

Konzumace vody bohaté na vodík pozitivně ovlivňuje výkonnost svalů, laktátovou reakci a zmírňuje opožděný nástup svalové bolesti po odporovém tréninku

Michal Botek,¹ Jakub Krejčí,¹ Andrew McKune,^{2,3} Michal Valenta,¹ a Barbora Sládečková¹

¹Katedra přírodních věd v oblasti kinantropologie, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika; ²Faculty of Health, UC-Research Institute for Sport and Exercise, University of Canberra, Canberra, Austrálie; ³Discipline of Biokinetics, Exercise and Leisure Sciences, School of Health Sciences, University of KwaZulu-Natal, Durban, Jihoafrická republika.

Abstrakt

Úvod: Konzumace vody bohaté na vodík pozitivně ovlivňuje svalovou výkonnost, laktátovou reakci a zmírňuje opožděný nástup svalové bolesti po odporovém tréninku. Studie s randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou, zkříženou studii zahrnovala 12 mužů ve věku 23,8 ± 0,6 let a 12 žen ve věku 24,1 ± 1,5 let. Subjekty prováděly dvířní poloviční dřep, flexe v kolenní a extenze se zátěží nastavenou na 70 % 1RM maximální zátěží (1RM) v 30 s. Opožděnou svalovou bolestivost lze hodnotit neinvazivně, např. pomocí série laktát a hodnocení vnímané námahy byly hodnoceny v vizuální analogové stupnici (VAS) (16), zatímco se používali hodnocení svalové bolestivosti na vizuální analogové stupnici, výskok proti pohybu, variabilita srdeční frekvence byly hodnoceny před tréninkem a po 30 minutách, 6 a 24 hodinách zotavení. Vypady byly provedeny rychlejší HRV ve srovnání s placebem ($p < 0,001$). Voda bohatá na vodík snížila množství laktátu v polovině tréninku a bezprostředně po něm (HRV: 51,3 ± 6,2 a 51,1 ± 6,2, placebo: 6,5 ± 1,8 a 6,3 ± 2,2 mmol·L⁻¹, $p < 0,008$). Hodnocení na vizuální analogové škále bylo po 24 hodinách zotavení významně nižší (HRV: 29,6 ± 6,1 a 29,6 ± 6,1, $p < 0,002$). Závěrem lze říci, že akutní přerušovaná hydratace HRV zlepšila funkci svalů, snížila laktátovou reakci (2), zmírnila opožděný nástup svalové bolesti (11) a byla schopna zlepšit výkon (1), proti únavě, bolesti svalů (23). Výsledky autonomní srdeční odezvy na re-sistenční trénink (39) a její vztah k DOMS jsou však stále nejasné. (23). Ukázalo se, že základní mechanismus, který způsobuje DOMS po odporovém tréninku, je pravděpodobně multifaktoriální,

Korespondenci směřujte na Jakuba Krejčí, jakub.krejci@upol.cz.

Journal of Strength and Conditioning Research 00(00)/1-8

© 2021 Národní silová a kondiční asociace

z pohledu konzumace HRW před cvičením snižuje hladinu laktátu v krvi během jízdy na kole při vyšších intenzitách cvičení (8) a bezprostředně po cvičení (1). Kromě toho příjem HRW tlumil hodnocení vnímané námahy (RPE) (8) během cvičení a VAS po vytrvalostním cvičení (27). Jiní však nezjistili žádné změny v RPE ani v reakci laktátu během submaximálních a maximálních exercise testů (33). Pokud jde o DOMS po svalovém poškození vyvolaném cvičením, Kawamura a spol. prokázali (19), že 20minutová koupel v H₂ po 30minutovém běhu z kopce (28% sklon při in-

75 % $\dot{V}O_2\text{max}$) významně snížil DOMS v první fázi tréninku. 2 dny po spuštění. Podle tohoto experimentu však koupel v H₂ neměla žádný vliv na markery oxidačního stresu a poškození svalů. Souhrnně lze říci, že příjem H₂ může při dodržení "vhodné" dávky H₂ a doby podávání měnit biochemické, performanční, fyziologické a psychometrické proměnné. V této souvislosti Kawamura et al. nedávno (20) diskutovali o budoucích směrech aplikace H₂ ve sportovních vědách a doporučili příjem HRW bezprostředně před a během cvičení, aby se zvýšila účinnost H₂, a to z důvodu krátkého poločasu H₂ (vrchol v 10-15 minutách) v organismu (32).

Na základě literatury (1) a našeho předchozího výzkumu s použitím HRW (7,8) jsme očekávali, že podávání HRW bude mít ve srovnání s placebem pozitivní vliv na fyziologické, biochemické, percepční a výkonnostní proměnné během tréninku a během až 24hodinové regenerace. V tomto ohledu jsme předpokládali, že dojde k významnému redukcii koncentrace laktátu a CK, snížení RPE a VAS, zkrácení doby výpadu, zlepšení výšky vertikálního skoku a zvýšení srdeční vagové aktivity.

Metody

Experimentální přístup k problému

Studie byla dvojitě zaslepená, zkřížená, s randomizovaným a vyváženým podáváním HRW a placebo. Protokol experimentální studie se skládal ze 4 laboratorních sezení (obrázek 1). První sezení zahrnovalo podrobné instrukce týkající se experimentálního postupu a seznámení s testovacími zařízeními. Druhé sezení proběhlo následující den a zahrnovalo antropometrická měření a determinaci individuálního maxima 1 opakování (1RM). Pokusným osobám bylo doporučeno, aby se nejméně 2 hodiny před sezeními 2-4 vyhnuly pití kávy, čaje a jakýchkoli jiných látek, které by mohly ovlivnit vybrané fyziologické, biochemické a percepční reakce na cvičení. Kromě toho byly subjekty také požádány, aby se 72 hodin před všemi testy vyhýbaly intenzivní fyzické aktivitě a alkoholu. Malé standardizované jídlo (1 banán) požily všechny subjekty nejméně 60 minut před každým cvičením. Aby se předešlo možným denním výkyvům, bylo veškeré testování naplánováno mezi 8:30 a 11:00 hodinou dopoledne ve fakultním zařízení (pokojová teplota 20-22 °C). Třetí sezení se konalo 2 týdny po druhém sezení. Při tomto sezení byly subjekty náhodně rozděleny do dvou skupin: HRW nebo placebo ($n = 6$ v každé skupině). Randomizace byla provedena pomocí losů, přičemž byl použit stejný počet 2 barevných proužků (červený a modrý). Subjekty si losovaly pouze jeden proužek, přičemž byly zaslepeny. Čtvrté sezení proběhlo po týdenním výplachu a subjekty prováděly stejný protokol odporového tréninku jako ve třetím sezení, s tím rozdílem, že nápoje byly vyměněny (HRW

nohy jsou od sebe vzdáleny o něco více než na šířku boků a činka je držena přes horní část ramen a horní část zad. Poté dřepovali do hloubky, která vedla k úhlu 90° v kolenou, a pak se vrátili do výchozí polohy. Vhodné provedení každého polodřepu

