

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

Vliv hydrogenované vody na vytrvalostní výkon v běhu do vrchu

Diplomová práce
(magisterská)

Autor: Robert Krupička

Trenérství a sportovní management

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

Olomouc 2019

Jméno a příjmení autora: Robert Krupička
Název diplomové práce: Vliv hydrogenované vody na vytrvalostní výkon v běhu do vrchu
Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii
Vedoucí: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Rok obhajoby diplomové práce: 2019

Abstrakt

Cílem předkládané diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv na vytrvalostní výkon v disciplíně běh do vrchu má hydrogenovaná neboli vodíkem obohacená voda (dále jen HRW). Dalšími zkoumanými parametry bylo hodnocení vnímaní intenzity zatížení při dvou jednotlivých terénních testech a dále subjektivní posouzení svalové únavy před zatížením a v době regenerace v rozmezí 10 minut-12 hodin. Studie byla provedena dvojitě zaslepenou randomizovanou cross-over metodou. Celkem se testování zúčastnilo 16 aktivních sportovců, běžců ve věku 18-40 let. Testování spočívalo v laboratorním vyšetření tělesného složení, spirometrie a zátěžového běžeckého testu do vita maxima. Poté následovaly dva běhy do vrchu s tím, že jednou sportovci běželi s HRW a jednou s Placebo vodou. Testovací trať měla parametry 4240 m s převýšením 215 m. Dosahované časy se pohybovaly mezi 1010 vteřinami až 1605 vteřinami.

Z výsledků lze konstatovat, že efekt HRW na zaběhnuté časy ve smyslu průměrných hodnot všech 16 závodníků je nejasný. Byla však nalezena souvislost efektu HRW s výkonností závodníků. Mezi závodními časy a výkonností sportovců byla nalezena významná korelace ($r = -0.54$). Čím nižší výkon sportovci v závodě podali, tím se účinek HRW zvyšoval. Při porovnání skupin 4 nejrychlejších a 4 nejpomalejších běžců nedošlo u nejrychlejších běžců při použití HRW k signifikantnímu zlepšení závodních časů, zatím co u nejpomalejší skupiny se závodní časy zlepšily v rozmezí (3-36 s). Toto zjištění naznačuje významnou závislost účinku molekulárního vodíku na aktuální sportovní výkonnosti.

Klíčová slova: Běh do vrchu, molekulární vodík, terénní testování, vytrvalostní výkon.

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Robert Krupička
Title of the thesis: Influence of hydrogen water on endurance performance in mountain running
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Supervisor: assoc. prof. PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Year of presentation: 2019

Abstract:

The aim of this thesis was to find out what influence hydrogenated or hydrogen enriched water (HRW) has on the endurance performance in mountain running. Other investigated parameters were evaluation of perception of load intensity in two individual field tests and subjective evaluation of muscle fatigue before loading and at the time of regeneration in the range of 10 minutes-12 hours. The study was conducted with a double-blind randomized cross-over method. Altogether 16 active athletes, runners aged 18-40 participated in the testing. Testing consisted of a laboratory examination of body composition, spirometry and a running exercise test up to the vita maximum. After that followed two uphill runs. In one athlete running with HRW and one with Placebo water. The test track had parameters of 4240 m with an elevation of 215 m. The achieved times ranged from 1010 seconds to 1605 seconds.

The results show that the effect of HRW on running times in terms of the average values of all 16 competitors was not proved. However, the HRW effect was found depending on the performance of competitors. There was a significant correlation between races and athletes' performance ($r = -0.54$). The lower performance of the athletes in the race, the greater the effect of HRW. When comparing the groups of the 4 fastest and 4 slowest runners, the fastest runners did not significantly improve the race times using HRW, while the slowest groups improved the race times in the range of (3-36 s). This finding indicates a significant dependence of the molecular hydrogen effect on sport performance.

Keywords: Endurance performance, molecular hydrogen, mountain running, field - testing.

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

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

V Olomouci dne

.....

Děkuji doc. PhDr. Michalovi Botkovi, Ph.D., za jeho vedení a odborný dohled.

Obsah

Úvod	8
1 SYNTÉZA POZNATKŮ	9
1.1 Determinanty SV v horském běhu	9
1.2 Vytrvalost	9
1.2.1 Fyziologické determinanty vytrvalostního výkonu	10
1.3 Síla.....	16
1.4 Adaptační změny v důsledku silově vytrvalostního tréninku.....	19
1.5 Specifika přípravy horského běžce.....	21
1.5.1 Tréninková východiska	21
1.5.2 Periodizace tréninkového cyklu	25
1.6 Hydrogenovaná voda.....	28
1.6.1 Molekulární vodík.....	28
1.6.2 Účinky HRW ve sportu	29
2 CÍLE PRÁCE.....	35
3 METODIKA PRÁCE	36
3.1 Charakteristika souboru.....	36
3.2 Metodologický postup měření experimentu	36
3.2.1 Borg škála.....	38
3.2.2 VAS škála.....	38
3.2.3 Časové vymezení.....	39
3.2.4 Parametry trati	39
3.2.5 Povětrnostní podmínky	40
3.2.6 Funkční vyšetření	41
3.2.7 Analýza tělesného složení	41
3.2.8 Vertikální výskok	42
3.2.9 Zátěžový test do vita maxima.....	42
3.3 Statistické zpracování.....	43
4 Výsledky	44
4.1 Hodnocení výsledků HRW vs. Placebo v závodě	44
4.2 Hodnocení výsledků svalové bolesti a zotavení.....	45
4.3 Hodnocení determinant výkonnosti v běhu do vrchu.....	46
4.4 Korelace efektu HRW s běžeckou výkonností.....	47

4.5	Vyjádření k hypotézám.....	48
5	Diskuse.....	49
5.1	Výsledky dosažené v experimentu	49
5.2	Analýza výsledků svalové bolesti	51
5.3	Laboratorní determinanty výkonu v běhu do vrchu	51
5.4	Závislost výkonnosti sportovců na účincích HRW	52
	Závěry	55
	Souhrn.....	56
	Summary.....	58
	Referenční seznam.....	60
	Přílohy	66

Úvod

Téma, které jsem si pro svoji diplomovou práci vybral, se týká účinků vody obohacené vodíkem na únavu a vytrvalostní výkon ve fyzicky extrémně náročné disciplíně běh do vrchu. Únavu snižující účinky HRW byly prokázány v mnoha studiích (Ara et al., 2018; Aoki et al., 2012), a já jako elitní horský běžec mám vlastní zkušenosti s užíváním HRW z několika velkých světových závodů. Velmi se mi používání osvědčilo, ale bohužel jsem nemohl porovnat jednotlivé výkony s použitím a bez použití HRW. Proto jsem se rozhodl provést tento poměrně obsáhlý experiment a malým dílem přispět ke zkoumání účinků HRV na lidský organismus.

Běh v horách má obecně velmi mnoho variací. Běhá se v kopcovitém až náročném vysokohorském prostředí a terénu ve vzdálenostech od 1 kilometru až po několikasetkilometrové distance s převýšením až desítek tisíc metrů. Běh do vrchu je klasickou i když neolympijskou atletickou disciplínou, která je zařazena pod mezinárodní střešní organizace IAAF, WMRA a ITRA. Závodní tratě v běhu do vrchu se v průměru pohybují od 5 do 42 kilometrů s převýšením 1000-3000 metrů. Běhání v horách si získává stále větší popularitu jak mezi hobby běžci, tak i mezi výkonnostními a profesionálními sportovci. Důvody mohou být především vzrůstající zájem o aktivní trávení volného času a propojení sportovního výkonu se zážitkem v přírodě, překonávání nových sportovních výzev a v neposlední řadě skloubení dlouhodobého náročného vytrvalostního výkonu s důrazem na silovou a technickou vybavenost běžce. Kilián Jornet je legendou horského běhu a jedním z nejdominantnějších vytrvalostních sportovců své generace. Jornet (2011) při dotazu proč vlastně běhá a na co při tom myslí, odpovídá jednoduše. Myslím na to, jak běžet rychleji, dál a delší dobu. Běhám prostě proto, že se mi to líbí.

Touha zlepšovat se, klade nároky na zvyšování výkonnosti. To je základním předpokladem sportu jako takového. Dovalil (2005) zmiňuje, že sportovní trénink je komplexní proces, ve kterém hraje jednu z velkých rolí proces biologického přizpůsobení zvýšené tělesné námaze, vytváření energetických rezerv a distribuce energie. Vodíkem obohacená voda (HRW) je jednou z dosud málo probádaných možností s potenciálem, jak legálně a fyziologicky zlepšení vytrvalostního výkonu dosáhnout. Do nedávna se předpokládalo, že molekulární vodík známý jako nejlehčí plyn nevyvolává žádnou fyziologickou odezvu. Tuto domněnku však vyvrátil Ohsawa et al. (2007), jehož výzkum potvrdil výrazné selektivní antioxidační účinky na organismus.

1 SYNTÉZA POZNATKŮ

1.1 Determinanty SV v horském běhu

Znalost struktury sportovního výkonu je pro správně vedený sportovní trénink směrem k maximalizaci výkonu zásadní. Mezi determinanty, které SV ovlivňují řadíme především faktory somatické, kondiční, technické, taktické a psychické (Dovalil et al., 2005).

1.2 Vytrvalost

Vytrvalostní schopnosti se řadí mezi kondiční faktory sportovního výkonu. Dovalil (2002) specifikuje vytrvalost jako soubor předpokladů vykonávat činnost určitou intenzitou co nejdéle, nebo co nejvyšší intenzitou ve stanoveném časovém úseku. Dále lze jednoduše definovat jako schopnost odolávat únavě. Vytrvalost je velmi dobře tréninkem ovlivnitelná schopnost a první významnější změny lze zaznamenat již po několika týdnech tréninku.

