového protokolu (test 1 a test 2). Test 1 proběhl 14 dní po vstupním vyšetření. Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin, respektive HRW a placebo skupiny. Rozdělení proběhlo taháním barevných šátků (červená a modrá) zatímco měli šátek přes oči. Test 2 proběhl týden po prvním testování. Probandi absolvovali stejný zátěžový protokol, ale byla jim podávána opačná suplementace (ti co pili během testu 1 HRW, měli v testu 2 placebo a naopak).

Během experimentu jsme sledovali několik parametrů. Subjektivní vnímání intenzity zatížení hodnocené pomocí Borgovy škály pro nás byla důležitá v polovině zatížení a ihned po ukončení. La a subjektivní vnímání bolesti svalů byly sledovány v polovině zatížení, ihned po ukončení tréninku, 30 min po zatížení, 6h po zatížení a 24h po zatížení. CK, vertikální skok a variabilita srdeční frekvence se sledovala ve 30min po ukončení zatížení, 6h po zatížení a 24h po zatížení. Dále byl sledován čas provedení všech sérií u výpadů.

4.2.2 Analýza tělesného složení

Výška a hmotnost byly měřeny s přesností na 0,1 kg na digitální váze SOEHNLE 7307 (Leifheit, Nassau, Německo). Analýza tělesného složení byla potom změřena pomocí bioimpedanční analýzy na přístroji Tanita BC-418 MA (Tanita, Tokyo, Japonsko). Tento přístroj funguje na principu vysílání slabého elektrického proudu přes chodidla a dlaně, který zjistí odpor tkání, a tím zjistí % tělesného tuku.

4.2.3 Stanovení 1RM

Při stanovování jednoho opakovacího maxima ve vstupním měření jsme vycházeli z faktu, že všichni oslovení probandi měli předchozí zkušenosti se silovým tréninkem i se stanovením 1RM. Před samotným testováním proběhla 3 – 5 minutová rozcvička, s cílem celkového zahřátí, statického protažení a připravení testovaných svalových skupin na zátěž. Po rozcvičce následovalo u každého cviku provedení 8 – 10 opakování se zátěží přibližně 50 % 1RM. Následoval 3 minutový odpočinek a provedení 4 opakování se 70 – 75 % zátěží předpokládané 1RM. Následovaly další 3 minuty odpočinku a provedení 2 – 3 opakování při přibližné zátěži 85 – 90 % očekávaného 1RM. Poslední 4. série pro určení 1RM následovala po 4 minutách odpočinku. Vycházeli jsme z informací o váze z třetí série a podle toho určili finální hodnotu, se kterou jsme provedli 1RM cviku. Testování jednotlivých cviků proběhla v následujícím

pořadí: dřep do 90°, flexe v kolenním kloubu, extenze v kolenním kloubu. Mezi cviky byla doba odpočinku stanovena na 5 minut. Testování určení jednoho opakovacího maxima byla podložena publikací Baechle a Earle (2008).

4.2.4 Borgova RPE škála

Jedna z možností pro subjektivní vyjádření náročnosti pohybu či námahy je RPE škála vyvinutá Borgem (1985). Probandi byli s Borgovou stupnicí důkladně seznámeni v první fázi výzkumu a následně tázáni na vyjádření jejich subjektivních pocitů podle Tabulky 3 v určitých časech v průběhu testování. Škála bodového hodnocení se pohybuje v rozmezí 6 – 20 bodů, kdy 6 bodů představuje žádné zatížení, zatímco skóre 20 představuje maximální zatížení.

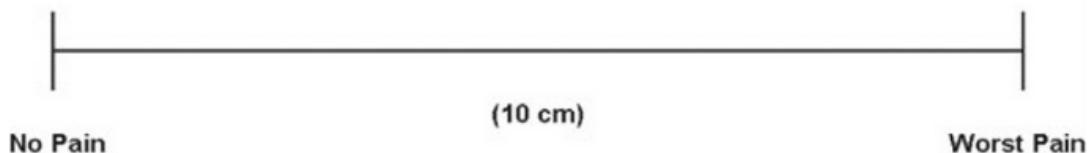
Tabulka 3. Subjektivní vnímání zatížení

Bodové hodnocení (RPE)	Subjektivní vyjádření
6	
7	velmi velmi lehké
8	
9	velmi lehké
10	
11	docela lehké
12	
13	poněkud těžší
14	
15	těžké
16	
17	velmi těžké
18	
19	velmi velmi těžké
20	

4.2.5 VAS škála

Vizuální analogová škála je jednou z nejčastěji používaných metod k hodnocení bolesti. My jsme VAS škálu použili k hodnocení bolestivosti svalů dolních končetin před, během a po zátěžovém protokolu v určitých časech. Probandi byli vyzváni k vyznačení čárky či křížku na ose (obrázek 13) podle toho, jak aktuálně vnímají svoji

subjektivní svalovou bolest a únavu. Jedná se o přímku dlouhou 100 mm, kdy 0 mm představuje žádnou bolest a 100 mm představuje nejhorší představitelnou bolest (Eliav & Gracely, 2008).



Obrázek 13 – VAS subjektivní vnímané bolesti v rozmezí žádná bolest – nejhorší bolest (Schaffzin, 2018).

4.2.6 Vertikální skok

Testování vertikálního výskoku slouží k popsání dynamické síly dolních končetin. Výchozím výsledkem je výška výskoku, která byla vypočítána z křivky síla – čas (force – time curve) (Struzik, 2019). Probandům byl dán pokyn provádět výskok co nejvyšším úsilím. Před testováním vertikálního výskoku proběhlo zahřátí, které se skládalo z rozběhání o intenzitě 50 % subjektivně vnímaného maximálního úsilí po dobu 3 minut. Po rozběhání udělali probandi 10 dřepů a jeden vertikální výskok submaximální intenzity. Následovala minutová přestávka a poté probandi provedli celkem 3 výskoky maximálním úsilím s minutovou přestávkou mezi každým skokem. Výchozí pozice při výskoku byl stoj s rukama v bocích, abychom eliminovali pomoc horních končetin. Před samotným výskokem byla zaznamenána doba klidového stání po dobu 2 sekund, aby byla zajištěna počáteční nulová rychlost s tělesnou hmotností. Vertikální skok byl testován na dvou paralelních dynamometrických deskách (AMTI OR6-7-1000, Advanced Mechanical Technology, Watertown, MA, USA) se vzorkovací frekvencí 1000 Hz.

4.2.7 Variabilita srdeční frekvence

Variabilita srdeční frekvence byla změřena pomocí přístroje DiANS PF8 (DIMEA group, Olomouc, ČR). Součástí přístroje je hrudní pás, který snímá EKG záznam a přijímací modul připojený do počítače. Data jsou přenášena pomocí technologie

bluetooth, kde jsou ukládána a následně vyhodnocována ve speciálním softwaru. Vyšetření trvá přibližně 12 minut. Měření probíhalo standardizovaným ortoklinostatickým manévrem leh-stoj-leh. První leh trvá přibližně 60 sekund a další dvě fáze trvají každá po 5 minutách. Díky snímání krátkodobého EKG a měření R-R intervalů je následně vyhodnocena aktivita ANS, respektive jeho periferních částí: sympatiku a parasympatiku (Botek et al., 2017). V každé poloze bylo změřeno 300 R-R intervalů. Po zaznamenání dat byly ze záznamu manuálně odstraněny zkreslující artefakty (předčasné ventrikulární kontrakce, chybějící tehy). Osoby byly měřeny v místnosti bez přítomnosti dalších osob, v tichosti, ve tmě a bez dalších rušivých elementů.



Obrázek 14. Přístroj a DiANS PF8 s příslušenstvím a hrudním pásem (Botek et al., 2017, 67).

4.2.8 Zátěžový protokol

Před absolvováním zátěžového protokolu proběhlo 5 minutové zahřátí na bicyklovém ergometru (ER 900, Ergoline, Bitz, Německo) při zátěži 0.5 W.kg.⁻¹ s kadencí 60 RPM. Následovalo 5 minutové individuální statické protažení. Poté probandi provedli 1 sérii 6 – 8 opakování se zátěží 50 % 1RM u dřepu do 90°, flexe v kolenním kloubu a extenze v kolenním kloubu. Mezi cviky byla 1 minuta odpočinku. Následoval zátěžový protokol, který proběhl v následujícím pořadí: dřep do 90°, flexe v kolenním kloubu, extenze v kolenním kloubu, výpady. První tři cviky prováděli probandi se zátěží 70 % 1RM po 10 opakováních ve 3 sériích. Jako poslední dělali

probandi výpady po 20 opakováních (10 opakování na každou nohu) ve 3 sériích se zátěží 30 % tělesné hmotnosti. Intervaly odpočinku mezi sériemi byly stanoveny na 3 minuty. Mezi cviky byl odpočinek stanoven na 4 minuty. Během cvičení byli po celou dobu přítomni dva fitness trenéři, kteří dohlíželi na bezpečnost a zároveň měřili čas cvičení u každé série pomocí digitálních stopek (HS80, Casio, Shibuya, Japonsko). Rozsah pohybu při dřepch byl stanoven na 90° mezi holenní a stehenní kostí. Pro kontrolu rozsahu pohybu nám posloužila lavice, která byla neustále v kontaktu s hýžděmi a také slovní instrukce dvou fitness trenérů přítomných při cvičení. Všem probandům jsme dali pokyn provádět všechny série každého cviku maximálním úsilím při zachování správné techniky provedení cviku.