Předměty

Do této studie bylo zařazeno 12 studentů Fakulty tělesné kultury s následujícími charakteristikami (průměr \pm SD): věk: 23,8 \pm 1,9 let (rozmezí 21-27 let), tělesná hmotnost: 78,2 \pm 6,0 kg, tělesný tuk: 12,1 \pm 3,6 % a výška: 180,0 \pm 5,0 cm). Všechny osoby byly zdravé, nekuřáci, byly fyzicky aktivní a měly zkušenosti s odporovým tréninkem. Nebrali žádné léky ani neužívali doplňky stravy a netrpěli žádnými známými (podle vlastního vyjádření) kardiovaskulárními, plicními a metabolickými onemocněními. Studie byla schválena etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (referenční číslo 75/2017) v souladu s Helsinskou deklarací. Všechny subjekty byly před podpisem schváleného písemného informovaného souhlasu s účastí ve studii informovány o přínosech a rizicích šetření. Kromě toho, pokud je nám známo, nebyly hlášeny žádné nežádoucí účinky během nebo po podání HRW (29) ani nebyly hlášeny v této studii.

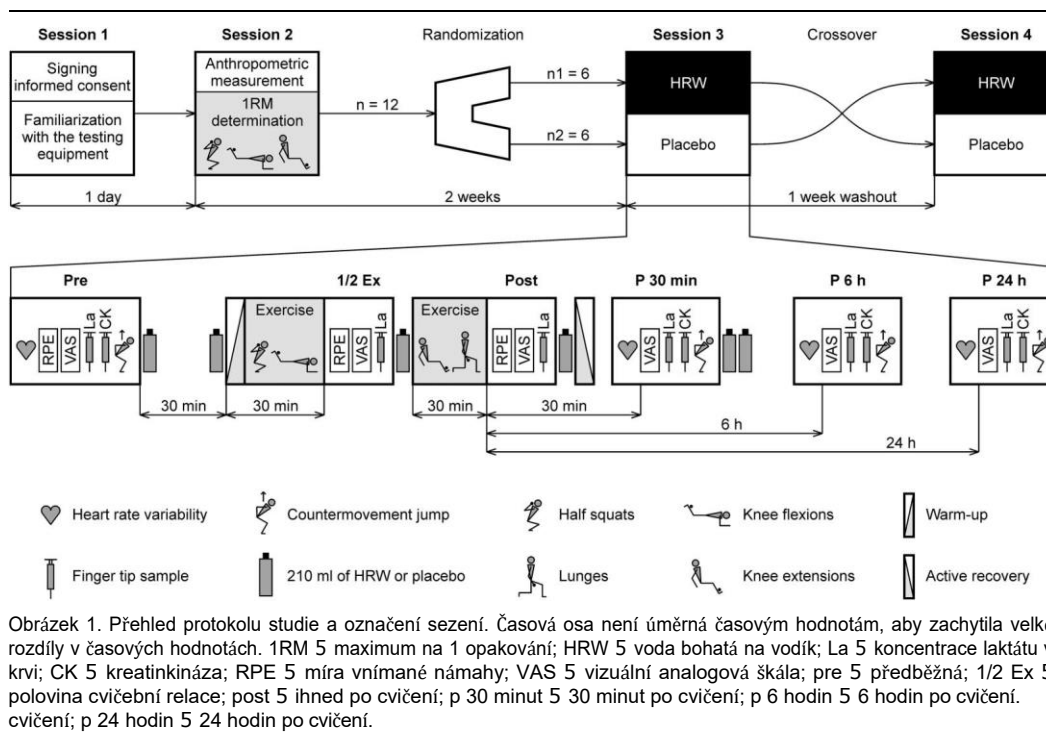
Postupy

Antropometrické měření. Tělesná výška (s přesností na 1 cm) a tělesná hmotnost (s přesností na 0,1 kg) byly změřeny pomocí digitální váhy SOEHNLE 7307 (Leifheit, Nassau, Německo). Procento tělesného tuku bylo stanoveno pomocí bioimpedanční analýzy (Tanita BC-418 MA, Tanita, Tokio, Japonsko).

Stanovení maxima jednoho opakování. Přestože subjekty měly zkušenosti s odporovým tréninkem a testováním 1RM, provedly test 1RM, aby získaly aktuální základní údaje. Před testováním 1RM provedli pětiminutové lehké zahřátí na bicyklovém ergometru, po kterém následovala standardní sestava statických protahovacích cvičení zaměřená na svaly dolních končetin. Poté provedli specifickou rozcvičku sestávající z 8-10 opakování při přibližně 50 % předpokládaného 1RM. Po 3minutovém odpočinku provedli 4 opakování při 70-75 % předpokládaného 1RM. Po dalším tříminutovém odpočinku provedli účastníci další 2-3 opakování na 85-90 % předpokládaného 1RM. Po 4minutovém odpočinku pak byly informace získané ze třetí série použity k určení konečné hmotnosti pro individuální stanovení 1RM (4). Maximum jednoho opakování bylo určeno v následujícím pořadí: polodřep, extenze v kolenní a flexe v kolenní. Mezi jednotlivými cviky byla stanovena doba pasivní regenerace v délce 5 minut. Pasivní zotavení zahrnovalo sezení na skákací bedně. Polodřep byl zařazen jako součást silového testu.

Experimentální protokol odporového tréninku. Před každým tréninkem provedly všechny subjekty 5minutové zahřátí na bicyklovém ergometru (ER 900, Ergoline, Bitz, Německo) při zátěži 0,5 W·kg²¹ a s kadencí 60 kol za minutu, po kterém následovalo 5 minut statického protahovacího cvičení dle vlastního výběru. Poté provedli po 1 sérii (6-8 opakování se zátěží 50 % 1RM) polodřepů, cvičení flexe v kolenní a extenze, které vystřídala 1 minuta pasivního zotavení. Protokol odporového tréninku zahrnoval cviky v následujícím pořadí: polodřep, extenze v kolenní a flexe v kolenní, každý sestávající ze 3 sérií po 10 opakováních při 70 % 1RM. Doba zotavení byla 3 minuty mezi jednotlivými sériemi a 4 minuty mezi jednotlivými cviky. Polodřepy byly prováděny na přístroji Multipress Station 0223.