Grasgnuber a Cacek (2008) uvádějí, že jedním z nejpodstatnějších faktorů, které rozhodují o vytrvalostních schopnostech jsou genetické dispozice každého člověka, což můžeme také nazývat termínem trénovatelnost.

O vytrvalostních schopnostech dále rozhodují především fyziologické funkce. O úrovni vytrvalosti rozhoduje především výkonnost dýchacího a srdečně-cévního systému a hlavní úlohu hraje transport kyslíku a zabezpečení přísunu energetických zdrojů k pracujícím svalům. V závislosti na intenzitě zatížení probíhá vytrvalostní výkon pomocí aerobních a anaerobních procesů a Dovalil (2002), je dále kategorizuje takto:

- Dlouhodobá vytrvalost;
- Střednědobá vytrvalost;
- Krátkodobá vytrvalost;
- Rychlostní vytrvalost.

Dlouhodobá vytrvalost je často označována jako obecná a vyznačuje se vykonáváním pohybové činnosti v přiměřené intenzitě po dobu delší, než 10 minut. Energetické krytí je z hlavní části realizováno aerobním způsobem, což znamená využití glykogenu a tuků za přístupu kyslíku. Výkon je limitovaný vyčerpáním energetických zdrojů.

Střednědobá vytrvalost je označována 8-10 minut trvající pohybová zátěž na nejvyšší možné úrovni spotřeby kyslíku. Částečně se do procesu zapojuje i LA systém. Hlavním zdrojem energie je glykogen, s jehož vyčerpáním přichází únava.

Krátkodobá vytrvalost je schopnost udržet pohybovou činnost v co nejvyšší intenzitě po dobu 2-3 minut. Hlavní energetické krytí probíhá bez přístupu kyslíku a zajišťuje ho anaerobní glykolýza – štěpení cukrů. Únava nastává z důvodů nadměrného hromadění kyseliny mléčné v namáhaných svalech.

Rychlostní vytrvalost v první několikavteřinové fázi energeticky zabezpečuje ATP-CP systém s hlavním zdrojem energie kreatinfosfátem. Později dominuje systém anaerobní glykolýzy. Délka zátěže se pohybuje do 20 sekund a pohyb je vykonáván nejvyšší možnou intenzitou. Limitujícím faktorem je kromě vyčerpání energetických zdrojů také nervová únava.

S ohledem na druh svalové činnosti může vytrvalost dále dělit na statickou a dynamickou. Vytrvalostní schopnosti jsou úzce propojené s technikou provedení pohybu, která hraje významnou roli v energetické spotřebě. Vytrvalostní schopnosti nabývají na významu s prodlužujícím se trvání sportovních výkonů ve sportovních odvětvích typu atletické běhy, běh na lyžích, cyklistika, plavání, kanoistika, veslování, triatlon a dalších.

1.2.1 Fyziologické determinanty vytrvalostního výkonu

Vytrvalost, jenž je označována jako schopnost dlouhodobě vykonávat tělesnou činnost bez výraznějších změn v intenzitě, má mnoho determinant, které její úroveň ovlivňují. Mezi nejvýznamnější patří maximální aerobní výkon (úroveň VO₂max), úroveň a výkon na aerobním a anaerobním prahu, typologie svalových vláken a ekonomika provedení pohybu (Botek et al., 2017).

1.2.1.1 Aerobní výkon

Aerobní vytrvalost a její rozvoj pomocí více či méně intenzivního vytrvalostního tréninku je hodnocen maximálním aerobním výkonem a aerobní kapacitou. Lehnert et al. (2014) dále popisuje maximální aerobní výkon (VO₂max) jako nejvyšší možnou individuální spotřebu kyslíku při práci velkých svalových skupin, a to v individuálně zvoleném časovém intervalu. Na této úrovni kapacity je možné udržet výkon pouze velmi omezenou dobu. U těch nejlepších vytrvalců se jedná o minuty, ve kterých maximální aerobní výkon dokáží udržet. Čím vyšší hodnotou VO₂ max sportovec disponuje, tím větší množství kyslíku má k dispozici pro získávání aerobní energie. Je především spolehlivým ukazatelem maximálního potenciálu aerobní produkce energie a regeneračních schopností

sportovce po zatížení. Hodnota VO₂max je výrazně ovlivnitelná tréninkem, lze ji zvýšit až o 20 % až 50 % u nejlépe trénovatelných sportovců. Senzitivní, a tudíž ideální období pro rozvoj maximální spotřeby kyslíku se jeví věk mezi 15-19 roky. Maximální aerobní výkon se vyjadřuje v ml spotřebovaného kyslíku na kilogram za minutu. Dovalil et al. (2012) znázorňuje tabulku se sporty, v nichž jsou u sportovců dosahovány nejvyšší hodnoty VO₂max. Takovými sporty jsou především běžecké lyžování, běhy na dlouhé tratě, cyklistika, veslování a další. Podle Neumanna et al. (2005) mohou dosahovat nejlepší výkony světové úrovně muži s hodnotou přes 78 ml/kg-1/min-1 a ženy s hodnotami přes 68 ml/kg-1/min-1. Úroveň VO₂max je správně a velmi často označována nejen jako důležitý ukazatel maximální aerobní výkonnosti, ale zároveň i jako pouhý prediktivní ukazatel pro to, jakých výkonů bude sportovec ve vytrvalostních disciplínách dosahovat (Rivera et al., 1997). Lehnert et al. (2010) vyjadřuje podobný názor a dále poukazuje na to, že se jedná o ukazatel maximálního potenciálu aerobní produkce energie a regeneračních schopností sportovce.

Noakes (2001) poukazuje na změny hodnot VO₂max v čase a závislost těchto hodnot na následujících ukazatelích:

- Trénovanost je děj a stav organismu sportovce, který vzniká zařazováním tréninkových cvičení. Pravidelný trénink zvyšuje hodnoty VO₂max o 5–15 %. Hodnota VO₂max je daná především genetickými vlastnostmi než tréninkem. Sportovci s menšími vrozenými předpoklady proto někdy nejsou schopni zvýšit své VO₂max ani pomocí intenzivních tréninkových cvičení;
- Charakter zatížení je velmi podstatný faktor ovlivňující hodnoty VO₂max. Kouidi et al. (2002) píše, že hodnota VO₂max je přímo odvozená od typu tělesného cvičení a sportovci vytrvalostních disciplín mohou mít vyšší hodnoty VO₂max než ti, u kterých převažuje silový, nebo rychlostní charakter zatížení;
- Věk, kdy se významně snižuje hodnota VO₂max po 25 roce života. Velikost poklesu VO₂max je velmi individuální a závisí též na trénovanosti sportovce. Se zvyšujícím se věkem se na snižování hodnoty VO₂max podílí postupný pokles svalové hmoty a často se vyskytující onemocnění koronárních cév (Rosen et al., 1998; Fleg & Lakatha, 1988);
- Z hlediska hodnot VO₂max hraje významnou roli pohlaví. Ženy mají hodnoty nižší, a to z důvodů menšího vzrůstu a menšího objemu krve (Havlíčková, 1994);
- Nadmořská výška. Od 1500 m se trénink považuje za vysokohorský a Dovalil (2002) zmiňuje snížit intenzitu tréninkového zatížení pod 75 % VO₂max.

Už od nadmořské výšky 1200 m. n. m. dochází k poklesu VO₂max zhruba o 10 % na každých 1000 výškových metrů. To se děje z důvodů snižování parciálního tlaku kyslíku se vzrůstající nadmořskou výškou (Rosen et al., 1998).

1.2.1.2 Aerobní kapacita

Havlíčková (1994) charakterizuje aerobní kapacitu jako teoreticky neomezenou a vyjadřuje celkový objem oxidativně uvolněné energie. Zahradník a Korvas (2012) popisují aerobní kapacitu jako maximální možnou spotřebu kyslíku při aerobním způsobu energetického krytí. Aerobní kapacita je velmi důležitá především ve sportech, kde je potřeba několikahodinový sportovní výkon a laktát v těchto intenzitách výkon výrazně neovlivňuje.

1.2.1.3 Aerobní práh

Botek et al. (2017) uvádí, že aerobní práh je prvním z metabolických předělů, pod jehož hranicí ještě nedochází k výraznému zapojování anaerobních procesů a zvyšování laktátu. Hladina laktátu, která je považovaná za úroveň aerobního prahu je úroveň 2 mmol/l. Hodnota aerobního prahu hraje na rozdíl u kolektivních sporů výraznější roli u individuálních vytrvalostních sportů, jakými jsou silniční cyklistika, maratonský běh, duatlon a další. V těchto a podobných disciplínách tvoří příprava právě na aerobním prahu podstatnou část tréninku. U takto vrcholově trénovaných sportovců se hranice aerobního prahu nachází až na 65 % VO₂max. U běžné populace se tato hranice nachází okolo 50 % VO₂max.