4.2.9 Harmonogram podávání a charakteristika HRW/placeba

Během experimentu bylo podáno probandům celkově 1260 ml HRW (Aquastamina HRW, Nutristamina, Ostrava, ČR) či placebo (Aquastamina H₂ free, Nutristamina, Ostrava, ČR). HRW i placebo byly podávány celkově v 5 dávkách a to 210 ml 30 min. před zátěžovým protokolem, 210 ml 1 min. před zátěžovým protokolem, 210 ml v polovině testu (po druhém cviku), 210 ml bezprostředně po ukončení tréninku a posledních 420 ml během 30 min regenerace po testu. Výrobce nám dodal HRW i placebo ve stejných speciálních obalech, které od sebe nešlo rozlišit, abychom dodrželi dvojité zaslepení. Navíc byla HRW bezbarvá, bez chuti a bez zápachu tak, aby byla nerozeznatelná od placeba. Probandi, kteří pili při testu 1 HRW, měli v testu 2 placebo a naopak. Mezi testem 1 a 2 byl odstup jeden týden. Chemická charakteristika HRW a placebo je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4. Charakteristika HRW a Placeba

	HRW	Placebo
pH	7.8	7.6
Oxido-redukční potenciál	-652 mV	+170 mV
Teplota	22 °C	22 °C
Koncentrace H ₂	0.9 ppm	0.0 ppm

Tabulka 5. Harmonogram podávání HRW/placeba v průběhu experimentu.

30 min před	1 min před	v 1/2 cvičení	ihned o cvičení	během 30 min zotavení	CELKEM
210 ml	210 ml	210 ml	210 ml	420 ml	1260 ml



Obrázek 15 – Voda Aquastamina (retrieved from the world wide web: healthywealthy.cz).

4.2.10 Měření hladiny laktátu a CK

Pro měření hladiny CK a La v krvi byly odebírány vzorky kapilární krve z bříška prstu. Vzorky byly odebírány osobou s odbornou způsobilostí tento úkon provádět. Před odběrem byl prst důkladně očištěn dezinfekcí Cutasept a tampónem, abychom zajistili, že bude čistý a bez potu. Kůže byla propíchnuta lancetou (Accu-Check, Roche diagnostics, Germany) nastavena na hloubku 2,3 mm. První kapka kapilární krve se setřela tampónem. Pro měření La se použila až druhá kapka, která byla vložena do Lactate scout testovacích proužků a následně analyzována pomocí analyzátoru krve Lactate Scout + (EKF Diagnostics, Cardiff, Velká Británie). Před samotným odběrem vzorků byla přesnost přístroje zkontrolována podle pokynů výrobce.

Odběr krve pro zjištění hladiny CK proběhl ihned po zjištění hladiny La. Pro odběr bylo odebráno přibližně 32 μ l kapilární krve pomocí pipety. Ta byla potom opatrně vložena na testovací magnetický proužek (Reflotron® CK strips, Velká Británie) a následně umístěna do analyzátoru Reflotron® systems (F.Hoffmann – La Roche ltd, Basel, Švýcarsko). Přesné výsledky nám byly zobrazeny a zároveň vytisknuty po zhruba 2 – 3 minutách.

4.3 Statistická analýza dat

Data jsou uvedena jako aritmetický průměr \pm standardní odchylka (SD). Test normality dat byl proveden Kolmogorov-Smirnovým testem. Efekty HRW na závislých proměnných byly vyhodnoceny pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a Fisherova LSD post-hoc testu. Pro všechny statistické testy byla hladina statistické významnosti $p < 0.05$. Kromě statistické významnosti byly také použity míry velikosti účinku (částečná η^2 a Cohenův standardizovaný rozdíl d). Hodnoty jsme interpretovali následovně: triviální ($\eta^2 < 0,01$, $d < 0,2$), malá ($\eta^2 \geq 0,01$, $d \geq 0,2$), střední ($\eta^2 \geq 0,06$, $d \geq 0,6$), velká ($\eta^2 \geq 0,14$, $d \geq 1,2$) velikost účinku. Pro statistickou analýzu byla použita aplikace MATLAB 8.4 a Statistics Toolbox 9.1 (MathWorks, Natick, MA, USA).

5 VÝSLEDKY

Výsledky ukazují, že při užití HRW probandi provedli každou sérii výpadů významně rychleji, než s placebem. Dále probandi při užití HRW vnímali menší bolest svalů (VAS škála) ve 24 hodině po cvičení v porovnání s placebem. Dále byl významný rozdíl v hladině La během a bezprostředně po cvičení při užití HRW. U dalších měřených faktorů se statisticky významný rozdíl neprokázal.

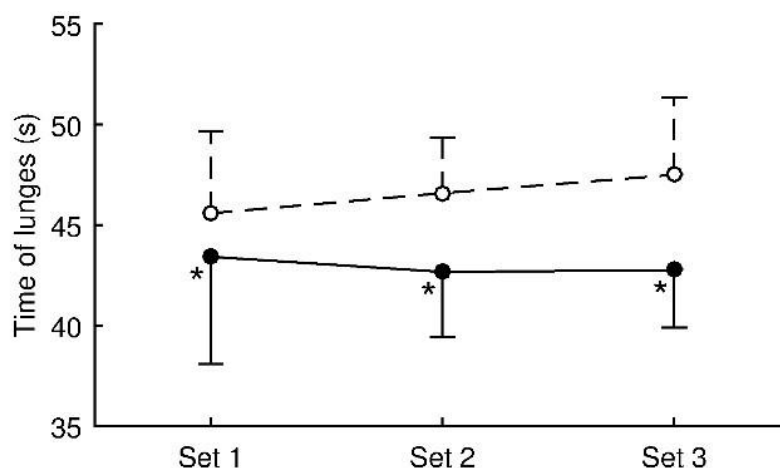
5.1 Vliv HRW/placebo na délku provedení cviku – výpady

Na základě výsledků probandi prováděli výpady signifikantně rychleji s HRW než s placebem. Časy provedení jsou znázorněny v tabulce 6 a v obrázku 16.

Tabulka 6. Vliv HRW na délku provedení cviku – výpady

	HRW (průměr ± SD)	Placebo (průměr ± SD)	p	d	interpretace
1. série	43,4 ± 5,3 s	45,6 ± 4,1 s	0,04	0,62	střední velikost účinku
2. série	42,7 ± 3,2 s	46,6 ± 2,8 s	< 0,001	-1,12	střední velikost účinku
3. série	42,8 ± 2,9 s	47,5 ± 3,8 s	< 0,001	-1,35	veliká velikost účinku

Vysvětlivky: HRW – hydrogenovaná voda, SD – směrodatná odchylka, p – statistická významnost ($p < 0,05$), d – síla účinku



Obrázek 16 – Časy provedení výpadů

Vysvětlivky: Set 1 – první série, Set 2 – druhá série Set 3 – třetí série, ● = HRW; ○ = placebo; * = statisticky signifikantní rozdíl mezi HRW a placebem ($p < 0,05$)

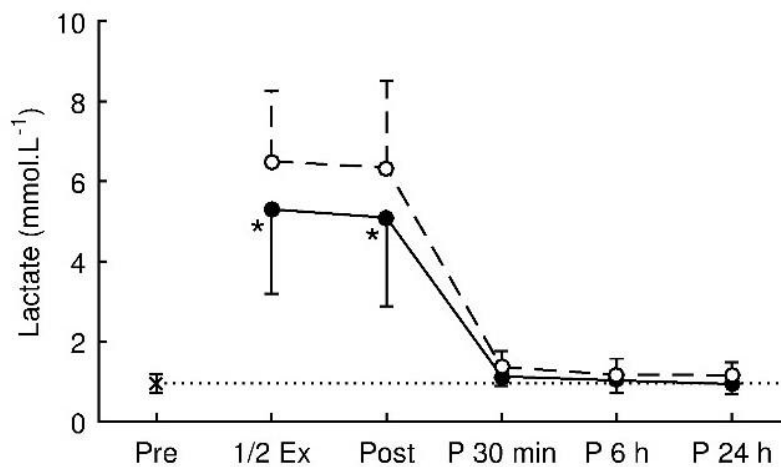
5.2 Vliv HRW/placebo na hladinu laktátu

Hladina La byla při užití HRW signifikantně nižší v porovnání s placebem v polovině cvičení a bezprostředně po cvičení (viz tabulka 7). Účinek HRW na hladinu La v dalších třech pozátěžových fázích nebyl významný (pro všechny platí $p \geq 0.62$, d se pohybovala v rozmezí od -0.09 do -0.14, což interpretujeme jako triviální velikost účinku. Hladiny laktátu ve všech fázích experiment jsou znázorněny v obrázku 17.

Tabulka 7. Hladina laktátu v polovině cvičení a bezprostředně po cvičení.