(GRU¹ N SPORT, Horní Brána, Česká republika). Pokusné osoby prováděly polodřep z úplně natažené polohy, přičemž jejich



a bezpečnost cvičenců zajišťovali 2 fitness trenéři umístění na obou koncích činky. Extenze a flexe v kolenní kloubu byla prováděna na stroji Leg Extension/Curl 5530 (HUR, Kokkola, Finsko). Před zahájením cvičení si subjekty ručně nastavily sedadlo, opěrný válec a polohu distálního pákového válce. Subjekty prováděly flexi a extenzi v kolenní kloubu vsedě, přičemž pas a stehno byly drženy v poloze pomocí specifických pásů. Hrudní pás zajišťoval pevnou polohu zad na podložce. Nohy byly vždy umístěny paralelně k sobě. Před zahájením cvičení se pokusné osoby uchopily držadel na boku sedadla. Oboustranná extenze kolenní kloubu zahrnovala zvedání válečkové podložky (spojené se zátěží), která byla umístěna přední stranou na holeni, a pohybovala se od úhlu 90° do 180° v kolenní kloubu. Po dosažení úhlu 180° vyslalo zařízení kontrolní signál. Poté se nohy pohybovaly směrem dolů zpět do výchozí polohy. Při ohýbání kolenní kloubu se válečková podložka (umístěná vzadu na lýtkovém svalu) pohybovala z úhlu 180° do úhlu 90°. Po kontrolním signálu se nohy pohybovaly zpět do výchozí polohy. Poslední cvičení sestávalo z výpadů, 3 série po 20 opakováních, prováděných se zátěží 30 % tělesné hmotnosti, přičemž série byly proloženy 3minutovým zotavením. Výpady byly prováděny následující technikou: (a) začněte vzpřímeným stojanem s činkou drženou v každé ruce, (b) pravou nohou udělejte výpad vpřed, dokud stehno nesvírá s podlahou úhel 90° v kolenní kloubu, (c) zvedněte přední výpadovou nohu a vraťte se do výchozí polohy a poté tyto pohyby opakujte opačnou nohou. Subjekty byly požádány, aby každé opakování provedly s maximálním dobrovolným úsilím a zajistily, aby byla dodržena správná technika. Aby se předešlo jakýmkoli zdravotním problémům během silových cvičení, sledovali subjekty 2 kondiční trenéři. Čas každé série byl měřen ručně pomocí digitálního časovače (HS80, Casio, Shibuya, Japonsko).

Příprava vody bohaté na vodík a placebo. Celkový objem 1 260 ml HRW (Aquastamina HRW, Nutristamina, Ostrava, Česká republika) nebo placebo (Aquastamina H₂ free,

Nutristamina, Ostrava, Česká republika) byl podán v 5 dávkách, konkrétně 210 ml 30 minut a 1 minutu před tréninkem, 210 ml v polovině cvičení, poté dalších 210 ml bezprostředně po skončení cvičení a 420 ml HRW po 30 minutách zotavení. Tento hydratační protokol HRW zahrnoval 1týdenní vymývací období podobné jako v předchozích studiích HRW (1,8). Podle informací výrobce byl HRW vyroben infuzí H₂ pod vysokým tlakem direktálně do vody. Oba nápoje byly podávány ve vizuálně identických plastovo-hliníkových obalech. Subjekty nemohly rozlišit mezi HRW a placebem, protože H₂ je bezbarvý, bez zápachu a bez chuti (29). Chemická charakteristika HRW i placebo (tab. 1) byla stanovena pomocí pH/ORP/teplotoměru (AD14, Adwa Instruments, Szeged, Hungary). Koncentrace rozpuštěného vodíku byla stanovena pomocí čidla H₂ Blue (H₂ Sciences, Henderson, NV) podle návodu výrobce.

Odběr vzorků krve a analýzy. Ke stanovení koncentrace laktátu a CK v krvi byly odebrány vzorky kapilární krve (z konečků prstů). Před odběrem vzorku byl prst očištěn pomocí alkoholové utěrky, aby byla oblast čistá a zbavená potu. Kůže byla propíchnuta lancetou a první kapka krve byla setřena. Pro odběr laktátu byla druhá kapka analyzována pomocí krevního analyzátoru Lactate Scout1 (EKF Diagnostics, Cardiff, United

Tabulka 1 charakteristika vody bohaté na vodík (HRW) a placebo.*

Majetek	HRW	Placebo
pH	7.8	7.6
ORP (mV)	2652	1170
Teplota (°C)	22	22
H ₂ koncentrace (ppm)	0.9	0.0

*ORP 5 oxidačně redukční potenciál.

Království). Přesnost přístroje byla před odběrem vzorků zkontrolována podle pokynů výrobce. Pro měření koncentrace CK bylo odebráno přibližně 32 ml kapilární krve z prstu vpichem provedeným pružinovou lancetou (Accu-Chek, Roche Diagnostics, Rotkreuz, Švýcarsko) nastavenou na hloubku 2,3 mm. K odebrání 32 ml vzorku krve a jeho umístění na testovací proužek CK (Reflotron CK strips, Roche Diagnostics, Rotkreuz, Švýcarsko) byl použit aplikátor Reflotron s dispoziční pipetovou špičkou o objemu 32 ml. Vzorek krve byl imunologicky analyzován pomocí spektrofotometru (Reflotron Plus, Roche Diagnostics, Rotkreuz, Švýcarsko) na koncentraci CK v plazmě.

Míra vnímané námahy. V předem stanovených časech byly subjekty požádány, aby hodnotily subjektivní RPE pomocí stupnice vyvinuté Borgem (6). Všechny subjekty byly před testováním seznámeny s Borgovou stupnicí. Stupnice RPE se pohybovala od 6 (žádná námaha) do 20 (maximální námaha). Míra subjektivní námahy byla vyjádřena pouze čísly.

Vizuální analogová stupnice. VAS byla použita ke stanovení bolesti svalů dolních končetin před experimentálním odporovým protokolem a 30 minut, 6 hodin a 24 hodin po cvičení. VAS byla vodorovná čára o délce 100 mm, označená číslem 0, které znamenalo "žádná bolest", a číslem 100, které znamenalo "nejhorší představitelnou bolest" (18). Hodnocení VAS bylo hodnoceno pro obě nohy dohromady bezprostředně po pokusu o skok proti pohybu (CMJ).