1.2.1.4 Anaerobní práh

Anaerobní práh a výkon na hranici ANP je v podstatě alfou a omegou pro většinu vytrvalostních sportovců. Botek et al. (2017) jej definují jako schopnost organismu využít co nejvyššího podílu VO₂max při déletrvajícím vytrvalostním výkonu. To potvrzují tvrzení dalších významných autorů, kteří anaerobní práh specifikují jako nejvyšší možnou udržitelnou intenzitu zatížení, kde se již výrazně prosazují anaerobní procesy, avšak látková výměna tvorba a spotřeba laktátu zůstává v rovnováze (Kindermann et al., 1979, Wassermann et al., 1973, Keul et al., 1979 a další). Botek et al. (2017) dělí ANP na 3 druhy:

- Cirkulační (ANP-c) je stanoveno na základě testu do maxima pomocí postupného zvyšování zátěže. V testu je sledována linearita mezi srdeční frekvencí a její odezvou na zvyšující se zátěž. V místě odklonu křivky z lineární dráhy se nachází

anaerobní práh. Metoda je méně vhodná pro běžnou populaci, neboť zlomy v linearitě jsou u ní hůře identifikovatelné;

- Metabolický (ANP-I) se nejčastěji určuje pomocí testu laktátové křivky, při které se intenzita zatížení porovnává s produkcí laktátu. Test probíhá v několika úsecích o délkách 4 a více minut a při každém dalším stupni se lineárně zvyšuje rychlost (intenzita). Mezi jednotlivými stupni se většinou z ucha odebírá vzorek kapilární krve pro zjištění koncentrace laktátu. Havlíčková (1999) zmiňuje, že hodnota anaerobního prahu je individuální. ANP je jakýmsi bodem zvratu mezi aerobním a smíšeným aerobně-anaerobním energetickým krytím. Hodnota individuálního anaerobního prahu se nachází na úrovni 4 mmol/l laktátu v krvi a vyjadřuje vznik nelineárního nárůstu kumulace kyseliny mléčné v krvi v závislosti na intenzitě zatížení. Podle nejnovějších zjištění se však úroveň ANP-I pohybuje v rozmezí 2,5-6 mmol/l, a proto se velmi často stanovuje individuální ANPi a to v rozmezí 3-8 mmol/l (Botek et al., 2017). Botek et al. (2017) dále zmiňuje pojem maximální laktátový setrvalý stav, který je s výraznou variabilitou ANP spojený. Jedná se maximálně možnou koncentraci laktátu, kterou lze udržet po dobu minimálně 10-15 minut zatížení. Intenzita zatížení se pohybuje mezi 50-80 % VO₂max. Hodnota laktátu na úrovni MLSS nesouvisí s výkonnostní úrovní sportovce, ale primárně rozhoduje předvedený výkon na úrovni ANP, který je rozhodující. Úroveň ANP-I ovlivňuje mnoho faktorů a mezi ně patří například podíl pomalých oxidativních svalových vláken, jejich kapilarizace, počet a objem mitochondrií, aktivita aerobních enzymů, nebo výkonnost pufrovacího systému, tedy schopnost organismu tolerovat laktát;
- Ventilací (ANP-v) se určuje v závislosti změn ve výměně dýchacích plynů (O₂ a CO₂) opět při stupňovaném zátěžovém testu. ANP-v je stanoveno v bodě, kde dojde k náhlému zvýšení výdeje CO₂ a odchylce ventilace konzistentního vzestupu spotřeby O₂.

1.2.1.5 Typologie svalových vláken

Souhra a typy svalových vláken jsou další významnou determinantou vytrvalostního, a především silově vytrvalostního výkonu, který disciplína běh do vrchu vyžaduje. Přidalová a Riegerová (2002) udávají 2 typy svaloviny. Hladkou, a především kosterní příčně pruhovanou, která je základní tkání kosterních svalů. Botek et al. (2017) uvádí, že z hlediska zastoupení jednotlivých typů svalových vláken se v populaci nejčastěji

vyskytuje poměr 45 % pomalých a 55 % rychlých vláken. O tomto poměru výrazně rozhoduje genetická výbava každého jedince. Čím je větší poměr svalových vláken na jednu či druhou stranu, tím samozřejmě sportovec inklinuje a více se prosazuje ve vytrvalostních, nebo rychlostních disciplínách. Je známo, že u elitních vytrvalostních sportovců se vyskytuje podíl pomalých oxidativních svalových vláken až 80 %. Ti proto mohou díky vysoké oxidativní kapacitě svalů využívat ve větší míře energii pro svalovou činnost ze štěpení tukových rezerv. Svalová vlákna můžeme v lidském organismu rozdělit na několik typů, které se od sebe navzájem liší. Za hlavní rozdíl je považována rychlost cyklu kontrakce a relaxace. Botek et al. (2017) dále rozděluje typy svalových vláken takto:

- Typ I, označuje pomalá, červená oxidativní vlákna. Tyto svalová vlákna s vysokou oxidativní kapacitou jsou méně unavitelná a díky lepšímu využití kyslíku se v nich netvoří větší množství laktátu. O využití kyslíku v těchto svalech rozhoduje množství a počet myoglobinu, mitochondrií, hustota kapilarizace a aktivita enzymatického systému;
- Typ IIa, jsou označována jako rychlá oxidativní neboli přechodná. Jsou to velmi rychlá vlákna, a zároveň obsahují i vysoký počet mitochondrií. Představují přechod mezi bílými a červenými svalovými vlákny. U tohoto typu vláken lze charakterem tréninku nejlépe ovlivnit jejich větší inklinaci k pomalým, či rychlým svalovým vláknům;
- Typ IIb, tvoří rychlá glykolytická, bílá vlákna. Tyto vlákna se prosazují nejvíce v krátce trvajících silových a rychlostních disciplínách, které vyžadují rychlý a velký energetický výdej. Jsou rychle unavitelná a jejich počet je výrazně geneticky ovlivněný.

Bursová a Charvát (2005) dělí svalová vlákna na další dva krajní typy, a to tonická a fázická. Ty rozlišujeme především podle povahy motoneuronu, který sval řídí na:

- Tonická svalová vlákna, která se profilují jako červená, pomalá a oxidativní. Mají významnou posturální funkci a tendenci ke zkrácení;
- Fázická svalová vlákna, jsou bílá, glykolytická a poměrně rychle unavitelná. Mají tendenci ochabovat.

1.2.1.6 Ekonomika pohybu

Ekonomika pohybu či přímo běhu je velmi úzce spojená s technickou dovedností každého sportovce. Zvládnutí techniky provedení pohybu je pak procesem, který má tři fáze a to nácvik, zdokonalování a dokonalé zvládnutí techniky (Velebil, 2002).

Někteří z autorů vyjadřují ekonomiku pohybu jako komplex všech fyziologických a biomechanických předpokladů, jenž na sebe navazují a doplňují se (Barnes & Kilding, 2015). Botek et al. (2017) popisuje tuto velmi důležitou determinantu vytrvalostní výkonnosti jako vyjádření množství spotřebovaného kyslíku při určité rychlosti pohybu. Ekonomika pohybu by se dala představit podle hypotetické situace, kdy vedle sebe běží dva běžci, přičemž oba mají shodné VO₂max. Pokud oba poběží při stejném množství spotřebované energie, tak ten s lepší ekonomikou běhu bude rychlejší. Jeden z hlavních faktorů ekonomiky běžeckého pohybu jsou tělesné parametry sportovců. Jako ideální se jeví štíhlost dolních končetin a nízký vzrůst. Kučera a Truksa (2012) přidávají další z náhledů na ekonomii běhu, která může být definována jako schopnost udržet dané tempo za minimální spotřeby energie. Tento proces je ovlivňován mnohými faktory, například účinností metabolismu, rozdíly v tělesné stavbě apod. Důležitým faktorem tak může být i tělesný vzrůst sportovce. Noakes (2001) používá ve vztahu k ekonomice běhu pojem (*running economy*) a vyjadřuje v něm to, jakou energii je nutno vynaložit při daném VO₂max a rychlosti běhu. Některé z dalších faktorů, které ekonomiku běhu výrazně ovlivňují jsou následující:

- Individuální styl běhu. Koop a Rutberg (2018) zmiňují, že v pomalých rychlostech může být chůze ekonomicky výhodnější než běh.
- Délka a frekvence kroku;
- Druh pohybu;
- Odrazové síla. Bosco et al. (1986) uvádí, že pomocí zpětného rázu při odrazu lze ušetřit velké množství energie;
- Únava, která se může projevit poklesem kontraktibility svalů, a ty už nedokážou nahradit postupné snižování výkonu aktivací dalších svalových vláken (Komi & Nicol, 2000).

V běhu do vrchu či obecně v běhu v horách je technika a ekonomika pohybu velmi důležitá. Pohyb v terénu je velmi specifický a variabilní a nestačí běžet efektivně pouze na rovině, ale i v kopcích nahoru a dolů. V technicky náročných závodech je jednou z rozhodujících faktorů běžcova anticipace a zkušenost. V tomto ohledu hrají velkou roli jak vrozené dispozice, tak prostředí, ve kterém sportovec vyrůstá a trénuje. Dobře vybavený běžec dokáže především v rychlých sebězích odhadnout a přesně vyhodnotit, kam dopadnout až několik kroků dopředu. Tato schopnost může samotný pohyb v těžkém

terénu nejen velmi zrychlit, ale samozřejmě i ušetřit velké množství energie pro zbytek závodu (Straková, 2013).

Koop a Rutberg (2018) píší, že velké množství elitních horských běžců volí v kratších závodech v běžích do vrchu raději běh před chůzí a upřednostňují rychlejší pohyb před možností rychlejšího vyčerpání energetických zásob. Rozhodnutí, zda do kopce vyběhnout, nebo vyjít vychází především z jejich aktuálního stavu. Falls a Humphrey (1976) se zabývali problematikou, zda do kopce běžet, nebo jít. Co a za jakých podmínek bude ekonomičtější a výhodné v kontextu celého běžeckého závodu. Došli k závěru, že běžet tempem 7:30 min/km a pomaleji vyžaduje větší kardiovaskulární zatížení a větší spotřebu energie, než sportovec vynaloží při chůzi. Tento poměr a tempo se však může výrazně měnit při změně sklonu a povrchu.

Giandolini et al. (2015) se domnívají, že ekonomika běhu úzce souvisí s technikou došlapu a délkou kroku. Úpravou délky běžeckého kroku a dopadem na přední část chodidla lze výrazně eliminovat poškození stehenních svalů a tím prodloužit kvalitu výkonu. Dále dodávají, že v terénním běhu k tomu svým způsobem dochází přirozeně v důsledku reakcí na měnící se profil a povrch.