	HRW (průměr ± SD)	Placebo (průměr ± SD)	P	d	interpretace
Polovina cvičení	5,3 ± 2,1 mmol.L ⁻¹	6,5 ± 1,8 mmol.L ⁻¹	0,01	-0,74	střední velikost účinku
Bezprostředně po cvičení	5,1 ± 2,2 mmol.L ⁻¹	6,3 ± 2,2 mmol.L ⁻¹	0,009	-0,77	střední velikost účinku

Vysvětlivky: HRW – hydrogenovaná voda, SD – směrodatná odchylka, p – statistická významnost ($p < 0,05$), d – síla účinku



Obrázek 17. Hladina La v průběhu experimentu.

Vysvětlivky: ½ Ex = polovina cvičení; Post = bezprostředně po cvičení; P 30 min = 30 minut po cvičení; P 6 h = 6 hodin po cvičení; P 24 h = 24 hodin po cvičení; ● = HRW; ○ = placebo; * = statisticky signifikantní rozdíl mezi HRW a placebem ($p < 0,05$)

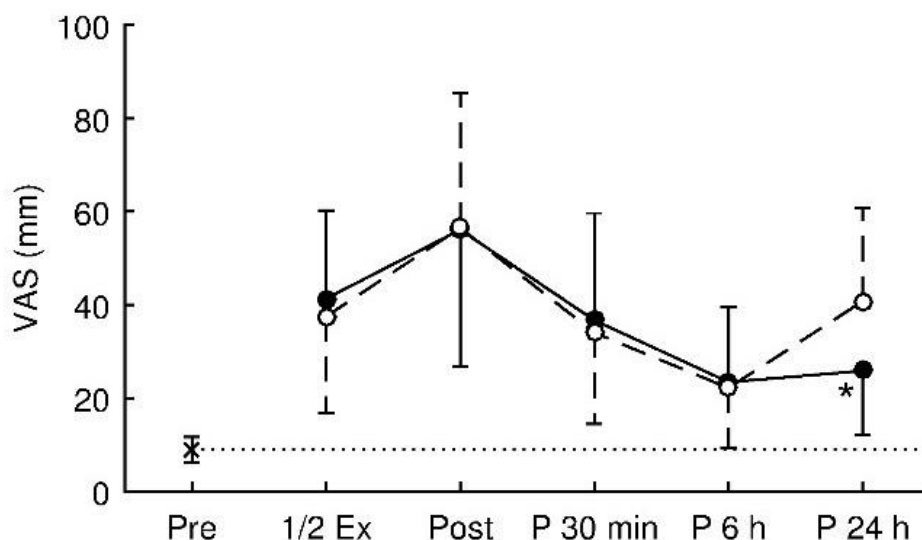
5.3 Vliv HRW/placebo na úroveň svalové bolesti (VAS škála)

Probandi s HRW vnímali úroveň svalové bolesti signifikantně méně pouze 24 hodin po ukončení cvičení (hodnoty viz tabulka 8). Ve všech ostatních časech byl účinek HRW na vnímání bolesti statisticky nevýznamný (pro všechny platí $p \geq 0.62$, d se pohybovala v rozmezí od -0.03 do 0.23, což interpretujeme jako triviální velikost účinku). Hodnoty vnímání svalové bolesti v průběhu experimentu jsou znázorněny v obrázku 18.

Tabulka 8. Hodnoty VAS ve 24 hodině po cvičení.

	HRW (průměr ± odchylka)	Placebo (průměr ± odchylka)	p	d	interpretace
VAS ve 24 h po cvičení	26 ± 14 bodů	41 ± 20 bodů	0,002	-0,90	střední velikost účinku

Vysvětlivky: HRW – hydrogenovaná voda, SD – směrodatná odchylka, p – statistická významnost ($p < 0,05$), d – síla účinku

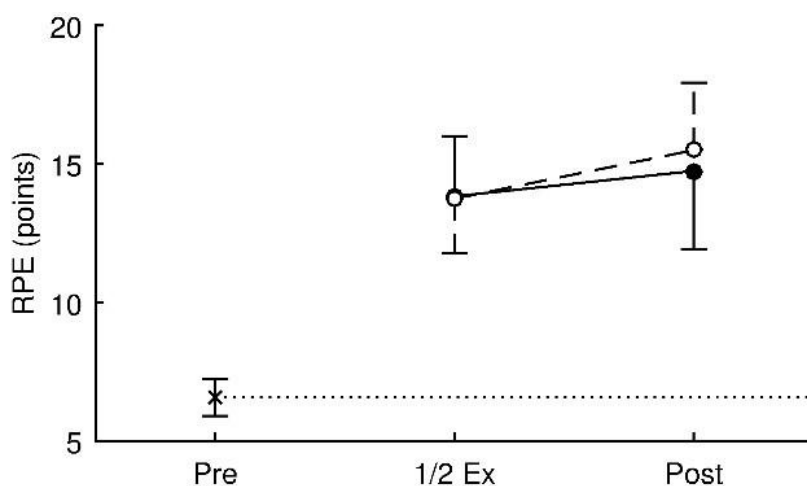


Obrázek 18. Hodnocení svalové bolesti pomocí VAS.

Vysvětlivky: ½ Ex = polovina cvičení; Post = bezprostředně po cvičení; P 30 min = 30 minut po cvičení; P 6 h = 6 hodin po cvičení; P 24 h = 24 hodin po cvičení; ● = HRW; ○ = placebo; * = statisticky signifikantní rozdíl mezi HRW a placebem ($p < 0,05$)

5.4 Vliv HRW/placebo na subjektivně vnímané úsilí

Na základě výsledků nebyl významný rozdíl v subjektivním vnímání intenzity zátěže během cvičení s HRW a placebem (faktor vody: $p = 0,38$, $\eta^2 = 0,02$, interpretace: malý účinek; interakce: $p = 0,28$, $\eta^2 = 0,04$, interpretace: malý účinek). Hodnoty jsou vyznačeny v obrázku 19.

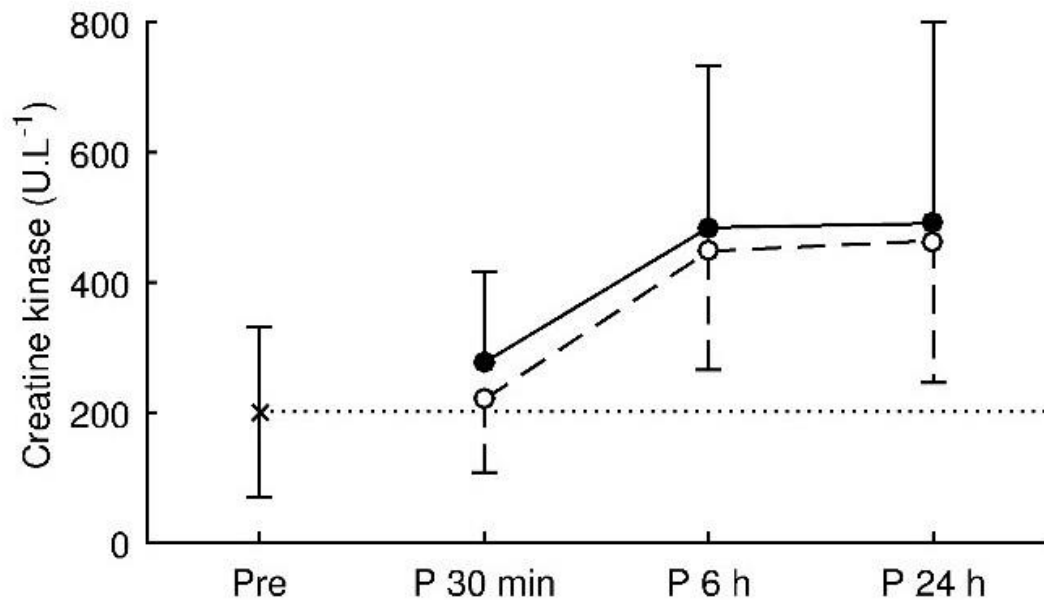


Obrázek 19. Subjektivně vnímané úsilí.

Vysvětlivky: ½ Ex = polovina cvičení; Post = bezprostředně po cvičení; ● = HRW; ○ = placebo

5.5 Vliv HRW/placebo na hladinu CK

Nebyl prokázán statisticky významný účinek HRW na hladinu CK. (faktor vody: $p = 0,16$, $\eta^2 = 0,04$, interpretace: malý účinek; interakce: $p = 0,90$, $\eta^2 = 0,00$, interpretace: triviální účinek). Hladiny CK ve všech měřených časech jsou znázorněny v obrázku 20.