Test skoku s protipohybem. Před testem každý subjekt absolvoval individuální zahřívací proceduru, která se skládala z těchto činností: běh s intenzitou 50 % jejich vnímané maximální rychlosti po dobu 3 minut, 10 dřepů a 1 submaximální CMJ. Po 1 minutě odpočinku, každý subjekt provedl 3 jednorázové maximální námahy.

s 30sekundovým odpočinkem mezi jednotlivými skoky. Výchozí polohou pro CMJ byl vzpřímený postoj s rukama položenýma na bocích. Vylučovací kritéria pro CMJ byla následující: (a) pomalá rychlost ze vzpřímeného postoje do dřepu, (b) ohnutí v kolenou pod 90° a (c) neudržení rukou na bocích. Všechny subjekty měly možnost seznámit se s testováním CMJ v den seznámení (sezení 1). V experimentálních dnech (sezení 3 a 4) nebyl pozorován žádný výskok, který by splňoval kritéria exkluze. Síla vertikální reakce na zem byla měřena na 2 paralelních silových plošinách (AMTI OR6-7-1000, Advanced Mechanical Technology, Watertown, MA) se vzorkovací frekvencí 1 000 Hz. Před zahájením každé CMJ byla zaznamenána klidná doba stání v délce 2 sekund, aby byla zajištěna nulová počáteční rychlost a vypočtena hmotnost těla. Výška výskoku byla vypočtena z křivky závislosti síly na čase a byla uvažována maximální hodnota ze 3 opakování CMJ, která byla použita pro statistickou analýzu.

Analýza variability srdeční frekvence. Pro stanovení klidové srdeční frekvence a proměnných HRV byl signál elektrokardiografu měřen při vzorkovací frekvenci 1 000 Hz pomocí přístroje DiANS PF8 (DIMEA Group, Olomouc, Česká republika). Každý záznam trval přibližně 12 minut, zatímco subjekty prováděly ortostatický manévr, konkrétně 1 minutu vleže na zádech (bez analýzy), 5 minut ve stoje a 5 minut vleže na zádech. Záznam byl zkontrolován a všechny předčasné komorové kontrakce, chybějící kmitání a případné artefakty byly ručně odfiltrovány. Spektrální analýza byla

byla použita dvě frekvenční pásma: nízká frekvence (LF) od 0,05 do 0,15 Hz a vysokofrekvenční (VF) od 0,15 do 0,50 Hz. Výkon HF je modulován výhradně srdeční vagovou aktivitou, zatímco výkon LF je spojen s baroreflexní aktivitou a oboustranným vlivem sympatiku a vagové aktivity na sinusový uzel a poměr LF/HF odráží sympatovagovou rovnováhu (16). Byla také zařazena časová do- hlavní proměnná, odmocnina ze střední hodnoty čtverců postupných rozdílů (RMSSD) jako index vagové aktivity, protože se předpokládá, že RMSSD je odolná vůči vlivu dechové frekvence (11).

Statistické analýzy

Údaje jsou prezentovány jako aritmetický průměr $\pm 6 SD$. Normalita dat byla ověřena pomocí Kolmogorov-Smirnovova testu. Vliv HRW na závislé proměnné byl vyhodnocen pomocí lineárního modelu se smíšenými efekty s 1 náhodným faktorem (subjekt), 2 fixními faktory (podávaná voda a čas) a interakcí (voda \times čas). Protože před předběžnou fází nebyla podána ani HRW, ani placebo, voda jako faktor nebyla v této fázi uvažována. Pokud byl některý faktor nebo interakce statisticky významný, byla provedena párová srovnání pomocí Fisherova testu nejmenšího významného rozdílu. Rozdíly v průměrech byly rovněž vyjádřeny pomocí 95% intervalů spolehlivosti (CI). U všech testů bylo $p < 0,05$ byla považována za statisticky významnou. Kromě statistické významnosti byly použity také míry velikosti účinku. Pro faktor lineárního modelu byl použit částečný eta-squared (η^2) a pro párové srovnání Cohenův standardizovaný rozdíl (d_z). Cohenovo d_z bylo vypočteno podle vzorce

$$d_z = \frac{m_1 - m_2}{SD_{diff}} \quad \text{kde } m_1, m_2 \text{ jsou prostředky pro porovnání.}$$

Standardní odchylka rozdílu skóre byla vypočtena jako $SD_{diff} = \sqrt{2MS_{err}}$ kde MS je střední kvadratická chyba

or

provedena pomocí rychlé Fourierovy transformace s posuvným Hanningovým oknem o 256 bodech. Výkonová spektra byla kvantifikována integrací plochy pod křivkou výkonové spektrální hustoty.

získané z lineárního modelu. Velikost měř velikosti účinku byla interpretována podle následujících prahů: triviální ($h^2 < 0,01$, $d_z < 0,2$), malý ($h^2 < 0,01$, $d_z < 0,2$), střední ($h^2 < 0,06$, $d_z < 0,6$) a velký ($h^2 < 0,14$, $d_z < 1,2$). Statistické analýzy byly provedeny pomocí programu MATLAB 8.4 s nástrojem Statistics Toolbox 9.1 (MathWorks, Natick, MA). Analýza citlivosti byla provedena pomocí programu G*Power verze 3.1.9.7. Výpočet byl proveden pro dvouvýběrový dvouvýběrový *t-test* pro statistickou signifikanci 0,05, sílu 0,80 a velikost vzorku 12 osob. Výsledkem bylo, že minimální detekovatelná velikost účinku by byla $d_z > 0,89$.

Výsledky

Normální rozdělení nebylo zamítnuto pro všechny závislé proměnné kromě RPE a Ln RMSSDstanding (čas výpadů: $p > 0,65$, laktát: $p > 0,074$, CK: $p > 0,17$, VAS: $p > 0,69$, CMJ: $p > 0,86$,

Ln RMSSDsupine: $p > 0,52$, Ln HFsupine: $p > 0,22$, Ln

HFstanding: p

$> 0,51$, Ln LF_{supine} : $p > 0,78$, Ln LFstanding: $p > 0,40$, Ln LF/

HFsupine: $p > 0,51$ a Ln LF/HFstanding: $p > 0,25$). Hodnocení vnímané námahy ($p > 0,020$) a Ln RMSSDstanding ($p > 0,046$) nebyly normálně rozloženy. Po vizuální kontrole rozložení dat byly proměnné zpracovány netransformované, protože testování F-statistikou je považováno za robustní test proti takovému porušení normality.

Statisticky významné vodní faktory byly zjištěny u času výpadů a laktátu (tabulka 2). Významné časové faktory byly zjištěny pro CK, laktát, RPE, VAS, CMJ a Ln RMSSDsupine (tabulka 2). Významná interakce byla zjištěna pro VAS (tabulka 2). Post-hoc srovnání jsou zobrazena na obrázku 2.