1.3 Síla

Silové schopnosti hrají stejně jako vytrvalostní předpoklady stěžejní roli ve výkonnosti běžců do vrchu. Lehnert et al. (2010) charakterizují pojem síla jako pohybovou schopnost, která je nedílnou součástí všech sportovních výkonů. Je jednou z klíčových kondičních schopností, pomocí které lze efektivně realizovat pohyb. Sílu si lze představit jako schopnost, kterou můžeme překonávat, brzdit, nebo odolávat zvýšenému odporu pomocí svalové kontrakce. Ta může být statická, či dynamická.

1) **Dynamická svalová kontrakce** se vyznačuje zkracováním či prodlužováním zatížených svalových vláken a může být:

- Koncentrická – odpor je menší, než je sval schopný vyprodukovat a svalová vlákna se v průběhu cvičení zkracují;
- Excentrická – odpor je větší, než síla produkovaná svalem a svalová vlákna se v průběhu cvičení protahují;
- Plyometrická – nastává tehdy, když koncentrická akce následuje bezprostředně po excentrickém protažení svalových vláken. Takovéto dynamické provedení pohybu vyžaduje řada sportů spojených především s odrazy a hody;

- Izokinetická – pro tuto kontrakci je typická konstantní a předem nastavená rychlost na přístrojích, které jsou pro toto posilování určeny.

2) Statická svalová kontrakce

- Při tomto typu svalové kontrakce nedochází ke změnám v délce svalů. Podstatou je udržování zátěže, případně polohy těla ve stejné poloze při zvýšeném svalovém napětí. Tutu činnost si lze představit jako výdrž ve shybu na hrazdě.

Faktory, které ovlivňují svalovou sílu mohou být různé a je jich mnoho. Mezi ty nejpodstatnější patří především (Lehnert et al., 2010; Havlíčková, 1999):

- Množství svalové hmoty, jenž určuje, jak velký je příčný svalový průřez a rozhoduje o schopnosti vyvinout maximální sílu;
- Nitrosvalová koordinace, kterou ovlivňuje činnost motorických jednotek, jejich nábor, synchronizace a frekvence dráždění;
- Mezisvalová koordinace. Součinnost zapojených svalů a spolupráce mezi antagonisty a agonisty;
- Energetické zdroje pro krytí svalové kontrakce, kde o zdroji krytí rozhoduje především intenzita i délka trvání svalových kontrakcí;
- Reflexní děje a aktivační úroveň CNS. Podmíněné reflexy jsou již od narození připravené, neměnné a individuální. Společně s nepodmíněnými reflexy vytvářejí hybné stereotypy (Bursová a Charvát, 2005).
- Technické provedení, které souvisí s ekonomikou a automaticností vykonávaného pohybu.

Lehnert et al., (2010) dále popisuje jednotlivé druhy síly jako komplex schopností bez přesného ohraničení. I přesto lze jednotlivé druh síly označit, a to především podle rychlosti a délky vykonávaných pohybů. Dále potom podle počtu opakování a velikosti odporu, který je potřeba při svalové činnosti překonat. Ze 4 základních druhů síly je první maximální síla. Jedná se o svalovou kontrakci, kterou lze jedním opakováním překonat, brzdit či odolat největšímu možnému odporu. Jako další je síla rychlostní, při které se snažíme překonávat odpor v co nejkratším čase. Třetím druhem je síla reaktivní, která je někdy nazývána plyometrická a pro kterou je typická snaha dosáhnout co největší silové odezvy v jednom cyklu natažení a okamžitým zkrácení svalu. Poslední je síla vytrvalostní

neboli silová vytrvalost, kterou lze charakterizovat jako opakované a co nejdelší překonávání nemaximálních odporů, aniž by se snížila kvalita cvičení.

Tlapák (2014) zmiňuje, že druhy síly a použité metody silového tréninku mají různý vliv na to, jak se zvyšuje svalová síla a svalový objem. Ne vždy je pro sportovce žádoucí, aby současně se zvyšující silou rostl i svalový objem potažmo hmotnost. Proto musí dávat sportovci a jejich trenéři velký důraz na zvolené tréninkové metody.

Podle Zatsiorského (1995) je schopnost vyvinout svalovou sílu závislá především na dvojici faktorů. Prvními faktory jsou periferní, které jsou determinovány maximální silovou svalovou kapacitou. Druhými jsou centrální faktory, které mají na starosti řízení a koordinaci svalové činnosti pomocí centrálního nervového systému.

Petr a Šťastný (2012) uvádějí, že v silovém tréninku, a nejen v něm je tréninková zátěž definována jako skutečný součet všech tréninkových cvičení za jednotku času. Tréninkovou zátěž poté rozdělují na dvě hlavní a několik dalších podstatných složek sportovního silového tréninku tímto způsobem:

- 1) Objem, co se týká silového tréninku, vyjadřuje celkovou zátěž, jenž se vypočítává prostým součtem hmotnosti a počtu opakování;
- 2) Intenzita je popisovaná jako vyjádření poměrné hodnoty k maximálnímu odporu (1-RM). Veřejnost má často spojenou intenzitu s rychlostí a vyčerpáním, avšak při správné terminologii v silovém tréninku znamená intenzivně především vysoký odpor vzhledem k 1-RM;
- 3) Progresivní zvyšování zátěže musí být postupné, a to jak v objemové, tak v intenzivní fázi tréninku. Jedině tímto způsobem přípravy nedochází ke stagnaci v růstu výkonnosti;
- 4) Zotavení souvisí s odpočinkem. Svaly se adaptují na tréninkovou zátěž a v době zotavení probíhá základní adaptační proces nazývaný superkompenzace. Průběh superkompenzace samozřejmě závisí na intenzitě a velikosti zatížení. Jednotlivá tréninková cvičení musí být zařazována z časového hlediska optimálně, aby nedocházelo k přetížení a poklesu výkonnosti, anebo ke stagnaci výkonnosti v důsledku nepravdělného a nízkého tréninkového zatěžování;
- 5) Variabilita je další z podstatných tréninkových zásad. Organismus se velmi rychle přizpůsobuje konstantnímu tréninkovému zatížení a obměňování tréninkových stimulů a prostředků může nadále vést k maximální adaptaci a zvyšování výkonnosti;

- 6) Specifičnost souvisí se sportovní disciplínou a jejími specifiky, které samotný sportovní výkon vyžaduje. Specifická tréninková cvičení, tedy taková, která jsou velmi podobná podmínkám v soutěži vyžadují především znát strukturu sportovního výkonu. Posilovací trénink se zaměřuje na druh kontrakce, rychlost pohybu, sílu kontrakce a pohybový vzorec.

1.4 Adaptační změny v důsledku silově vytrvalostního tréninku

Adaptace, tedy trvalé změny trénovanosti organismu vznikají v důsledku narušení homeostázy pomocí stresoru, kterým je tělesné zatížení. Po několika dnech či týdnech stejného zatěžování dochází k oslabení stresové reakce na daný podnět a to znamená, že došlo k adaptaci neboli přizpůsobení se organismu na dosud dávkované tréninkové zatížení. Pro další růst výkonnosti sportovce je dále potřeba zvýšit velikost tréninkového zatížení, a to intenzitu či objem, případně volit jiné tréninkové prostředky. Zatížení musí bezpodmínečně probíhat po dostatečně dlouhou dobu, opakovaně a v tréninkovém procesu je třeba dbát na správné střídání zatížení a regenerace sil (Botek et al., 2017).

Botek et al. (2017) dále uvádí, že z hlediska silově vytrvalostního tréninku dochází k výrazným adaptacím organismu především v následujících systémech:

- Adaptace dýchacího systému. Přizpůsobením se vytrvalostnímu zatížení se oproti výchozímu stavu výrazně snižuje dechová odezva na zatížení. To vyvolává další funkční změny jako například:
 - Celkové zesílení dýchacích svalů;
 - Zlepšení difúze kyslíku z plic do krve;
 - Zlepšení parametrů vitální kapacity plic v mladším věku;
 - Zlepšená ekonomika dýchání je další z významných adaptačních změn. Udává se, že rozdíl v koncentraci O₂ v nadechovaném a vydechovaném vzduchu je u trénovaných jedinců až dvojnásobně větší, než u nesportujících osob. To znamená, že trénující sportovci dokáží daleko lépe extrahovat kyslík.
- Adaptace kardiovaskulárního systému.
 - Pokles SF při zatížení i v klidu lze pozorovat již během několika dní či týdnů intenzivního vytrvalostního tréninku. Za poklesem SF stojí především zlepšená funkce kosterních svalů a vzestup systolického objemu. Ten tak udržuje stejný minutový srdeční výdej při snížené SF. Minutový srdeční výdej je v klidu podobný u trénovaných i netrénovaných jedinců,

avšak zásadní změny nastávají při zatížení a maximálních intenzitách. Tam se díky většímu systolickému objemu dostává trénovaný sportovec na dvojnásobné hodnoty MSV oproti netrénovaným jedincům. Samotnému nárůstu systolického objemu přispívají dva následující děje;