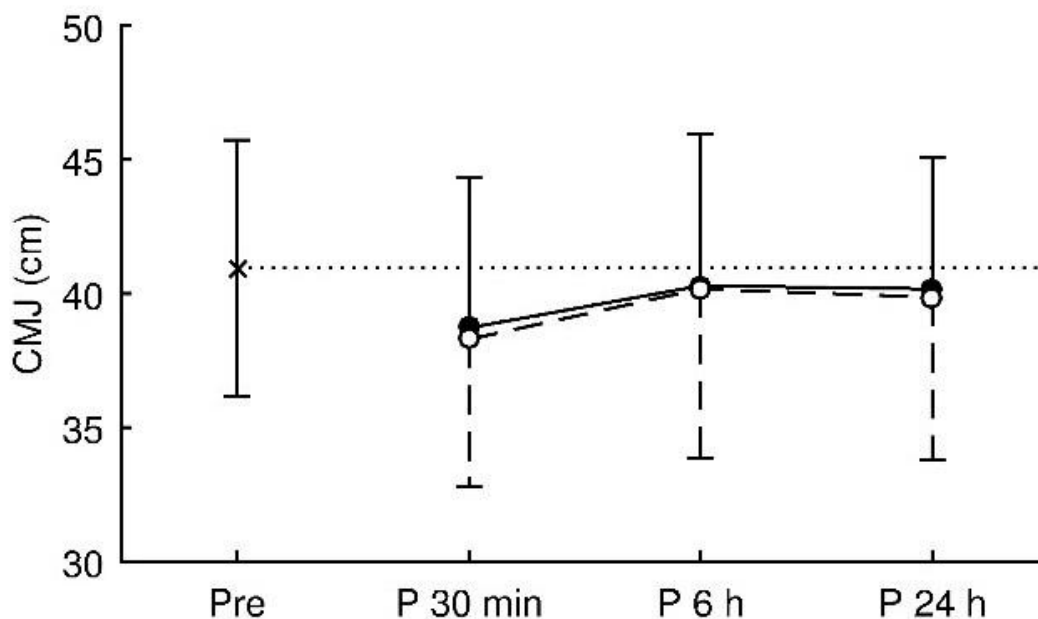


Obrázek 20. Hladina CK při užití HRW/ placebo.

Vysvětlivky: P 30 min = 30 minut po cvičení; P 6 h = 6 hodin po cvičení; P 24 h = 24 hodin po cvičení; ● = HRW; ○ = placebo

5.6 Vliv HRW/placebo na vertikální skok

Na základě výsledků probandi užívající HRW neprováděli vertikální skok signifikantně lépe než probandi s placebem (faktor vody: $p = 0,45$, $\eta^2 = 0,00$, interpretace: triviální účinek; interakce: $p = 0,94$, $\eta^2 = 0,00$, interpretace: triviální účinek). Výkony při vertikálním skoku ve všech měřených časech jsou znázorněny v obrázku 21.

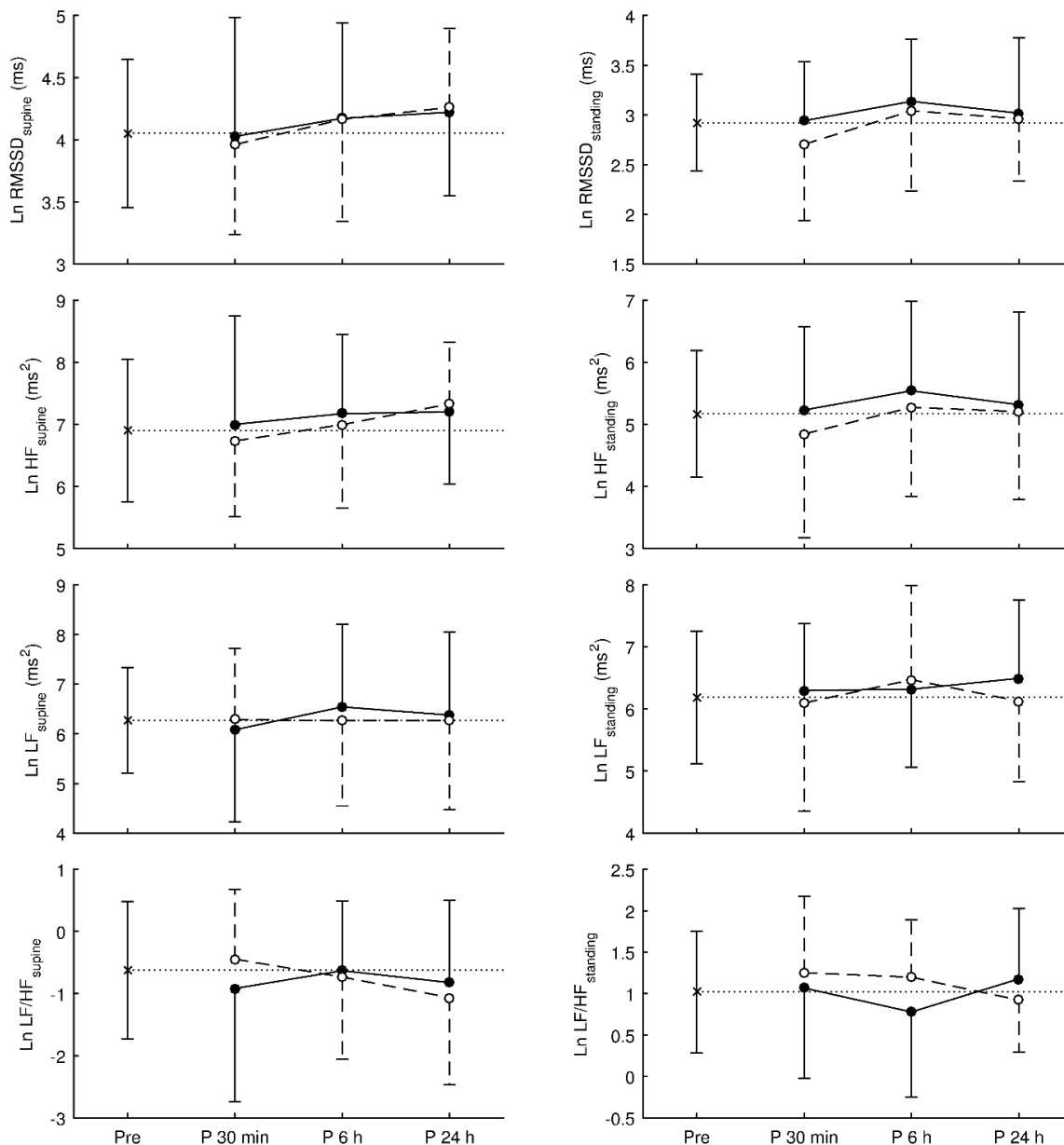


Obrázek 21. Výkon u testování vertikálního skoku s HRW/ placebo.

Vysvětlivky: P 30 min = 30 minut po cvičení; P 6 h = 6 hodin po cvičení; P 24 h = 24 hodin po cvičení; ● = HRW; ○ = placebo

5.7 Vliv HRW/placebo na VSF

Nebyly zjištěny statisticky významné účinky HRW na VSF (faktor vody: pro všechny $p \geq 0,25$, $\eta^2 =$ od 0,00 do 0,02, interpretace: triviální účinek až malý účinek; interakce: pro všechny $p \geq 0,21$, $\eta^2 =$ od 0,00 do 0,06, interpretace: triviální účinek až střední účinek). Naměřená data variability srdeční frekvence jsou znázorněna v obrázku 22.



Obrázek 22. Účinek HRW/ placebo na VSF při poloze těla ve stoje (standing) a vleže (supine). Hodnoty jsou prezentovány jako průměry a směrodatné odchylky.

Vysvětlivky: Ln = přirozený logaritmus; RMSSD = druhá odmocnina z umocněných rozdílů mezi sousedními R-R intervaly; HF = výkon komponenty HF; LF = výkon komponenty LF; LF/HF = poměr komponent LF a HF; Pre = výchozí stav; P 30 min = 30 minutes post exercise; P 6 h = 6 hours post exercise; P 24 h = 24 hours post exercise; ● = HRW; ○ = placebo

5.8 Vyjádření k hypotézám

H0₁ Není rozdíl v aktivitě autonomního systému při použití HRW a placebo.

Z výsledků vyplývá, že VSF se významně nelišila při použití HRW a placebo.

Proto **H0₁ přijímám**

H0₂ Není rozdíl ve velikosti subjektivně vnímané bolesti bezprostředně po zátěži při použití HRW a placebo.

Rozdíl ve vnímání bolesti bezprostředně po zatížení se při použití HRW významně nelišil od hodnot při použití placebo. Proto **H0₂ přijímám.**

H0₃ Není rozdíl v hladině CK během zotavovací fáze experimentu při použití HRW a placebo.

Rozdíl v hladině CK ve všech zotavovacích časech se od sebe při použití HRW a placebo významně nelišil. Proto **H0₃ přijímám.**

H0₄ Není rozdíl v explozivní síle dolních končetin při použití HRW a placebo.

Rozdíl v průměrných hodnotách vertikálního skoku při použití HRW a placebo se od sebe významně nelišil. Proto **H0₄ přijímám.**

6 DISKUZE

Cílem této studie bylo zjistit účinek HRW na odezvu organismu během intenzivního silového zatížení a následného 24 hodinové zotavení. V naší studii jsme zjistili, že při užití HRW byla signifikantně nižší hladina La v krvi ve srovnání s placebem. Dále bylo zjištěno, že při užití HRW probandi prováděli výpady ve všech třech sériích rychleji v porovnání s placebem. V neposlední řadě byl zjištěn statisticky významný účinek HRW na vnímání svalové bolesti ve 24. hodině, kdy byly výsledky VAS v porovnání s placebem výrazně nižší. U hladiny CK, vertikálního skoku jako ukazatele výbušnosti dolních končetin, variability srdeční frekvence a subjektivního vnímání úsilí nebyl prokázán statisticky významný rozdíl při suplementaci HRW nebo placebo.