Tabulka

Výsledky lineárního modelu se smíšenými efekty.*

Variabilní	Faktor vody		Faktor času		Interakce	
	p	h ²	p	h ²	p	h ²
Čas výpadů (s)	0,001	0,41	0,66	0,02	0,19	0,06
Kreatinkináza (U ^{L21})	0,16	0,02	0,001	0,57	0,90	0,00
Laktát (mmol-L ²¹)	0,003	0,07	0,001	0,83	0,18	0,05
RPE (body)	0,48	0,01	0,001	0,87	0,38	0,01
VAS (mm)	0,45	0,00	0,001	0,62	0,043	0,08
CMJ (cm)	0,44	0,01	0,001	0,28	0,94	0,00
Ln RMSSDstanding (ms)	0,27	0,02	0,30	0,05	0,80	0,01
Ln RMSSD _{na zádech} (ms)	0,88	0,00	0,035	0,10	0,85	0,00
Ln LFstanding (ms ²)	0,43	0,01	0,74	0,02	0,47	0,02
Ln LFsupine (ms ²)	0,75	0,00	0,83	0,01	0,59	0,01
Ln HFstanding (ms ²)	0,26	0,02	0,60	0,02	0,88	0,00
Ln HFsupine (ms ²)	0,46	0,01	0,094	0,08	0,50	0,02
Ln LF/HFstojící	0,44	0,01	0,80	0,01	0,17	0,04
Ln LF/HFsupine	0,82	0,00	0,48	0,03	0,24	0,04

*p 5 statistická významnost; h² 5 parciální velikost účinku eta-squared; RPE 5 míra vnímané námahy; VAS 5 vizuální analogová škála; CMJ 5 výška výskoku proti pohybu; Ln 5 přirozený logaritmus; RMSSD 5 odmocnina ze střední hodnoty čtvrců postupných rozdílů; HF 5 vysokofrekvenční výkon; LF 5 nízkofrekvenční výkon; LF/HF 5 poměr nízké a vysoké frekvence.

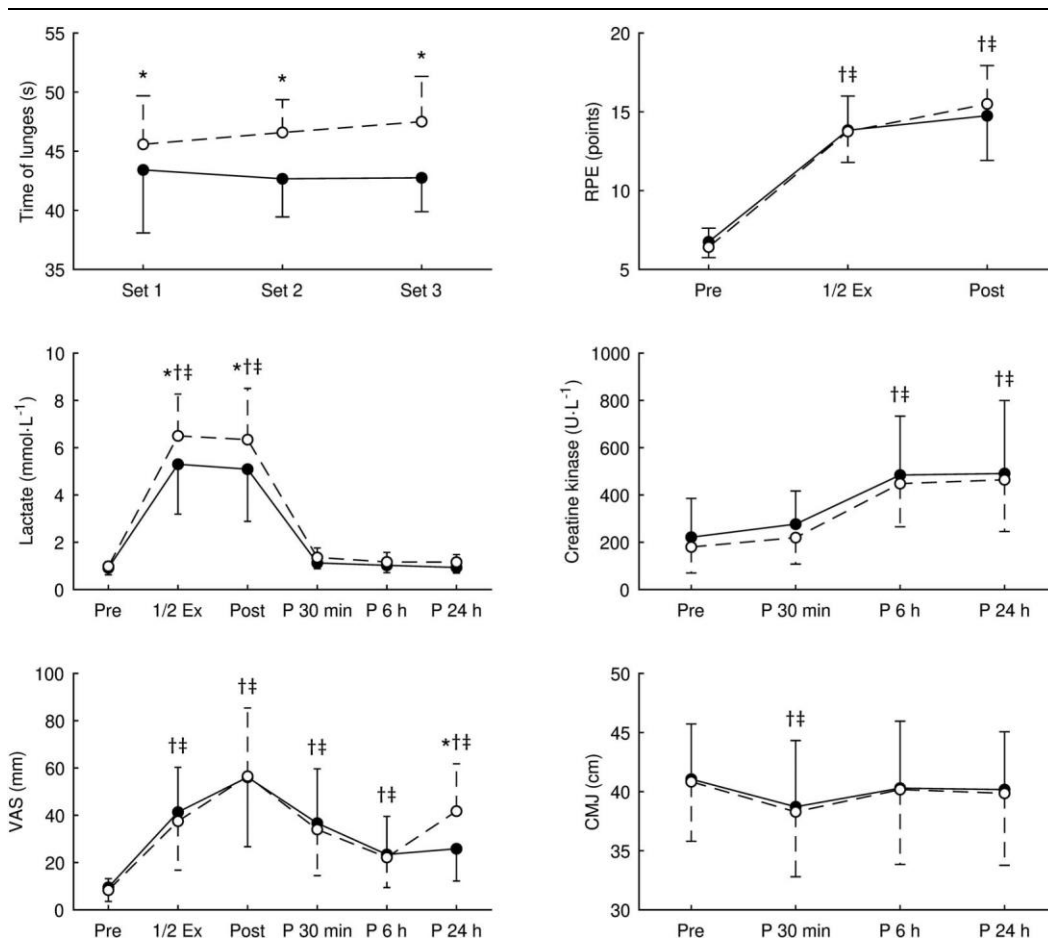
Podávání vody bohaté na vodík ve srovnání s placebem významně zkrátilo čas výpadů při prvním opakování (HRW: 43,4 6 5,3 sekundy, placebo: 45,6 6 4,1 sekundy). sekund, CI: 24,2 až 20,1 sekund, p 5 0,037, d_z 5 20,62, střední účinek), při druhém opakování (HRW: 42,7 6 3,2 sekund, placebo: 46,6 6 2,8 sekund, CI: 25,9 až 21,9 sekund, p 5 0,001, d_z 5 21,12, střední účinek) a při třetím opakování (HRW: 42,8 6 2,9 sekund, placebo: 47,5 6 3,8 sekund, d_z 5 21,12, střední účinek). sekund, CI: 26,8 až 22,7 sekund, p 5 0,001, d_z 5 21,35, velký účinek). Voda bohatá na vodík významně snížila koncentraci laktátu v polovině cvičební série (HRW: 5,3 6 2,1 mmol-L²¹, placebo: 6,5 6 1,8 mmol-L²¹, CI: 22,1 až 20,3 mmol-L²¹, p 5 0,008, d_z 5 20,78, střední účinek) a bezprostředně po skončení cvičení (HRW: 5,1 6 2,2 mmol-L²¹, placebo: 6,3 6 2,2 mmol-L²¹, CI: 22,1 až 20,4 mmol-L²¹, p 5 0,006, d_z 5 20,81, střední účinek). Vliv HRW na koncentraci laktátu ve všech 3 dobách zotavení však nebyl významný (všechna p \$ 0,60, všechna d_z v rozmezí 20,09 až 20,15, triviální vliv). Účinek vody bohaté na vodík na VAS byl významný pouze ve 24 hodinách zotavení (HRW: 26 6 14 mm, placebo: 42 6 20 mm, CI: 226 až 26 mm, p 5 0,002, d_z 5 20,90, střední účinek), v ostatních časových bodech nebyly účinky statisticky významné (všechna p \$ 0,45, všechna d_z v rozmezí 2,02 až 0,22, triviální až malé účinky).