- Zvýšení objemu cirkulující krve, které nastává v důsledku pravidelného vytrvalostního tréninku již po několika týdnech. Objem krve se může zvýšit až o 20 %;
 - Zvětšení objemu srdce neprobíhá takovým tempem. Postupné zvětšování srdce je důsledkem až několikaletého vytrvalostního tréninku;
 - Zlepšení hodnot extrakce (a-v) O₂ může být dalším důsledkem správně dávkovaného tréninku, kdy je v pracujících svalech efektivněji využíván kyslík.
- **Adaptace svalového systému.** K velmi rychlým adaptacím na rozdíl od kardiovaskulárního systému dochází v oblasti svalů a svalových vláken. Dobře adaptovaná svalová vlákna napomáhají lepší ekonomice běhu, mohou zvyšovat hodnotu VO₂max a samozřejmě ve svalech lépe a rychleji cirkuluje krev a tím i kyslík, který je potřeba pro tvorbu energie aerobní cestou. V důsledku vytrvalostního tréninku dochází k adaptacím svalových vláken především typu I a IIa a faktory lze rozdělit takto:
- Zvýšená kapilarizace;
 - Zvýšení počtu a objemu mitochondrií. Hyot (2009) zmiňuje, že při vytrvalostním tréninku dochází k zvýšení mitochondriálního obsahu, mitochondriální biogenezi, a to zásluhou zvýšení obsahu mitochondriálních enzymů. To má za následek vyšší efektivitu oxidace všech substrátů, především sacharidů a mastných kyselin, čímž dochází k šetření celkových tělesných zásob glykogenu;
 - Zvýšení aktivity aerobních enzymů;
 - Snížení průřezu svalového vlákna (což ovšem nemusí vždy platit v důsledku často se opakujícího intenzivního silového tréninku běžců do vrchu). Rychle se kontrahující svalová vlákna typu IIa obvykle v průběhu vytrvalostního tréninku svůj průřez také nezvětšují, jelikož nejsou využívána ve stejném rozsahu jako vlákna typu I (Kenney et al., 2012). V další ze studií sleduje Trappe et al. (2006) vliv vytrvalostního maratonského tréninku skupiny amatérských běžců na funkci jednoho svalového vlákna. Z výsledků

vyplývá, že v důsledku vytrvalostního běžeckého tréninku došlo k poklesu průřezu svalů u vláken obou typů a to o 20 % při zachování či dokonce zvýšení svalové síly;

- Zvýšení koncentrace myoglobinu a vyšší množství intramuskulárního tuku.
- Adaptace centrálního nervového systému spočívá především ve zpřesnění a ekonomičtějšímu vedení pohybů. Dále také zlepšení reakce a koordinace které jsou ovlivněny činností motorických jednotek.

1.5 Specifika přípravy horského běžce

Vytrvalostní běh a závody v horském terénu chápou jako běhy, které začínají u obvyklé délky mistrovských závodů kolem 12 km s převýšením přibližně +1200 m a délce trvání výkonu od 60 minut, až po délku 100 km a čas vítěze závodu nepřesahujících 12hodin. Zabývat se budu přípravou na závody o délce 1,5-3 hodiny s pozitivním převýšením větším než 1200 m. Toto vymezení je blízké disciplínám běh do vrchu na krátké a dlouhé distanci. Havlíček (2016) se domnívá, že toto téma není ve sportovním světě tolik prozkoumané. Existují sice dostupné publikace věnující se přípravě na běhy v terénu a ultramaratony (Powell, 2011 a Koerner, 2015), ty však často ukazují pouze obecnou cestu především začínajícím běžcům a věnují se radám týkající se běhu v přírodě, výživy, vybavení. Obsáhlejší pohled na přípravu a závody v horském terénu lze nalézt v knize Základy ultramaratonského tréninku, ve které se Koop a Rutberg (2018) snaží popsat, jak trénovat chytřeji, závodit rychleji a maximalizovat běžecký výkon v horách. Vlastního specifického tréninku běžce vrchaře na kratších vzdálenostech se dotýkají pouze okrajově. Užitečné informace lze také získat i z časopisů jako Running Times, Trail Runner, Trails Endurance a dalších. Komplexní publikace zaměřená primárně na trénink výkonnostního závodního horského běžce v podstatě neexistuje, případně je velmi těžce dohledatelná.

1.5.1 Tréninková východiska

Základní charakteristikou pro trénink horského běžce je dlouhodobý vytrvalostní výkon v délce trvání 1,5 – 3 hodiny. Dovalil (2005) uvádí, že o úrovni vytrvalostních schopností rozhoduje především dýchací a srdečně cévní systém a dále energetické krytí pro svalovou činnost. V tréninku se v podstatě vychází z přípravy na maratonskou trať a současně se přikládá větší důraz na specifické prvky sportovního výkonu běhu v horách, především silové schopnosti a technické dovednosti. V tréninku lze využívat souvislé

i přerušované metody vytrvalostního tréninku s důrazem na zóny aerobního a anaerobního prahu, ve kterých se běžec během závodu pohybuje. Základním dilematem trenéra je otázka, jakým způsobem dávkovat objem a intenzitu, a tím vyhovět požadavkům na optimální zatěžování a růst výkonnosti.

Kissane, J. A. (2014) se ve své studii „What Pace Easy Days“ zabývá otázkou, jaké je pro vytrvalce optimální tréninkové tempo ve volnějším tréninkových jednotkách. Jedná se o všechny běhy mimo tréninků intervalů, opakovaných či dlouhých tempových běhů. Tyto běhy tvoří až 70 % celkového naběhaného objemu a mají tedy významný vliv na celkovou kondici sportovce. U elitních běžců na dlouhých distancích se přístup k těmto naběhaným kilometrům velmi liší. Někteří, jako například Mo Farah a Glenn Rupp, upřednostňují ve své maratonské přípravě poměrně rychlá tempa i ve volnějším tréninkových jednotkách, aby podle svého trenéra Alberta Salazara získali větší užitek i z takto naběhaných kilometrů. Naopak většina závodníků z Keni, příkladem může být Saly Kipyego, naopak absolvují tyto běhy až extrémně pomalým tempem. Důvodem je, že tyto tréninky mají mít především regenerační charakter a je důležité, aby nebyl narušován proces zotavení a adaptace z předchozích těžkých tréninků. Otázkou tedy je, jaká je správná rychlost a co ztratíte, když půjdete příliš rychle nebo příliš pomalu?

Tabulka 1. Lehká tempa elitních běžců

Elite runners' reported easy paces in miles.			
	Suggested easy pace	Actual easy pace	PR pace
Mo Farah Marathon PR: 2:08:21	5:39-6:00/mile	5:30	4:53
Marielle Hall 5,000m PR: 15:12	6:23-6:47/mile	6:40	4:54
Sally Kipyego 5,000m PR: 14:30	6:06-6:29/mile	8:30	4:40
Jason Ryf Marathon PR: 2:19:37	6:15-6:40/mile	6:00	5:27

Vysvětlivky: PR pace-závodní tempo. (Kissane J. A. 2014)

Kissane, J. A. (2014) dále zmiňuje, že američtí trenéři Barken a Bergland se domnívají, že pokud drží běžec stabilní výkonnost, je v pořádku běhat v odpočinkové dny volnějším tempem. Na druhou stranu je volné tempo kontraproduktivní, když se začne výkonnost a forma snižovat. Doporučují běžcům, aby své tempo v jednoduchých dnech udržovali na srdeční frekvenci 65-75 % z VO2 max a využívali benefit běhů v kopcovitém

terénu. Někteří fyziologové souhlasí s rychlejším přístupem. Jedním z nich je Bob Otto, ředitel laboratoře lidské výkonnosti na univerzitě v Adelphi. Podrobně popisuje nevýhody pomalého tempa: poskytuje ortopedické trauma, umožňuje sportovcům cvičit něco, co by nikdy nepoužili v závodě, a poskytne nedostatečný kardiovaskulární nebo metabolický podnět ke zlepšení. Podle zjištění se ukazuje, že volnější tempa ve volných tréninkových dnech využívají více vytrvalci na kratších tratích, a naopak rychleji tyto tréninky běhají maratonci.

Další studie řešící problematiku vytrvalostního tréninku od Seiler a Tonnessen (2009) se zabývá optimalizací tréninkových metod. Především se jedná o problematiku intenzity a doby trvání vytrvalostního tréninku. Závěry, které vycházejí z dostupných údajů a zkušeností z pozorování elitních vytrvalostních sportovců shrnují do několika bodů:

- Poměr tréninků s vysokou a nízkou intenzitou v poměru 20:80 se jeví jako nejefektivnější;
- Nízko intenzivní tréninky na aerobní prahu a níže s dlouhou dobou trvání stimulují fyziologické funkce organismu a neměly být považovány za zbytečné;
- Vysoce intenzivní intervalový trénink by měl být součástí každého tréninkového programu. Ukazuje se, že by trénink 2x týdně měl být dostatečný pro zlepšování výkonnosti a zároveň pro nepřevážení organismu do nadměrného stresu, tedy stavu přetrénování;
- Vysoce intervalový vytrvalostní trénink vede k rychlým zlepšením výkonnosti a je potřeba jej optimálně dávkovat a postupně navyšovat. Výrazně zvýšený intenzivního tréninku nemusí pokaždé vést ke zlepšení výkonnosti. Dobrý benefit s přijatelným rizikem může v tomto případě být především u vysoce odolných sportovců;
- Vysoký vytrvalostní základ může být důležitým předpokladem pro vysokou toleranci intenzivních intervalových tréninků;
- S výše uvedeným také úzce souvisí samotná periodizace tréninkového cyklu, kde se od počátečních mezocyklů postupně ubírá na objemu a zvyšuje intenzita tréninků až k soutěžnímu období.

Z těchto poznatků lze konstatovat, že svůj význam ve vytrvalostním běžeckém tréninku v lehkých dnech mají jak pomaleji naběhané kilometry, tak i rychleji běhané volné tréninky. Význam pomalých temp vidím především u běžců, kteří se zaměřují na kratší vytrvalostní distance do 30' trvání výkonu ve formě regeneračních TJ. Jejich

trénink je vysoce intenzivní a rychlé běhy ve volných dnech by jim znemožnily optimálně zregenerovat do dalšího kvalitního tréninku. Dále pak vidím jejich pozitivní vliv především v úvodní přípravné fázi, kde mohou takto naběhané kilometry tvořit základ a odrazový můstek pro dobré zvládnutí intenzivních TJ v hlavní přípravné fázi.