V našem zátěžovém protokolu byla cvičení prováděna maximálním úsilím při zachování správné techniky. Všechny série byly probandy prováděné 20s a déle s pasivní dobou odpočinku 3 min. Při vysoce intenzivním cvičení se po odeznění krytí pomocí ATP-CP systému začne značným způsobem uplatňovat anaerobní glykolýza, která je charakteristická zvýšením hladiny laktátu v krvi a vodíkových iontů H^+ (Brooks et al., 2000; Maglischo, 2003).

La byl v naší studii výrazně nižší v polovině cvičení a bezprostředně po cvičení. V průběhu regenerace už hodnoty laktátu prokazovali stejný trend. Snížená hladina laktátu koresponduje s výzkumem publikovaným Botkem et al. (2019). V jejich studii zaznamenali nižší laktát při intenzitě 3 and 4 $W \cdot kg^{-1}$ během 8 minutového zatížení na bicyklovém ergometru při podání 600 ml HRW před zatížením. Výrazně nižší hladina laktátu byla zaznamenána i ve studii Aoki et al. (2012) při jízdě na bicyklovém ergometru při intenzitě zatížení 75% VO_2 max a následných 100 izokinetických extenzí kolene. Pozátěžové snížení La se projevilo i ve studii Drida et al. (2016), kde testovali 8 ženských probandů za využití speciálního judo testu. V jeho studii vypili probandi 300ml HRW 30 před zátěžovým testem. Moradi et al. (2020) také prokázal sníženou pozátěžovou hladinu La. Naopak Ooi et al. (2019) nezaznamenal žádnou změny v hladině La při příjmu 290 ml HRW před zátěžovým testem. Saturace H_2 byla 1.0 ppm, což je podobná jako v našem případě. V jeho studii dospěli k závěru, že dávka HRW nebyla pravděpodobně dostatečná, aby vyvolala pozitivní účinky na výkon a metabolickou odpověď u vytrvalostních běžců. Účinky H_2 na hladinu La může být spojováno s nedávným objevem, při kterém zjistili, že aplikace H_2 způsobila aktivaci

systemu oxidativní fosforylace (OXOPHOS) a stimulaci aerobní produkce ATP (Murakami et al., 2017).

Z hlediska svalové výkonnosti se v naší studii prokázalo, že probandi po cca 45 minutách tréninku dokázali provést všechny tři série výpadů rychleji s HRW ve srovnání s placebem. Posledních 20 opakování výpadů provedli o 5% rychleji s HRW v porovnání s placebem. Tyto výsledky korespondují s Aokim et al. (2012), který zaznamenal zpomalení poklesu svalové síly (rozdíl 3,7 % max. momentu síly) při izokinetických extenzích kolene v důsledku užití 1,5l HRW (saturace H₂ = 0.9 – 1.0 ppm) v průběhu 8 hodin před samotným experimentem. Naše výsledky dále korespondují i s Da pontem (2017), který zjistil zpomalení poklesu výkonnosti (o 7,4 % max. momentu síly) a opožděný nástup únavy v případě opakovaných cyklistických sprintů (zejména od 6. do 9. sprintu z 10). V jeho studii probandi užívali 2l HRW (saturace H₂ = 0.2 – 0.5 ppm) denně po dobu 14 dnů před samotným experimentem. Na druhou stranu nebyl v jeho studii zaznamenán statisticky významný rozdíl v hladině laktátu při užití HRW a placeba.

V naší studii nebyl prokázán statisticky významný rozdíl během 24 hodinového zotavení v hladině CK, který je považován za základní ukazatel poškození především kosterního svalu (Tiidus, 2008). Nicméně v zotavovací fázi (6 - 24h po cvičení) byly naměřeny signifikantně vyšší hodnoty v porovnání s výchozím stavem probandů, což ukazuje na svalové poškození svalů způsobené silovým tréninkem. V zahraniční literatuře je pro poškození svalů způsobené cvičením používán termín EIMD (exercise-induced muscle damage). EIMD je popisováno autory jako stav doprovázený opožděnou bolestivostí svalů – DOMS (Fatouros & Jamurtas, 2016). Nicméně v naší studii jsme zjistili významně nižší subjektivní hodnocení svalové bolesti při užití HRW ve 24 hodině zotavení, která je hodnocena pomocí vizuální analogové škály (VAS). Toto zjištění nám ukazuje rozpor mezi hladinou CK jakožto markerem svalového poškození doprovázené DOMS a subjektivně vnímanou bolestí. Jestliže CK ukazuje jednoznačné poškození svalů, DOMS můžeme brát jako složitější jev, který je ovlivněn více faktory. Těmito faktory jsou podle Kawamury et al. (2020) průběh zánětlivého procesu, oxidační stres a aktivace fagocytů při zánětlivém procesu. Molekulární vodík, jakožto selektivní antioxidant a proti zánětlivý činitel (LeBaron et al., 2020; Oshawa et al., 2007; Zhang et al., 2018), by mohl potlačovat bolest podobně jako analgetika i přes zvýšenou hladinu CK v krvi 24h po zátěži. Podobné výsledky jako v naší studii zaznamenal i Kawamura et al. (2018), který objevil pozitivní účinky H₂ na subjektivní vnímání DOMS. Jeho

studie se zúčastnilo 9 zdravých probandů a spočívala ve cvičení běhu z kopce (8% sklon) při 75% VO₂ max po dobu 30 min. a následné 20 min koupele ve vodě obohacené o H₂ nebo v placebo během jednoho týdne. Zjistili významný rozdíl ve vnímání DOMS pomocí VAS 1. a 2. den po zátěži. Nicméně také nezjistili významný rozdíl v hladině CK. V závěrech jejich práce uvádějí, že daný zotavovací postup se jeví jako neúčinný při snižování zánětlivých a oxidačních markerů při běhu z kopce (Kawamura et al., 2018). Další naše výsledky korespondují s nedávno publikovanou studií Mikamim et al., (2019), kde prokázali snížení vnímání svalové únavy zjišťované pomocí VAS. Dvojitě zaslepená, placebem kontrolovaná studie spočívala v mírném cvičení (jždě na bicyklovém trenažeru) prováděném běžnou netrénovanou populací, při které probandi 30 min před výkonem brali 500ml placebo nebo HRW (koncentrace H₂ = 0.8 ppm). Z jejich výsledků vyplynulo, že ti probandi, kteří vykazovali větší únavu po zatížení, byli více citliví na účinky H₂. Toto objevení by mohlo souviset se závěrem experimentu provedeného Botkem et al. (2020), kteří zjistili, že lépe trénovaní sportovci jsou méně citliví na účinky H₂ než méně trénovaní sportovci.

Jak bylo výše uvedeno, nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl ve vertikálním skoku ukazující explozivní sílu dolních končetin. K podobným výsledkům dospěli i Dobashi et al. (2020), kteří také nezaznamenali významný rozdíl ve vertikálním skoku při suplementaci 500 ml placebo nebo HRW. V této studii byla probandům podána menší dávka HRW než v našem výzkumu.

Rozdíl v subjektivním vnímání intenzity zatížení pomocí Borgovy škály se také neprokázal. Vzhledem ke snížené hladině laktátu během cvičení a bezprostředně po cvičení jsme předpokládali i snížené vnímání zatížení. Toto zjištění nekorresponduje s výsledky ve studii provedenou Botkem et al. (2019), kdy hodnocení pomocí Borgovy škály bylo při zátěži 4 W.kg⁻¹ na bicyklovém trenažeru nižší s HRW než s placebem. V jejich studii byl použit jiný objem a strategie podávání HRW. Bylo jim podáno 300ml HRW 30min před výkonem a 300ml 1 minutu před výkonem. Otázkou je, jak moc spolehlivá je Borgova škála vzhledem k vnímání intenzity zatížení při jždě na bicyklovém trenažeru a při provádění silových cvičení.

Při užití HRW nebyl prokázán významný rozdíl ve VSF. VSF se využívá jako nástroj pro posouzení funkčního stavu organismu. Své využití najde u zatížení aerobního/vytrvalostního charakteru (Botek et al., 2016; Hautala, Kiviniemi & Tulppo, 2009; Kiviniemi et al., 2006; Plews et al., 2013), zatímco u silového tréninku je toto využití diskutabilní (Chen et al., 2010; Iellamo et al., 2001; Kingsley & Figueroa, 2014;

Oliveira et al., 2019; Thamm et al., 2019). V žádné se studií týkajících se tělesného zatížení a účinky HRW nebyla zatím použita VSF jako ukazatel stavu autonomního systému. Z tohoto důvodu se hodnocení VSF jako ukazatele funkčního stavu organismu při silovém tréninku ukazuje jako málo efektivní a proto by po silovém tréninku mělo být doplněno o další objektivní či subjektivní parametry.