Diskuse

Cílem této studie bylo zhodnotit účinky suplementace 1 260 ml HRW na fyziologické, percepční a výkonnostní reakce při odporovém tréninku a po 24 hodinách regenerace. Hlavní zjištění studie byla následující: (a) v polovině tréninku a bezprostředně po něm byla zjištěna významně nižší hladina laktátu v krvi při užívání HRW ve srovnání s placebem, (b) všechny série výpadů byly při použití HRW provedeny významně rychleji a (c) vnímaná svalová bolestivost hodnocená pomocí VAS byla po 24 hodinách regenerace významně nižší při použití HRW ve srovnání s placebem. Mezi HRW a placebem nebyly zjištěny žádné významné rozdíly v koncentraci CK v krvi, výbušné svalové síle, autonomní srdeční regulaci a RPE.

V našem experimentálním protokolu odporového tréninku prováděly osoby všechny cvičební série po dobu delší než 20 sekund s maximálním dobrovolným úsilím, které byly proloženy 3 minutami pasivního zotavení. V případě vysoce intenzivního cvičení se po vysazení fosfokreatinového (PC) systému během prvních několika sekund začíná dominantní metabolickou cestou stávat anaerobní glykolýza a obvykle dochází k nástupu hromadění laktátu v krvi a únavě způsobující H¹ ionty (9,10). V této studii však byla suplementace HRW spojena s významným snížením hladiny krevního laktátu při cvičení a po cvičení. Toto zjištění je v souladu s nedávno publikovaným výzkumem (8), kde autoři zjistili nižší hladinu laktátu při intenzitě cvičení 3 a 4 W-kg⁻²¹ během 8 minut jízdy na kole po akutní suplementaci 600 ml HRW před cvičením. Výrazně nižší po koncentraci laktátu při cvičení byla pozorována také u fotbalistů po 30 minutách jízdy na kole při 75 % VO₂max a 100 opakovaných maximálních izokinetických extenzí (1). Mechanismus, který je základem účinku H₂ na snížení hladiny laktátu, byl popsán ve studii in vitro, kde aplikace H₂ způsobila stimulaci mitochondriální oxidativní fosforylace a mitochondriální adenosin tri-fosfátu (ATP) (28). Naproti tomu Ooi et al. (33) nezjistili žádné změny v reakci laktátu po akutním příjmu 290 ml HRW (H₂ 5 1,0 ppm) před submaximálním ani maximálním zátěžovým testem a dospěli k závěru, že daná dávka HRW s velkou pravděpodobností nestačí k vyvolání pozitivních metabolických a výkonnostních reakcí u vytrvalostně trénovaných běžců.

Z výkonnostního hlediska výsledky ukázaly, že po 45 minutách těžkého odporového tréninku provedly osoby se suplementací HRW posledních 20 opakování výpadů výrazně rychleji (; 8%) ve srovnání s osobami, které dostávaly placebo. Protiúnavový účinek HRW při různých způsobech cvičení byl v literatuře dobře zdokumentován. Například Aoki et al (1) prokázali u 10 hráčů fotbalu po požití HRW (1,5 l HRW, H₂ 5 0,9-1,0 ppm, během 8 hodin před cvičením) tlumený pokles (3,7 %) vrcholového točivého momentu po 20 maximálních izokinetických extenzích v kolenní. Suplementace vodou bohatou na vodík měla rovněž protiúnavový účinek během intermitentní cyklistiky. Da Ponte et al (34) zjistili po suplementaci alkalickou HRW (2 l denně po dobu 2 týdnů před cvičením, H₂ 5 0,2-0,5 ppm) útlum poklesu špičkového výkonu o 7,4 %. V této studii byl lepší výkon ve výpadech doprovázen nižším po-cvičebním laktátem ; 1mmol-L²¹ při suplementaci HRW ve srovnání s placebem. V tomto ohledu by snížení koncentrace laktátu v krvi mohlo být vysvětleno stimulací oxidativní fosforylace mitochondrií vyvolanou H₂ (29), která vede k oxidaci laktátu a redukci přidružených iontů H¹, což tlumí stoupající kyselost tkání (37). Typicky je vzestup svalových iontů H¹ spojen s inhibicí resyntézy ATP, nižší reaktivitou svalu na daný Ca²¹ (10) a následně s poruchou svalových kontrakcí (9). Cakir- Atabek a spol. nedávno (12) prokázali zvýšení indexů oxidačního stresu a svalového poškození po akutních 60 maximálních extenčních akcích flexorů lokte při konstantní rychlosti 60°-s⁻²¹, přičemž pouze indexy poškození oxidačním stresem významně souvisely zejména se ztrátou síly flexorů. Kromě toho jsme v naší studii nezjistili žádný ergogenní účinek akutního podávání HRW na explozivně-silový výkon. Výkon CMJ na rozdíl od délky trvajícího výpadového testu (prováděného po dobu ; 42 s) trvá po dobu 1-2 s a závisí především na energii ze systému ATP-PC a elastickém potenciálu svalu (strečink-zkrácení cvičení). Přestože aplikace HRW neměla žádný ergogenní účinek na výkon při jednorázové CMJ, domníváme se, že podávání 1260 ml HRW, akutně před, stejně jako



Obrázek 2. Vliv vody bohaté na vodík na výkonnostní, psychometrické a fyziologické proměnné. Hodnoty jsou uvedeny jako průměr a směrodatná odchylka. RPE 5 míra vnímaná námaha; VAS 5 vizuální analogová škála; CMJ 5 výška skoku proti pohybu; pre 5 předběžná; 1/2 Ex 5 polovina cvičební lekce; post 5 bezprostředně po cvičení; p 30 minut 5 30 minut po cvičení; p 6 hodin 5 6 hodin po cvičení; p 24 hodin 5 24 hodin po cvičení; d 5 voda bohatá na vodík; s 5 placebo; * 5 statisticky významný ($p < 0,05$) rozdíl mezi vodou bohatou na vodík a placebem ve stejnou dobu; † 5 statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) mezi touto dobou a předběžnou fází, kdy byla voda bohatá na vodík podáno; †† 5 statisticky významný ($p < 0,05$) rozdíl mezi touto dobou a předběžnou fází, kdy bylo podáno placebo.

během cvičení, může zvýšit endogenní antioxidační schopnost reagovat na intenzitu, mitochondriální produkci ROS (36), snížit oxidační stres (12) a zlepšit mitochondriální produkci ATP (29), clearance laktátu (8) a odstranění H^+ . Předpokládá se, že prostřednictvím těchto mechanismů by H_2 mohl zvýšit silové-vytrvalostní výkon při odporovém tréninku. Zajímavé je, že bylo prokázáno, že ROS a oxid dusnatý mohou během cvičení u myši působit prostřednictvím cvičením indukovaného nuclear factor erythroid 2-related factor 2, funkčně regulovat mitochondriální biogenezi kosterního svalu a expresi genů antioxidační ochrany (26). Zdá se, že stejná molekulární dráha je stimulována expozicí H_2 (40). Chronický (4 a více týdnů) příjem H_2 během odporového tréninku tedy může případně přispět ke zvýšení mitochondriální biogeneze, endogenního antioxidačního systému a zvýšení silového výkonu.