Rychlé běhy mají potenciál rozvíjet běžcovu výkonnost i v jednoduchých tréninkových dnech a doporučili bychom touto cestou jít především běžcům závodících na tratích od 1,5h trvání. Tyto tréninky běhané na či lehce pod úroveň aerobního prahu mají funkci transferu do stěžejních tréninků. Volný běh někde na úrovni 115-135 SF by měl být využíván pouze v regeneračních TJ, případně v období běžcovy stabilní výkonnosti v závodním a předzávodním období. Podle mých poznatků a zkušeností se zdá, že právě problémem běžců věnujících se běhům na dlouhých tratích v náročném terénu obvykle je, že jsou příliš pomalí. Nevyužívají ve svém tréninku v dostatečné míře intenzivnějších optimálních nadprahových temp na úrovni aerobního a anaerobního prahu, ve kterých se běžec pohybuje v průběhu závodu. Domnívají se, že množstvím nastoupaných výškových metrů, neúměrným prodlužováním tréninků na úkor jejich kvality, intenzity a schopnost pod dlouhou dobu relativně pomalu běžet pro úspěch v závodě stačí. Na druhou stranu samotná běžecká kvalita nutně nezaručuje úspěch na závodech, které se odehrávají v technicky a fyzicky náročném terénu. Za minimální běžeckou úroveň potřebnou k tomu, aby byl běžec schopen v horách závodit se širší světovou špičkou, se považuje maraton uběhnutý pod 2:30 u mužů a pod 3:00 u žen (Havlíček, 2016).

Samostatnou kapitolou v běžeckém vrchařském tréninku je používání běžeckých či lyžařských holí.

Kutek (2016) zmiňuje pozitivní zdravotní efekt a využití tréninku s běžeckými holemi jako velmi efektivní tréninkový prostředek využívaný v řadě dalších sportů jakými jsou například běh na lyžích, ultramaratón, kanoistika. Sportovci se díky možnosti použít běžecké hole často rozhodují, zda závod absolvovat s nimi či bez nich. Má toto rozhodování nějaké opodstatnění? Může použití běžeckých holí v závodě přinést závodníkovi nějaké benefity v podobě efektivnějšího pohybu běhu do kopce? Běh do kopce je extrémně náročný pro stehenní svaly. Soumar a Bolek (2012) se domnívají, že při použití běžeckých holí se toto přetížení výrazně eliminuje a rozloží. Na druhé straně se zase v důsledku zapojení většího množství svalových skupin zvyšuje srdeční frekvence a tím celková energetická náročnost. Kromě vnitřních schopností a dovedností každého jedince o výhodnosti použít v závodě běžecké hole rozhodují především vnější faktory, kterými mohou být například sklon kopce, povrch, nadmořská výška a další.

Co se týká samotného načasování tréninkových jednotek a jejich intenzit, využíváme některé poměrně spolehlivé diagnostické metody k získání informací o stavu a připravenosti organismu sportovce k výkonu. Kromě klasického měření klidové a zátěžové SF a více méně subjektivními zjištěními vnitřních a vnějších ZVI, jsou jimi například biochemické vyšetření, nebo spektrální analýza variability srdeční frekvence. Vzhledem k náročnosti provedení, to jsou tyto 2 metody dostupné a vhodné především pro vysoce výkonnostní a profesionální sportovce. Stejskal a Javorka et al. (2008) zmiňují, že využití spektrální analýzy variability srdeční frekvence, jakožto moderního technického prostředku poskytuje sportovci a trenérům informaci o momentálním stavu výkonnosti ANS ve vztahu k velikosti předchozího zatížení. Mohou tak usnadňovat plánování následujícího tréninku).

1.5.2 Periodizace tréninkového cyklu

Trénink horského běžce je velmi rozmanitý a stejně tak parametry závodních tratí, na které se v průběhu roku běžec připravuje. V tréninku horského běžce rozlišují 2 odlišné tréninkové přístupy a to:

- Atletický, který vychází především z maratonského tréninku a je vhodnější pro horské běžce na méně technických a strmých závodech;
- Druhým je přístup lyžařský a vychází především ze zimní přípravy běžců na lyžích, případně skialpinistů. Tento přístup je oblíbenější u silově a technicky náročných závodů typu skymaraton.

Jak již bylo zmíněno, příprava vychází z také z maratonského tréninku s důrazem na souvislé tréninkové jednotky s tempy na úrovni aerobního a anaerobního prahu. Dále se speciálním zaměřením na sílu dolních končetin a techniku běhu v náročném terénu. V trénincích se volí větší variabilita, a především více tréninkových prostředků, kterými jsou především kolo (horské kolo), běžecké, skialpinistické lyže, a běžecké (lyžařské) hole. Jednotlivé tréninkové bloky jsou směřovány ke specifickým potřebám sportovního výkonu daného závodu.

Návrh periodizace ročního makrocyclování mnou realizovaných tréninkových postupů, které vycházejí z atletického přístupu přípravy horského běžce v kategorii elite s aerobním prahem 160 SF a anaerobním prahem 174 SF. Roční makrocyclování obsahuje 3 vrcholy závodní sezóny:

- Silniční maraton 42,195m, květen;
- ME v běhu do vrchu 14 km +1550 m, červenec;
- MS v horském maratonu 42 km +-2600 m, listopad.

Listopad–duben 5 hlavních tréninkových bloků:

- 1) Úvodní blok-Po přechodném období je prvním blokem úvodní tréninkové období, ve kterém se postupně navyšuje objem naběhaných kilometrů a běžec si zvyká na tréninkové zatížení. Doba trvání je 1 cyklus (4 týdny);
- 2) Rozvíjející blok 1 - Rozvoj obecné vytrvalosti a celkové fyzické zdatnosti. Dlouhé souvislé běhy do 3hod. trvání, které jsou v tomto období běhany často volným tempem a velmi často v členitém terénu. Doplnění o volné regenerační klusy s rovinkami. Jako vhodné se jeví doplnění dalšími tréninkovými prostředky jako je cyklistika (včetně využití cyklistického trenážeru), běžecké lyžování a skialpinismus. Dostatek času věnujeme rovněž posilování a průpravným běžeckým cvičením. V závěru období již vkládáme tempové běhy na úrovni aerobního prahu a jednou týdně anaerobního prahu (2 cykly);
- 3) Kopce-Mezi dvě přípravná rozvíjející období vkládáme zhruba 1 cyklus (někdy méně 2-3 týdny) silové přípravy, která se skládá především z opakovaně vybíhaných krátkých či dlouhých kopců v submaximálních intenzitách. Délka úseků se pohybuje mezi 20 vteřinami až 6 minuty. Dále je trénink doplněn běhy formou fartleku v náročném kopcovitém terénu. 1 cyklus (2-4 týdny);
- 4) Rozvíjející blok 2. V tomto období je již veškerý trénink směřovaný ke speciálním maratonskému tempu. V rámci přípravy se sportovec může zúčastňovat i přípravných závodů v délce 10 km či půlmaratonu, které absolvuje ve speciálním maratonském tempu. 2 cykly (6-8 týdnů);

Tabulka 2. Ukázka tréninkového mikrocyklu

Po	Volno	B 12 km do 140 TF
ÚT	B IT 14 km 20 x 400 m	B 8 km regeneračně
ST	B 10 km AE	B 22 km (4 x 4 km ANP)
ČT	B 22-32 km 150 SF + vložené rovinky	Volno, regenerace
PÁ	Volno	B 14 km fartlek, hra, rychlost dle chuti
SO	B 14 km AE	B 16 km (2 x 6 km ANP)
NE	B 32 km stupňovaně OV-AE-ANP	Volno regenerace
	Celkem 10 TJ	176

Vysvětlivky: IT-intervalový trénink, TF-tepová frekvence, AE-aerobní práh, ANP- anaerobní práh, OV- obecná vytrvalost, TJ-tréninková jednotka. *(Vlastní zpracování)*

- 5) Stabilizační a vyladovací blok, který již spočívá v optimálním funkčním a mentálním naladění na závod.

Květen, 1 vrchol sezóny – silniční maraton 42,195m

- 1) Zotavný blok-Následuje zotavný 14denní mikrocyklus, který je tvořen volnými tréninkovými dny a hlavně nízko-intenzivními cyklickými sporty jakými jsou například plavání, kolo, výklusy.
- 2) Přípravná rozvíjející fáze-Specializovaný trénink na závod v běhu do vrchu s délkou trvání 1,5hod. a vysokým převýšením. Důraz je kladen především na adaptaci běhu v terénu na úrovni anaerobního prahu a dále speciální síly dolních končetin, která je realizována především opakovanými výběhy v různých délkách a v terénu, který je podobný jako závodní trať. Další důležitým prvkem je trénink na horském, či silničním kole. Sportovec absolvuje 2-3 přípravné závody, z nichž na jeden z nich je kladen větší důraz včetně závěrečného mini vyladění.

Tabulka 3. Ukázka tréninkového mikrocyklu

PO	Volno	Kolo 2 h švihem
ÚT	B 20 km (dlouhé výběhy kopců 12 %, 8 x 4 min ANP)	Výklus, rovinky, regenerace
ST	Kolo do 3 h	Výklus + rovinky
ČT	B 12 km AE	B 14 km. (10 km stupň.do ANP)
PÁ	Volno	B vol. 12 km
SO	B 12 km (krátké výběhy kopců 18 % 14x 45'' (submaximálně)	Kolo 1,5 h švihem
NE	B dlouhá AE vytrvalost v kopcích 2h15' +1400 m	Volno, regenerace

Vysvětlivky: B-běh, ANP-anaerobní práh, AE-aerobní práh. (Vlastní zpracování).

- 3) Vylad'ovací období, které opět spočívá v optimálním funkčním a mentálním naladění na závod.

Červenec, 2 vrchol sezóny-ME v běhu do vrchu 14 km/+1550 m

Obdobně jako mezi prvním a druhým vrcholem sezóny vypadá příprava i mezi druhým a třetím vrcholem sezóny s tím, že se opět upravují tréninkové jednotky se zaměřením na speciální požadavky sportovního výkonu třetího vrcholu sezóny. Těmito požadavky jsou především až tříhodinová délka závodu a technické dovednosti běhu v náročném horském terénu se střídáním seběhů a výběhů.