Otázkou pro příští výzkumy a zároveň limity této studie bylo stanovení dávky H₂ s ohledem na hmotnost probandů. V této studii byla dávka HRW stejná pro každého probanda. Dále by bylo pro příští studie dobré stanovit aktivitu imunitního systému a doplnit o další parametry jako jsou antioxidační, zánětlivé a oxidativní markery, které by pomohly lépe pochopit chování H₂ vzhledem k odpovědi imunitního systému, vývoje DOMS a jejich interakci. Dále by bylo vhodnější mít k provedení experimentu větší vzorek probandů (n = 12). V souvislosti s účinky H₂ oddalovat únavu, by bylo v příští studii vhodné posoudit čas excentrické a koncentrické fáze kontrakce při cvičení. Mezi další limity, které by mohli ovlivnit výsledky našeho experimentálního výzkumu, řadíme např. životosprávu probandů v průběhu experimentu, dostatek spánku před oběma testy, stejná strava probandů, onemocnění bez projevů symptomu, psychický stav probandů. Probandi byli před výzkumem poučeni o dodržování určitých pravidel, ale tyto faktory se odehrávaly mimo testování, tudíž jsme je nemohli kontrolovat.

Závěrem lze konstatovat, že suplementace 1260 ml HRW před (410 ml), během (210 ml) a po (650 ml) zatížení, snižuje zátěžovou i pozátěžovou hladinu laktátu, ovlivňuje pozitivně funkčnost svalů, snižuje vnímání bolesti 24 hodin po zatížení a hydratace HRW se pro sportovce, ale i nesportovce během silového tréninku jeví, jako prospěšná.

7 ZÁVĚRY

Podařilo se nám splnit hlavní i dílčí cíle, které jsme si před experimentem stanovili. Hlavním cílem této studie bylo zjistit, jaká bude odezva organismu na intenzivní silové zatížení a 24 hodinové zotavení při aplikaci HRW. Z výsledků vyplývá, že suplementace celkem 1260 ml HRW distribuovaných před (420 ml), během (210 ml) a po (650 ml) silovém tréninku má statisticky významný účinek na hladinu laktátu v krvi, vnímání bolesti a silový výkon. U dalších sledovaných parametrů (VŠF, hladina CK, subjektivní vnímání úsilí, vertikální skok) nebyl účinek HRW prokázán.

)

8 SOUHRN

Molekulární vodík a jeho potenciální účinky jsou stále více předmětem výzkumův medicíně, ale i ve sportovní oblasti. V medicíně je studován jako účinný antioxidant, který by mohl mít svou úlohu jako medikament při léčení různých nemocí či chorob nebo jako podpora při léčebných procedurách. Ve sportovní praxi je spojován např. s oddalováním únavy, zvyšováním výkonu nebo léčbou sportovních zranění.

V naší studii jsme zkoumali vliv HRW na akutní odezvu organismu během silového tréninku a následného 24 hodinového zotavení. Experiment byl proveden randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou, crossover metodou. Předmětem zkoumání byly biochemické ukazatele (hladina La, hladina CK) vertikální skok, subjektivně vnímané pocity (VAS škála, Borgova škála), variabilita srdeční frekvence a čas provedení jednotlivých sérií u cviku – výpady.

Testování se zúčastnilo 12 mužských sportovců, kteří měli předchozí zkušenosti se silovým tréninkem. Jejich průměrný věk byl $23,8 \pm 1,9$, průměrný tělesný tuk $12,1 \pm 3,6$ %, průměrná výška 180 ± 5 cm a průměrná váha 78.3 ± 6.0 kg. Nejprve byli probandi seznámeni s průběhem experimentu a následně prošli vstupním vyšetřením pro zjištění jejich somatických parametrů a stanovení 1RM u cviků v zátěžovém protokolu. Týden na to následoval samotný zátěžový protokol, který se skládal ze 4 cviků: dřep do 90° , flexe v kolenním kloubu, extenze v kolenním kloubu, výpady. Zátěžový protokol absolvoval každý dvakrát s odstupem jednoho týdne. Jednou s placebem a jednou s HRW. V průběhu experimentu užíli HRW nebo placebo v celkovém objemu 1260 ml rozděleného do 5 dávek. 210 ml 30 min před tréninkem, 210 ml 1 min před tréninkem, 210 ml v polovině tréninku, 210 ml bezprostředně po tréninku a nakonec 420 ml během 30 minutového zotavení.

Výsledky prokázaly statisticky signifikantní rozdíl v časech provedení výpadů ve všech třech prováděných sériích (1. série: HRW: $43,4 \pm 5,3$ s, placebo: $45,6 \pm 4,1$ s; 2. série: HRW: $42,7 \pm 3,2$ s, placebo: $46,6 \pm 2,8$ s; 3. série HRW: $42,8 \pm 2,9$ s, placebo: $47,5 \pm 3,8$ s). Kromě zlepšení svalové funkčnosti, byl prokázán pozitivní účinek HRW na bolestivost svalů ve 24 hodině po cvičení (HRW: 26 ± 14 points, placebo: 41 ± 20 bodů). Dále se prokázal pozitivní účinek HRW na snížení hladiny laktátu v polovině cvičení (HRW: $5,3 \pm 2,1$ mmol.L⁻¹, placebo: $6,5 \pm 1,8$ mmol.L⁻¹) a bezprostředně po cvičení (HRW: $5,1 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹, placebo: $6,3 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹). U dalších sledovaných parametrů se účinek HRW signifikantně neprojevil.

Zkoumání účinků molekulárního vodíku je v začátcích. Dle mého názoru je potřeba provést více studií, které by odhalily neoptimálnější metodiku dávkování (kdy a kolik) za účelem odhalení mechaniky chování HRW. Odhalení chování mechanismu H₂ by pomohlo získat co největší benefity pro profesionální sportovce, ale i rekreační sportovce či běžnou populaci a jejich sportovní výkony.

9 SUMMARY

Molecular hydrogen and its potential effects are increasingly the research subject in medicine as well as in the field of sports. In medicine, it is studied as an effective antioxidant, which could be used in the treatment of various diseases or as a support in medical procedures. In sports, it is associated with, for example, delaying fatigue, increasing performance or treating sports injuries. In our study, we examined the effect of HRW on body's response to strength training and subsequent 24-hour recovery. We performed the experiment using randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover method. The subject of the research were biochemical indicators (La level, CK level), vertical jump, subjectively perceived feelings (VAS scale, Borg scale), heart rate variability and time of individual series in the exercise - lunges. Twelve male athletes with previous experience in strength training took part in the study. Their mean age was $23,8 \pm 1,9$, mean body fat $12,1 \pm 3,6\%$, mean height 180 ± 5 cm and mean weight $78,3 \pm 6,0$ kg. First, probands were acquainted with the course of the experiment and then underwent an initial examination to determine their somatic parameters and their 1RM for the exercises in the exercise protocol. A week after, participant underwent the exercise protocol, which consisted of 4 exercises: squatting up to 90° , knee-flexion, knee extension, lunges. Participants completed the experimental protocol twice with an interval of one week. Once with placebo and once with HRW. During the experiment, they ingested HRW or placebo in a total volume of 1260 ml divided into 5 doses. 210 ml 30 min before training, 210 ml 1 min before training, 210 ml in the middle of training, 210 ml immediately after training and finally 420ml during 30 minutes of recovery. The results showed a statistically significant difference in the times of lunges in all three performed series (1st series: HRW: $43,4 \pm 5,3$ s, placebo: $45,6 \pm 4,1$ s; 2nd series: HRW: $42,7 \pm 3,2$ s, placebo: $46,6 \pm 2,8$ s; 3rd series HRW: $42,8 \pm 2,9$ s, placebo: $47,5 \pm 3,8$ s). In addition to the improving muscle function, we demonstrated a positive effect of HRW on muscle pain at 24 hours after exercise (HRW: 26 ± 14 points, placebo: 41 ± 20 points). Furthermore, we demonstrated a positive effect of HRW on the reduction of lactate levels in the middle of exercise (HRW: $5,3 \pm 2,1$ mmol.L-1, placebo: $6,5 \pm 1,8$ mmol.L-1) and immediately after the exercise (HRW: $5,1 \pm 2,2$ mmol.L-1, placebo: $6,3 \pm 2,2$ mmol.L-1). We have not been able to demonstrate a statistically significant effect for other parameters.

The study of the effects of molecular hydrogen is in its infancy. In my opinion, more research to establish the most optimal dosing methodology (timing and dosage) in order to reveal the biomechanics of HRW is needed. Revealing the behavior of the H₂ mechanism would help to obtain the greatest possible benefits for professional as well as recreational athletes, or the general population alike.

REFERENČNÍ SEZNAM

- Ahtiainen, J. P. (2018). Physiological and Molecular Adaptations to Strength Training. *Concurrent Aerobic and Strength Training*, 51–73. doi: 10.1007/978-3-319-75547-2_5.
- 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. doi: 10.1186/2045-9912-2-12.
- Ara, J., Fadriuela, A., Ahmed, M. F., Bajgai, J., Sajo, M. E. J., Lee, S. P., ... Lee, K.-J. (2018). Hydrogen Water Drinking Exerts Anti fatigue Effects in Chronic Forced Swimming Mice via Antioxidative and Anti-Inflammatory Activities. *BioMedResearch International*. doi: 10.1155/2018/2571269.
- Baechle, T.R. & Earle, R.W. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3rd ed.). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Bernaciková, M., Kapounková, K., Novotný, J., Vomela, J., Vomelová, N., (2014). *Fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy* [Multimediální učebnice], Brno: Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita. Retrieved 01.05.2020 from World Wide Web: https://is.muni.cz/el/fsp/podzim2014/bk2055/skripta_Fyziologie_komplet_verze_pdf.pdf#page=1.
- Berry, S. L. (2017). Resistance training. *Encyclopædia Britannica*. Retrieved 15.05.2020 from World Wide Web: <https://www.britannica.com/topic/resistance-training>.
- Botek, M., Krejčí, J., Mckune, A. J., & Klimešová, I. (2016). Somatic, Endurance Performance and Heart Rate Variability Profiles of Professional Soccer Players Grouped According to Age. *Journal of Human Kinetics*, 54(1), 65–74. doi: 10.1515/hukin-2016-0035.

- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnanek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly, část 1.)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- 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. doi: 10.1055/a-0991-0268.
- 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*, 1–4. doi: 10.1123/ijsp.2019-0507.
- Briggs, D., & Morgan, J. E. (2013). Recent progress in satellite cell/myoblast engraftment - relevance for therapy. *FEBS Journal*, 280(17), 4281–4293. doi: 10.1111/febs.12273.
- Brumitt, J., & Cuddeford, T. (2015). Current concepts of muscle and tendon adaptation to strength and conditioning. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(6), 748–759.
- Calle, M. C., & Fernandez, M. L. (2010). Effects of resistance training on the inflammatory response. *Nutrition Research and Practice*, 4(4), 259. doi: 10.4162/nrp.2010.4.4.259.
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-Induced Muscle Damage in Humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(Supplement). doi: 10.1097/00002060-200211001-00007.
- Close, G. L., Ashton, T., Mcardle, A., & Maclaren, D. P. (2005). The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 142(3), 257–266. doi: 10.1016/j.cbpa.2005.08.005.

- Da Ponte, A., Giovanelli, N., Nigris, D., & Lazzer, S. (2017). Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 612-621. doi: 10.23736/S0022-4707.17.06883-9.
- De Salles, B. F., Simão, R., Miranda, F., da Silva Novaes, J., Lemos, A., & Willardson, J. M. (2009). Rest Interval between Sets in Strength Training. *SportsMedicine*, 39(9), 765–777.
- Dobashi, S., Koyama, K. & Takeuchi, 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. *MedicalGasResearch*, 10(1), 21–26. doi: 10.4103/2045-9912.279979.
- Dole, M., Wilson, F., & Fife, W. (1975). Hyperbaric hydrogen therapy: a possible treatment for cancer. *Science*, 190(4210), 152–154. doi: 10.1126/science.1166304.
- Dovalil, J. et al. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Drid, P., Trivic, T., Casals, C., Trivic, S., Stojanovic, M., & Ostojic, S. (2016). Is molecular hydrogen beneficial to enhance post-exerciserecovery in female athletes? *Science & Sports*, 31(4), 207–213. doi: 10.1016/j.scispo.2016.04.010.
- Eckl, P. & Steinbacher, P. (2015). Impact of Oxidative Stress on Exercising Skeletal Muscle. *Biomolecules*, 5(2), 356–377. doi: 10.3390/biom5020356.
- Eliav, E., & Gracely, R. H. (2008). Measuring and assessing pain. *Orofacial Pain and Headache*, 45–56. doi: 10.1016/b978-0-7234-3412-2.10003-3.
- Fatouros, I., & Jamurtas, A. (2016). Insights into the molecular etiology of exercise-induced inflammation: opportunities for optimizing performance. *Journal of Inflammation Research*, Volume 9, 175–186. doi: 10.2147/jir.s114635.
- Felman, A., (2020) Everything you need to know about inflammation. *Medical news today*. Retrieved 10.05.2020 from World Wide Web: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/248423>.

- Ge, L., Yang, M., Yang, N.-N., Yin, X.-X., & Song, W.-G. (2017). Molecular hydrogen: a preventive and therapeutic medical gas for various diseases. *Oncotarget*, 8(60), 102653–102673. doi: 10.18632/oncotarget.21130.
- Grasgruber, P. & Cacek J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free Radicals in Biology and Medicine* (5th ed.). *Oxford University Press*. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198717478.001.0001.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., & Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: The role of the autonomic nervous system. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 107–115. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.04.009.
- Havel, Z. & Hnízdil, J. (2009). *Rozvoj a diagnostika silových schopností*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem. ISBN 978-80-7414-189-8.
- Havlíčková, L. et al. (1999). *Fyziologie tělesné zátěže (2. přepracované vydání)*. Praha: Nakladatelství Karolinum.
- Hernandez, R. and Kravitz, L., 2003. The Mystery of Skeletal Muscle Hypertrophy. *ACSMs Health and Fitness Journal*, 7, 18-22.
- Hořejší V., Bartůňková J., Brdička, T., Špišek R., (2017). *Základy imunologie (6th ed.)*. Praha: Triton.
- Huang, T., Wang, W., Tu, C., Yang, Z., Bramwell, D., & Sun, X. (2015). Hydrogen-rich saline attenuates ischemia–reperfusion injury in skeletal muscle. *Journal of Surgical Research*, 194(2), 471–480. doi: 10.1016/j.jss.2014.12.016.
- Chen, L., Deng, H., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., Deng, J., ... Zhao, L. (2017). Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, 9(6), 7204–7218. doi: 10.18632/oncotarget.23208.

- Chen, J.-Y., Lee, Y. L., Tsai, W.-C., Lee, C.-H., Chen, P.-S., Li, Y.-H., ... Lin, L.-J. (2010). Cardiac autonomic functions derived from short-term heart rate variability recordings associated with heart rate recovery after treadmill exercise test in young individuals. *Heart and Vessels*, 26(3), 282–288. doi: 10.1007/s00380-010-0048-6.
- Iellamo, F., Legramante, J. M., Massaro, M., Raimondi, G., & Galante, A. (2001). Effects Of A Residential Exercise Training On Baroreflex Sensitivity And Heart Rate Variability In Patients With Coronary Artery Disease: A Randomized, Controlled Study. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 21(2), 116. doi: 10.1097/00008483-200103000-00009.
- Ichihara, M., Sobue, S., Ito, M., Ito, M., Hirayama, M., & Ohno, K. (2015). Beneficialbiologicaleffects and theunderlyingmechanismsof molecular hydrogen - comprehensivereviewof 321 originalarticles -. *MedicalGasResearch*, 5(1). doi: 10.1186/s13618-015-0035-1.
- Ishibashi, T., Sato, B., Rikitake, M., Seo, T., Kurokawa, R., Hara, Y., ... Nagao, T. (2012). Consumptionofwatercontaining a highconcentrationofmolecular hydrogen reducesoxidative stress and diseaseactivity in patientswithrheumatoid arthritis: an open-label pilot study. *MedicalGasResearch*, 2(1), 27. doi: 10.1186/2045-9912-2-27.
- Jansa, P., Dovalil, J. & Bunc, V. (2009). *Sportovní příprava: vybrané kinantropologické obory k podpoře aktivního životního stylu (2nd ed.)*. Praha: Q-art.
- Kamimura, N., Nishimaki, K., Ohsawa, I., & Ohta, S. (2011). Molecular Hydrogen Improves Obesity and Diabetes by InducingHepatic FGF21 and StimulatingEnergyMetabolism in db/dbMice. *Obesity*, 19(7), 1396–1403. doi: 10.1038/oby.2011.6.
- Kang, K.-M., Kang, Y.-N., Choi, I.-B., Gu, Y., Kawamura, T., Toyoda, Y., & Nakao, A. (2011). Effects of drinking hydrogen-rich water on the quality of life of patients treated with radiotherapy for liver tumors. *Medical Gas Research*, 1(1), 11. doi: 10.1186/2045-9912-1-11.
- Kasper, H., (2015). *Výživa v medicíně a dietetika (11th ed.)*. Praha: Grada Publishing.

- Kato, S., Saitoh, Y., Iwai, K., & Miwa, N. (2012). Hydrogen-rich electrolyzed warm water represses wrinkle formation against UVA ray together with type-I collagen production and oxidative-stress diminishment in fibroblasts and cell-injury prevention in keratinocytes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *106*, 24–33. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2011.09.006.
- Kawamura, T., Huang, C.S., Tochigi, N., Lee, S., Shigemura, N., Billiar, T.R., Okumura, M., Nakao, A., & Toyoda Y. (2010). Inhaled Hydrogen Gas Therapy for Prevention of Lung Transplant-Induced Ischemia/Reperfusion Injury in Rats. *Transplantation*, *90*(12), 1334-1351. doi: 10.1097/TP.0b013e3181fe1357.
- Kawamura, T., & Muraoka, I. (2018). Exercise-Induced Oxidative Stress and the Effects of Antioxidant Intake from a Physiological View point. *Antioxidants*, *7*(9), 119. doi: 10.3390/antiox7090119.
- 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), 127. doi: 10.3390/antiox7100127.
- Kawamura, T., Higashida, K., & Muraoka, I. (2020). Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, doi: 10.1155/2020/2328768.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. (2012). *Physiology of sport and exercise (5th ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kingsley, J. D., & Figueroa, A. (2014). Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *36*(3), 179–187. doi: 10.1111/cpf.12223.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2006). Aerobic Training Guided Individually by Daily Heart Rate Variability Measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *38*(Supplement). doi: 10.1249/00005768-200605001-02917.