Nebyly zjištěny žádné významné rozdíly mezi HRW a placebo během 24hodinové regenerace po cvičení pro biomarker svalového poškození, koncentraci CK v krvi. Nicméně došlo k významnému zvýšení koncentrace CK oproti výchozí hodnotě po 6 hodinách ($p < 0,001$) a 24 hodinách ($p < 0,001$) po cvičení. Toto zvýšení naznačovalo přítomnost cvičením vyvolaného svalového poškození, které je spojeno s DOMS (15). Nicméně po 24 hod.

po cvičení došlo k významnému zmírnění vnímání (hodnoceno pomocí VAS) svalové bolesti u HRW ve srovnání s placebem. Na základě těchto zjištění byl zřejmý nesoulad mezi VAS po cvičení a reakcí koncentrace CK na podání HRW. To může souviset s intersubjektovou variabilitou koncentrace CK (22), přičemž některé předchozí studie neuváděly žádný vztah mezi koncentrací CK a svalovou bolestivostí po excentrickém cvičení (30). Jiné studie však ukázaly, že variabilita CK po excentrickém cvičení úzce souvisí s DOMS (22) a de-velopozice DOMS může být komplexnějším jevem, který zahrnuje zánět (14). Například rozvoj DOMS po excentrickém cvičení byl nedávno spojen s několika klíčovými faktory, jako je zánětlivá reakce, oxidativní stres a aktivace fagocytů (21). Proto je možné, že H_2 , jako silný selektivní antioxidant a protizánětlivý prostředek (32), působí v této studii "analgeticky" na vnímání svalové bolesti 24 hodin po cvičení, a to bez ohledu na zvýšenou koncentraci CK. Podobný nález zaznamenali Kawamura et al. (19), kteří zjistili, že týdenní koupelová procedura u HRW po dobu 20 minut významně snížil vnímaný DOMS po 24 a 48 hodinách po 30minutovém tréninku s intenzitou 75 % $\dot{V}O_{2max}$.

běh z kopce se sklonem 28 %. Autoři však zmínili, že tento alternativní postup zotavení pravděpodobně není účinným přístupem ke snížení zánětu a oxidačního stresu po běhu z kopce (21). Mikami et al. (27) zaznamenali významné snížení hodnocení únavy podle VAS po mírném ex-ercise u netrénovaných osob, které 30 minut před jízdou na kole vypily 500 ml HRW (H_2 5 0,8 ppm). Zajímavé je, že subjekty, které po cvičení pociťovaly větší únavu, byly klasifikovány jako citlivější na účinky H_2 . Podobně Botek et al. (7) uvedli, že velikost účinku H_2 závisí na individuální úrovni adaptace, přičemž rychlejší sportovci se zdají být méně citliví na akutní suplementaci H_2 ve srovnání s pomalejšími sportovci, kteří vykazují vyšší přínos akutního příjmu H_2 .

Aplikace HRW má některá omezení a problémy. Za prvé, dávka H_2 byla z logistických důvodů konstantní pro každý subjekt a nebyla přizpůsobena tělesné hmotnosti. V této studii nebyla zjišťována aktivita imunitního systému. Zdá se, že tyto informace mohou být užitečné pro hlubší pochopení toho, jak může H_2 změnit reakci imunitního systému a dříč účinky na DOMS. Kromě toho tato studie nezkoumala možné, oddělené, protiúnavové účinky H_2 na koncentrickou a excentrickou fázi svalové kontrakce.

Praktické aplikace Poděkování

Akutní příjem HRW se jeví jako slibná hydratační strategie. Autoři nemají žádný střet zájmů, který by museli zveřejnit. Autoři nemají žádné profesní vztahy se společností nebo výrobci, kteří budou mít prospěch z výsledků této studie. Výsledky této studie nepředstavují podporu produktu ze strany autorů nebo Národní silové a kondiční asociace. Tato studie byla zčásti podpořena grantem IGA FTK 2020/007 Univerzity Palackého v Olomouci s názvem "Hodnocení vlivu odporové a vysoké intenzivní aerobní cvičení na druhou molekulárního vodíku na odezvu a výkonnost organismu při stranu H_2 nelze považovat za vhodnou ergogenní pomocku intervalového zatížení a následném procesu 24hodinové regenerace pomocí vybraných subjektivních a objektivních strategie dávkování HRW zůstává nepochybně, protože křivka bioindikčních faktorů u plavců. Tato studie byla rovněž podpořena výzkumným projektem vědeckotechnického parku Aplikačního centra BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci s názvem "Hodnocení účinnosti zdravého a aktivního životního stylu dospělých jedinců na vybrané zdravotní ukazatele u subjektů výzkumu prováděného Aplikačním centrem BALUO Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci-retrospektivní studie". Autoři děkujeme Ondřejovi Švebisovi za pomoc při sběru dat v laboratorní testování.

ETICKÉ SCHVÁLENÍ: studie byla schválena Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (referenční číslo 75/2017) v souladu s Helsinskou deklarací.