Listopad, 3 vrchol sezóny-MS v horském maratonu 42 km/+2600 m

V závěru makrocyklu využíváme kratších intenzivních tréninků k přerychlení a v průběhu října zařazujeme přechodné odpočinkové období.

1.6 Hydrogenovaná voda

1.6.1 Molekulární vodík

Nicolson et al. (2016) shrnuje přehled několika stovek studií, zabývajících se účinky molekulárního vodíku (H₂). Uvádí, že vodík je bezbarvý nejlehčí a nejčastěji se vyskytující plyn ve vesmíru. V molekulární formě tzn. H₂ je též bezbarvý, bez chutě, zápachu a netoxický. H₂, má pozitivní vliv v oblastech, kde oxidační stres vyvolává genetické změny a vede k poškození buněk. Je to antioxidant nové generace, který přináší uplatnění v mnoha oblastech. Použití molekulárního vodíku se v podobě doplňkové léčby doporučuje u pacientů s neurodegenerativními, metabolickými, kardiovaskulárními a dalšími problémy. H₂ působí jako cytoprotektivní antioxidantní činidlo tak, že redukuje nejreaktivnější oxidanty ROS, RNS a hydroxylové radikály (OH). Díky svým silným

antioxidačním vlastnostem tak může H₂ výrazně pozitivně působit proti infekcím, zánětům, alergiím a v oblasti vytrvalostního sportovního výkonu.

Velmi důležitou otázkou je, jak je bezpečné užívat vodík. V literatuře ani v žádné ze studií doposud nebyl zjištěn či publikován jakýkoliv nežádoucí účinek s negativním vlivem na lidský organismus a předpokládá se, že je tedy netoxický a ani při dlouhodobém užívání se vodíkem nelze předávkovat.

Ohta (2011) uvádí, že H₂ lze podávat několika různými metodami. Jednou z metod, kterými lze H₂ ovlivnit, je orální užití H₂ pomocí hydrogenované vody. Tato metoda je velice přístupná, účinná a lze ji doporučit nejširšímu spektru uživatelů. H₂ jako plyn má při rozpuštění v tekutinách velice dobré vlastnosti. H₂ lze při běžném atmosférickém tlaku a teplotě rozpouštět ve vodě až do 0,8 mM. Po požití hydrogenované vody se obsah vodíku rychle vstřebává do krve a je dále distribuován do celého organismu a k pracujícím svalům.

Další metodou zmiňovanou Kawamura et al. (2010) je inhalace plynného vodíku, která se může využívat při léčbě plicních a dalších onemocnění. Jedná se o velmi přímou a účelnou metodu, avšak její použití je velice nekomfortní a komplikované.

Dalšími možnostmi užití H₂ jsou injekční aplikace ve formě solného roztoku, nebo formou lázeňských procedur, přičemž se snižují potíže pacientům s dermatologickými problémy (Nicolson et al., 2016).

Ohsawa et al. (2007) popisuje akutní či dlouho trvající oxidační stres jako příčinu mnoha lehkých i vážných chorob. Ve svém zkoumání, jak eliminovat akutní oxidační stres použil živé potkany, u kterých bylo prokázáno mozkové poškození pomocí lokální ischemie a reperfuze. Potkanům byl v období léčby inhalačně podáván H₂ a výsledkem bylo jednoznačné a významné zmírnění oxidačního stresu a mozkového poškození. Výzkum prokázal účinnost antioxidační terapie pomocí H₂, který má schopnost rychlého šíření přes membrány a tím se dostat do kontaktu s cytotoxickými ROS. Může tak chránit organismus před poškozením v důsledku oxidačního stresu.

1.6.2 Účinky HRW ve sportu

Ostojic (2014) zpracoval přehlednou studii dosud zjištěných terapeutických účinků H₂ ve sportovní medicíně. Vychází z mnoha výzkumů, které byly zpracovány po přelomové práci Ohsawa et al. (2007), ve které byly zjištěny významné selektivní antioxidační účinky H₂. V těchto studiích se ukazuje, že H₂ má velmi dobré protizánětlivé

a cytoprotektivní účinky. Výrazně selektivně redukuje především cytotoxické hydroxylové radikály.

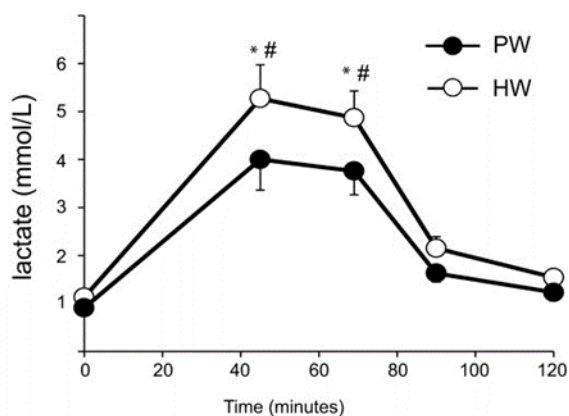
Ve sportovní medicíně má dále vodík rozpuštěný ve vodě pozitivní vliv na výkonnost svalů, snížení únavy a lepší toleranci vůči acidóze. Do současné doby však nebyl zjištěn přesný děj účinku a působení H₂. Velmi důležitá informace je, že v žádné ze studií zatím nebyl prokázán jakýkoliv vedlejší negativní účinek na zdraví. Částečně problematicky se jeví krátká doba účinku H₂ v organismu. Předpokládá se, že po 40' od aplikace HRW se účinek H₂ sníží až o 50 %. Dalším nezjištěným problémem zůstává přesná definice ideálního aplikovaného množství H₂ pro jeho maximální účinek (Ostojic, 2014).

Aoki et al. (2012) popisuje úlohu oxidačního stresu ve svalech během krátkých intenzivních cvičení. Dále dodává, že oxidační stres, který vzniká v důsledku svalové práce může ovlivňovat vývoj a stavy přetrénování, zvyšující se únavy a další procesy.

Ve své studii podrobil deset mužských fotbalových hráčů ve věku $20,9 \pm 1,3$ roku zátěžovým testům a odběru krve. Test spočíval v jízdě na ergometru na 75 % VO₂max po dobu 30 minut. Každý z hráčů byl vyšetřen dvakrát křížově a dvojitě zaslepeným způsobem. Sportovci dostávali HRW (0,9 ppm), nebo Placebo vodu po dobu jednoho týdne před testem a v den testu v objemu 1,5 litru rozdělené do třech 500 ml. dávek.

Při zkoumání bylo zjištěno signifikantní snížení pozátěžového laktátu v krvi sportovců (Obrázek 1) a také redukcí snižování svalových funkcí. Tyto výsledky mohou naznačovat potenciál pro používání HRW u sportovců a zároveň je třeba dalšího zkoumání v této oblasti.

Figure 1



Obrázek 1. Vývoj laktátu v průběhu zotavení. (Převzato Aoki et al., 2012)

Vysvětlivky: PW-Placebo voda, HW-hydrogenovaná voda.

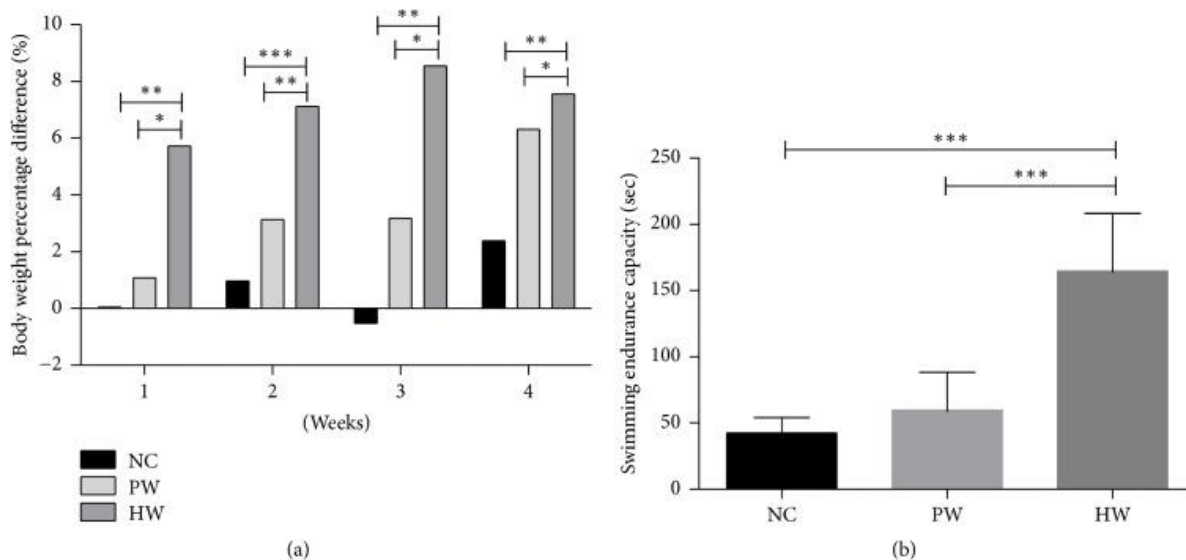
Drid et al. (2016) se v další studii zaměřili na zjištění účinků HRW na zotavení a množství laktátu při zatížení. Použili k tomu opět dvojitě zaslepenou, kříženou randomizovanou metodu s HRW a Placebem.

Testu se zúčastnilo 8 žen, judistek ve věku ($21,4 \pm 2,2$ let). HRW nebo Placebo dostávaly vždy 30 minut před testem, a to v množství 300 ml. Samotný test spočíval ve specifickém, intenzivním judo cvičení. Sportovkyním byla v průběhu testu kontrolována srdeční frekvence a krevní odběry proběhly 3 a 5 minut po ukončení testu.

Z výsledků vyplývá, že HRW významně ovlivnila pH krve a snížila laktát po cvičení ve srovnání s Placebem. Rozdíly v srdeční frekvenci byly nevýznamné.