- Knuttgen, H. & Kraemer, W. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1. 1-10. 10.1519/00124278-198702000-00001.
- Ku, J. Y., Park, M. J., Park, H. J., Park, N. C., & Joo, B. S. (2020). Combination of Korean Red Ginseng Extract and Hydrogen-Rich Water Improves Spermatogenesis and Sperm Motility in Male Mice. *Chinese Journal of Integrative Medicine*. doi: 10.1007/s11655-019-3047-1.
- Layne, J. E., & Nelson, M. E. (1999). The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(1), 25–30.
- Lebaron, T., Singh, R., Fatima, G., Kartikey, K., Sharma, J. P., Ostojic, S., ... Slezak, J. (2020). The Effects of 24-Week, High-Concentration Hydrogen-Rich Water on Body Composition, Blood Lipid Profiles and Inflammation Biomarkers in Men and Women with Metabolic Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy, Volume 13*, 889–896. doi: 10.2147/dmso.s240122.
- Lehnert, M. & Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J., & Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. [Multimediální učebnice], Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Retrieved 05.04.2020 from World Wide Web: <https://publi.cz/books/149/Lehnert.html>.
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., Neuls, F., Ješina, O... Šťastný, P. (2014). *Sportovní trénink I*. [Multimediální učebnice], Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Retrieved 05 .04. 2020 from World Wide Web: <https://publi.cz/books/148/Lehnert.html>.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. doi: 10.4103/0973-7847.70902.

- Lumb A. B. (2000). *Nunn's applied respiratory physiology (5th ed.)*. Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN: 0-7506-3107-4.
- Máček M., & Randvanský J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-695-3.
- Maglischo, E. W., (2003). *Swimming fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Mandelker, L. (2009). *Veterinary clinics of North America. Praxe malých zvířat*. Praha: Pierot, spol. s.r.o.
- Mikami, T et al., (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. doi: 10.1139/cjpp-2019-0059.
- Mitra, S., Nguyen, L. N., Akter, M., Park, G., Choi, E. H., & Kaushik, N. K. (2019). Impact of ROS Generated by Chemical, Physical, and Plasma Techniques on Cancer Attenuation. *Cancers*, 11(7), 1030. doi: 10.3390/cancers1107103.
- Moradi, B., Saberi, E., Hasani, A., & Montarez, A. (2020). The role of drinking hydrogen-rich water produced by alkaline stick on resistance exercise in athletes. *Health Biotechnology and Biopharma*, 3(4), 35–47. doi: 10.22034/HBB.2020.28.
- Nakayama, M., Nakano, H., Hamada, H., Itami, N., Nakazawa, R., & Ito, S. (2010). A novel bioactive haemo dialysis system using dissolved dihydrogen (H₂) produced by water electrolysis: a clinical trial. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 25(9), 3026–3033. doi: 10.1093/ndt/gfq196.
- Nicolson, G. L., Mattos, G. F. D., Settineri, R., Costa, C., Ellithorpe, R., Rosenblatt, S., ... 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. doi: 10.4236/ijcm.2016.71005.
- Niess, A. M. & Simon, P. (2007). Response and adaptation of skeletal muscle to exercise - the role of reactive oxygen species. *Frontiers in Bioscience*, 12(12), 4826. doi: 10.2741/2431.

- Ohno, K., Ito, M., Ichihara, M., & Ito, M. (2012). Molecular Hydrogen as an Emerging Therapeutic Medical Gas for Neurodegenerative and Other Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 1–11. doi: 10.1155/2012/353152.
- Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., ... Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13(6), 688–694. doi: 10.1038/nm1577.
- Ohta, S. (2012). Molecular hydrogen is a novel antioxidant to efficiently reduce oxidative stress with potential for the improvement of mitochondrial diseases. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1820(5), 586–594. doi: 10.1016/j.bbagen.2011.05.006.
- Oliveira, R. M. D., Ugrinowitsch, C., Kingsley, J. D., Silva, D. G. D., Bittencourt, D., Caruso, F. R., ... Libardi, C. A. (2019). Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses. *European Journal of Sport Science*, 19(8), 1092–1100. doi: 10.1080/17461391.2019.1572227.
- Ono, H., Nishijima, Y., Ohta, S., Sakamoto, M., Kinone, K., Horikosi, T., ... Takanami, H. (2017). Hydrogen Gas Inhalation Treatment in Acute Cerebral Infarction: A Randomized Controlled Clinical Study on Safety and Neuroprotection. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 26(11), 2587–2594. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.06.012.
- Ostojic, S. M., & Stojanovic, M. D. (2014). Hydrogen-Rich Water Affected Blood Alkalinity in Physically Active Men. *Research in Sports Medicine*, 22(1), 49–60. doi: 10.1080/15438627.2013.852092.
- Ostojic, S. M., Vukomanovic, B., Calleja-Gonzalez, J., & Hoffman, J. R. (2014). Effectiveness of Oral and Topical Hydrogen for Sports-Related Soft Tissue Injuries. *Postgraduate Medicine*, 126(5), 188–196. doi: 10.3810/pgm.2014.09.2813.
- Pastucha, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly*. Praha: Grada Publishing.

- Peake, J. M., Neubauer, O., Gatta, P. A. D., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 559–570. doi: 10.1152/jappphysiol.00971.2016.
- Pedersen, B. K., & Hoffman-Goetz, L. (2000). Exercise and the Immune System: Regulation, Integration, and Adaptation. *Physiological Reviews*, 80(3), 1055–1081. doi: 10.1152/physrev.2000.80.3.1055.
- Perič, T. (2004). *Sportovní příprava dětí*. Praha: Grada Publishing.
- Perič, T. & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing.
- Petrošová, K. (2016). *Snadná cesta ke zdraví antioxidanty*. Praha: Grada Publishing.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to Effective Monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. doi: 10.1007/s40279-013-0071-8.
- Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2008). *Exercise physiology for health, fitness, and performance (2nd ed.)*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health.
- Poliquin Ch. (1997). *The Poliquin Principles: Successful Methods for Strength and Mass Development*. Dayton Publications & Writers Group.
- Psotta, R. (2006) *Fotbal: kondiční trénink: moderní koncepce tréninku, principy, metody a diagnostika, teorie sportovního tréninku*. Praha: Grada Publishing.
- Racek, J. (2003). *Oxidační stres a možnosti jeho ovlivnění (1st ed.)*. Praha: Galén.
- Schaffin G. (2018). The complicated history of the visual analog scale: Part 1. Retrieved 08.05.2020 from World Wide Web: <https://medicalhealthhumanities.com/2018/06/26/the-complicated-history-of-the-visual-analog-scale-part-1/>.
- Stoppani, J. (2008). *Velká kniha posilování*. Praha: Grada Publishing.
- Stoppani, J. (2016). *Velká kniha posilování (2nd ed.)* Praha: Grada Publishing.

- Struzik, A. (2019). Biomechanical Characteristics of the Countermovement Jump. *Measuring Leg Stiffness During Vertical Jumps*, 9–18. doi: 10.1007/978-3-030-31794-2_2.
- Sun X., Ohta S., Nakao A. (2015). *Hydrogen Molecular Biology and Medicine*. USA: Springer.
- Štípek, S. (2000). *Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a v nemoci*. Praha: Grada Publishing.
- Švetskóvá, O., Angerová, Y., Druga, R., Pfeiffer, J., Votava, J., (2017). *Rehabilitace motoriky člověka: fyziologie a léčebné postupy*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0084-2.
- Thamm, A., Freitag, N., Figueiredo, P., Doma, K., Rottensteiner, C., Bloch, W., & Schumann, M. (2019). Can Heart Rate Variability Determine Recovery Following Distinct Strength Loadings? A Randomized Cross-Over Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4353. doi: 10.3390/ijerph16224353.
- Tiidus, P. M. (2008). *Skeletal muscle damage and repair*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Westcott, W. L. (2012). Resistance Training is Medicine. *Current Sports Medicine Reports*, 11(4), 209–216. doi: 10.1249/jsr.0b013e31825dabb8.
- Yoritaka, A., Takanashi, M., Hirayama, M., Nakahara, T., Ohta, S., & Hattori, N. (2013). Pilot study of H₂ therapy in Parkinsons disease: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Movement Disorders*, 28(6), 836–839. doi: 10.1002/mds.25375.
- Zahradník, D., Korvas, P. (2017). *Základy sportovního tréninku*. [Multimediální učebnice], Brno: Masarykova univerzita, Retrieved 05.04.2020 from World Wide Web: <https://publi.cz/books/51/index.html?secured=false#07>.

- Zajac, A., Waskiewicz, Z., & Pilis, W. (2001). Anaerobic Power, Creatine Kinase Activity, Lactate Concentration, and Acid-Base Equilibrium Changes Following Bouts of Exhaustive Strength Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 357–361. doi: 10.1519/00124278-200108000-00017.
- Zatsiorski, V. M. (2002). *Kinetics of human motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Zatsiorski, V. M., & Kraemer W. J. (2014). *Silový trénink. Praxe a věda*. Praha: Mladá fronta.
- Zhang, L. et al., (2018). Effects of the long-term consumption of hydrogen-rich water on the antioxidant activity and the gut flora in female juvenile soccer players from Suzhou, China. *Medical Gas Research*, 8(4), 135. doi: 10.4103/2045-9912.248263.