Odkazy

- Aoki K, Nakao A, Adachi T, Matsui Y, Miyakawa S. Pilotní studie: Vliv pití vody bohaté na vodík na svalovou únavu způsobenou akutním cvičením u vrcholových sportovců. *Med Gas Res* 2: 1-12, 2012.
- Ara J, Fadrique A, Ahmed MF, et al. Pití vodíkové vody působí proti únavě u myši s chronickým nuceným plaváním prostřednictvím antioxidačních a protizánětlivých aktivit. *Biomed Res Int* 2018: 1-9, 2018.
- Armstrong RB. Initial events in exercise-induced muscular injury (Počáteční události při svalovém poškození vyvolaném cvičením). *Med Sci Sports Exerc* 22: 429-435, 1990.
- Baechle TR, Earle RW, Wathen D. Resistance training. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Baechle TR, Earle RW, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008. pp: 381-412.
- Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-kinase and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery (Důsledky kreatinkinázy a poškození svalů související s cvičením pro svalovou výkonnost a regeneraci). *J Nutr Metab* 2012: 1-11, 2012.
- Borg GA. Psychofyzické základy vnímané námahy. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-581, 1982.
- Botek M, Krejčí J, McKune AJ, Slađec'kova' B. Hydrogen-rich water supplementation and up-hill running performance: Vliv v ý k o n n o s t n í úrovně sportovce. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 1193-1196, 2020.
- Botek M, Krejčí J, McKune AJ, Slađec'kova' B, Naumovski N. Voda bohatá na vodík zlepšila ventilac'ni, percep'cni a laktátovou reakci na exacerbaci. *Int J Sports Med* 40: 879-885, 2019.
- Brooks GA. The science and translation of lactate shuttle theory (Věda a překlad teorie laktátového člunu). *Cell Metab* 27: 757-785, 2018.
- Brooks GA, Fahey TD, White TP, Baldwin KM. *Únava při svalovém cvičení*. In: *Fyziologie cvičení: Bioenergetika člověka a její aplikace* (3. vydání). Brooks GA, Fahey TD, White TP, Baldwin KM, eds. Mayfield, CA: Mountain View, 2000. s. 800-817.
- Buchheit M. Sledování stavu vzdělávání pomocí HR opatření: Vedou všechny cesty do Říma? *Front Physiol* 5: 1-19, 2014.
- Çakir-Atabek H, Dokumaci B, Aygu' n C. Ztráta síly po excentrickém cvičení souvisí s oxidačním stresem, ale ne s biomarkery svalového poškození. *Res Q Exerc Sport* 90: 385-394, 2019.
- Carr'ı MT, Valle C, Bozzo F, Cozzolino M. Oxidative stress and mitochondrial damage: Význam u ALS bez SOD1. *Front Cell Neurosci* 9: 1-6, 2015.
- Cheung K, Hume P, Maxwell L. Opožděný nástup svalové bolesti: (1): strategie léčby a výkonnostní faktory. *Sport Med* 33: 145-164, 2003.
- Close GL, Ashton T, McArdle A, Maclaren DP. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury (Nová role volných radikálů u opožděném nástupu svalové bolesti a svalovém poškození vyvolaném kontrakcí). *Comp Biochem Physiol* 142: 257-266, 2005.
- Ernst G. *Metodologické otázky*. In: *Variabilita srdeční frekvence*. Ernst G, ed. London, United Kingdom: Springer, 2014. pp. 51-118.
- Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, et al. Pokroky v oblasti opožděné svalové bolesti (DOMS): Část I: Patogeneze a diagnostika. *Sport Sport* 32: 243-250, 2018.
- Kanda K, Sugama K, Hayashida H a kol. Excentrickým cvičením vyvolaná opožděná svalová bolestivost a změny markerů svalového poškození a zánětu. *Exerc Immunol Rev* 19: 72-85, 2013.
- Kawamura T, Gando Y, Takahashi M a kol. Účinky vodíkové koupele na oxidační stres vyvolaný cvičením a opožděnou svalovou bolestivost. *Jpn J Phys Fit Sport Med* 65: 297-305, 2016.
- Kawamura T, Higashida K, Muraoka I. Application of molecular hydrogen as a novel antioxidant in sports science. *Oxid Med Cell Longev* 2020: 1-7, 2020.
- Kawamura T, Suzuki K, Takahashi M a kol. Zapojení dynamiky a funkce neutrofilů do poškození svalů vyvolaného cvičením a opožděným nástupem svalové bolesti: Vliv vodíkové lázně. *Antioxidants* 7: 1-13, 2018.
- Kim J, Lee J. Vztah variability kreatinkinázy s tělesným složením a markery svalového poškození po excentrických svalových kontrakcích. *J Exerc Nutr Biochem* 19: 123-129, 2015.
- Machado FA, Peserico CS, Mezzaroba PV, Manoel FA, da Silva DF. Terapie světelnými diodami (LED) aplikovaná mezi dvěma běhy na čas má mírný účinek na zmírnění opožděné svalové bolesti, ale nemění markery regenerace a běžecký výkon. *Sci Sports* 32: 280-294, 2017.
- MacIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC. Opožděná svalová bolestivost. Zánětlivá reakce na svalové zranění a její klinické důsledky. *Sport Med* 20:

25. Mackey AL, Kjaer M. The breaking and making of healthy adult human skeletal muscle in vivo. *Skelet Muscle* 7: 1-18, 2017.
26. Merry TL, Ristow M. Nuclear factor erythroid-derived 2-like 2 (NFE2L2, Nrf2) mediates exercise-induced mitochondrial biogenesis and the antioxidant response in mice. *J Physiol* 594: 5195-5207, 2016.
27. Mikami T, Tano K, Lee H, et al. Pití vodíkové vody zvyšuje vytrvalost a zmírňuje psychickou únavu: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Can J Physiol Pharmacol* 97: 857-862, 2019.
28. Murakami Y, Ito M, Ohsawa I. Molekulární vodík chrání před smrtí neuroblastomových buněk SH-SY5Y vyvolanou oxidačním stresem prostřednictvím procesu mitohormózy. *PLoS One* 12: 1-14, 2017.
29. Nicolson GL, de Mattos GF, Settineri R, et al. Clinical effects of hydrogen administration: Od nemoci zvířat a lidí k pohybové medicíně. *Int J Clin Med* 7: 32-76, 2016.
30. Nosaka K, Newton M, Sacco P. Opožděná svalová bolestivost neodráží velikost excentrickým cvičením vyvolaného svalového poškození. *Scand J Med Sci Sports* 12: 337-346, 2002.
31. Ohsawa I, Ishikawa M, Takahashi K a kol. Vodík působí jako terapeutický antioxidant selektivní redukcí cytotoxických kyslíkových radikálů. *Nat Med* 13: 688-694, 2007.
32. Ohta S. Molekulární vodík jako preventivní a léčebný medicínální plyn: S.: Počátky, vývoj a potenciál vodíkové medicíny. *Pharmacol Ther* 144: 1-11, 2014.
33. Ooi CH, Ng SK, Omar EA. Akutní požití vody bohaté na vodík nezlepšuje výkonnost při přírůstkovém běhu na běžecském pásu u vytrvalostně trénovaných sportovců. *Appl Physiol Nutr Metab* 45: 513-519, 2020.
34. Da Ponte A, Giovanelli N, Nigris D, Lazzar S. Účinky vody bohaté na vodík na dlouhodobé přerušované cvičení. *J Sports Med Phys Fitness* 58: 612-621, 2018.
35. Powers SK, Jackson MJ. Oxidační stres vyvolaný cvičením: M.: buněčné mechanismy a dopad na produkci svalové síly. *Physiol Rev* 88: 1243-1276, 2008.
36. Radak Z, Ishihara K, Tekus E, et al. Cvičení, oxidanty a antioxidanty mění tvar zvonové křivky hormeze. *Redox Biol* 12: 285-290, 2017.
37. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 287: R502-R516, 2004.
38. Stauber WT. Excentrické působení svalů: Fyziologie, zranění a adaptace. *Exerc Sport Sci Rev* 17: 157-185, 1989.
39. Thamm A, Freitag N, Figueiredo P, et al. Can heart rate variability determine recovery following distinct strength loadings? Randomizovaná zkřížená studie. *Int J Environ Res Public Health* 16: 1-11, 2019.
40. Zhai X, Chen X, Ohta S, Sun X. Přehled a výhled biomedicínských účinků vodíku. *Med Gas Res* 4: 1-4, 2014.