Velmi zajímavou studii zaměřenou vzhledem k vlivu HRW na výkon vydal Ara et al. (2018). Byly zkoumány tři skupiny myši, přičemž první skupina byla kontrolní, bez nuceného cvičení. Druhou a třetí skupina myši byla vystavena tělesnému cvičení (tréninku) a byla jim podávána Placebo voda a HRW (3,5 ml. HRW = 0,8 ppm (myš 230 g). Tomuto procesu byly všechny skupiny myši vystaveny po dobu 4 týdnů. Ve výsledcích byla především sledována doba, jakou byly myši schopny plavat do vyčerpání.

Z výsledků jednoznačně vyplynulo, že 3. skupina myši, která byla aktivní a byla jí aplikována HRW, zlepšila více než dvojnásobně svoji vytrvalost oproti ostatním skupinám (Obrázek 2). Studie tedy jednoznačně dokazuje, že HRW může oddálit únavu a tím prodloužit výkon.



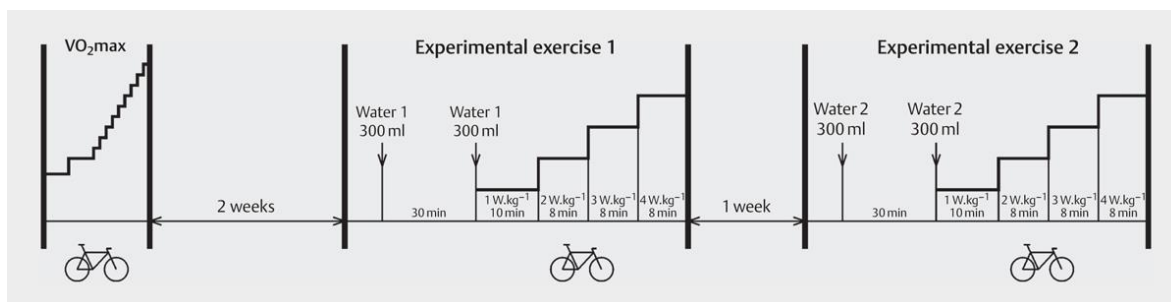
Obrázek 2. Hmotnost a výdrž plavání u myší. (Převzato Ara et al., 2018)

Vysvětlivky: NC-kontrolní skupina, PW-skupina s Placebem, HW-skupina s hydrogenovanou vodou.

Da Ponte et al. (2017) zkoumal v další studii vliv HRW na výkon při opakované stupňované zátěži do maxima. Testování se zúčastnilo 8 trénovaných cyklistů a probíhalo v deseti 3minutových intervalech. V každém z intervalů jeli cyklisté na trenažeru 90 s. při výkonu 40 % VO₂max, 60 s. 60 % VO₂max, 16 s. na maximum a 14 s. měli na zotavení před dalším intervalem. Po dobu 14 dnů před testováním bylo cyklistům podáváno 2 l. HRW a Placebo denně. HRW měla parametry 0,2-0,4 ppm s PH 9,8 a byla tedy použita výrazně alkalická voda oproti většině ostatních studií.

Výsledky testování ukazují na významný pokles výkonu od 6. intervalu u skupiny s Placebo vodou a zároveň u skupiny s HRW zůstaly hodnoty na podobné úrovni při všech intervalech. Bylo tedy prokázáno, že při použití HRW lze udržet stabilní výkon po celou dobu 30. minutového intervalového zatížení.

Botek et al. (2019) provedl randomizovanou dvojité zaslepenou placebem kontrolovanou křížovou studii, které se zúčastnilo 12 mužů ve věku $27,1 \pm 4,9$ let. Sportovci absolvovali test na cyklistickém trenažeru a konzumovali celkem 600 ml HRW, nebo Placebo vody s tím, že 300 ml vypili 30 minut před výkonem a 300 ml 1 minutu bezprostředně před výkonem. Ve výzkumu byly sledovány především hodnoty laktátu a subjektivního vnímání námahy při zatížení. Protokol testu vyjadřuje obrázek č. 3.



Obrázek 3. Protokol měření experimentu. (Převzato Botek et al., 2019)

Hodnoty laktátu a subjektivního vnímání námahy bylo měřeno v poslední minutě každého ze čtyř stupňů zatížení. Výsledky experimentu prokazují, že zejména při vyšších intenzitách zatížení byla detekována významně nižší úroveň laktátu a stejně tak se snížilo vnímání intenzity zatížení při použití HRW.

Mizuno et al. (2018) Ve své studii zkoumal, jaký může mít molekulární vodík vliv na kvalitu života. Je známé, že v důsledku tělesné aktivity dochází až k chronickému oxidačnímu stresu a zánětu. To v konečném důsledku vede ke zhoršeným funkcím centrálního nervového systému a zhoršuje tak kvalitu života. H_2 má silné antioxidační účinky a podávaný ve formě HRW může oxidační stres a záněty významně redukovat.

Ve výzkumu byla použita dvojitě zaslepená, křížová a Placebem kontrolovaná metoda, které se zúčastnilo 26 dobrovolníků (13 žen, 13 mužů; průměrný věk, $34,4 \pm 9,9$ let). Po dobu 4 týdnů užívaly obě skupiny 600 ml/d. Placebo vodu a HRW (0,8 – 1,2 ppm). Byly sledovány poměry změn centrálního nervového systému před a po testování. Výsledky naznačují, že HRW může posilovat QOL prostřednictvím účinků, které zvyšují funkce centrálního nervového systému zahrnující náladu, úzkost a funkci autonomního nervového systému.

Mikami et al. (2019) zkoumal účinky HRW na vytrvalostní kapacitu. Jako při většině předchozích studií byla použita dvojitě zaslepená placebem kontrolovaná metoda. Test byl rozdělen do dvou fází, kdy při první byly podávány vody 30 minut před výkonem na ergometru. U skupiny, které bylo aplikováno HRW bylo sledováno signifikantní snížení vizuální analogové škály. Po rozdělení do dvou podskupin se zjistilo, že skupina s vyššími hodnotami na stupnici VAS byla citlivější na účinek HRW. Druhá fáze testování byla prováděna podobně jako první fáze s rozdílem v čase aplikace HRW a Placeba. Ty byly aplikovány 10 minut před výkonem. Zde bylo sledováno významné zlepšení vytrvalosti a zmírnění vnímání únavy u sportovců, kteří použili HRW. Toto naznačují zvýšené hodnoty VO_{2max} , a nižší hodnoty na Borgově škále.

Závěrem studie je doporučení užívat HRW těsně před výkonem. Zlepšíte tak svoji vytrvalost a snížíte únavu.

Ostojic a Stojanovic (2014) poukazují na možné použití účinného a bezpečného alkalizačního činidla (HRW) při léčbě metabolické acidózy. To by mohlo být zvláště zajímavé u mladých sportovců, u kterých dochází ke zvýšení laktátu v krvi vyvolané zatížením. V této studii byla testována hypotéza, že denní perorální příjem 2 litrů vody bohaté na vodík (HRW) po dobu 14 dnů by ve srovnání s placebem zvýšil alkalitu arteriální krve na začátku a po cvičení.

Získané výsledky podporují hypotézu, že podávání HRW je bezpečné a může mít alkalizující účinek u mladých fyzicky aktivních mužů.

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce bylo hodnocení vlivu hydrogenované vody na vytrvalostní výkony v běhu do vrchu.

Dílčí cíle:

- 1) Provést analýzu subjektivně vnímané svalové bolesti před závodem a v průběhu 12hodinového zotavení;
- 2) Hodnocení subjektivního vnímání intenzity zatížení;
- 3) Analýza vztahu mezi dosaženým časem v závodě a vybranými somatickými a fyziologickými ukazateli;
- 4) Posouzení vlivu aktuální výkonnosti a efektu HRW na dosaženou výkonnost.

Hypotézy:

- 1) H0₁ Aplikace HRW nevede ke zvýšení výkonnosti při běhu do kopce;
- 2) H0₂ Není rozdíl ve velikosti subjektivně vnímaného zatížení při použití HRW a placeba.

Výzkumné otázky:

- 1) VO₁ Existuje vztah mezi aktuální běžeckou výkonností a pozitivním vlivem HRW na dosažený čas?
- 2) VO₂ K jakým změnám v hodnocení vnímané svalové bolesti dojde v průběhu 12hodinového zotavení při použití HRW a Placeba?
- 3) VO₃ Který ze sledovaných somatických parametrů nejtěsněji koreluje s dosaženým výkonem v běhu do vrchu?
- 4) VO₄ Který ze sledovaných fyziologických parametrů nejtěsněji koreluje s dosaženým výkonem v běhu do vrchu?

3 METODIKA PRÁCE

3.1 Charakteristika souboru

Testování se zúčastnilo celkem 16 dobrovolníků, které jsem oslovil několik týdnů před samotným zahájením výzkumu. Jednalo se vesměs o pravidelně běžající sportovce (muže). Soubor testovaných byl, co se týká věku, výkonnosti a běžeckých zkušeností velmi různorodý. Věk sportovců se pohyboval v rozmezí 15–44 let. Zkušenosti s pravidelným běžeckým tréninkem byly hlavním spojujícím prvkem skupiny a pohybovaly se ve velkém rozmezí 2-28 let.

Tabulka 4. Charakteristika skupiny testovaných sportovců na základě vstupního a funkčního vyšetření.

	Věk	VO ₂ max	Tělesný tuk	Hmotnost	Výška
Průměr ± SD	31,6 ± 8,6	57,2 ± 8,9 ml/kg/min	13,4 ± 4,4 %	71,5 ± 8,8 kg	177 ± 7,2 cm

Vysvětlivky: VO₂max-maximální spotřeba kyslíku, P/max-maximální výkon.

3.2 Metodologický postup měření experimentu

Experiment byl proveden formou randomizované, dvojité zaslepené a placebem kontrolované cross-over metody. Několik měsíců před samotným zahájením experimentu jsem si vytipoval a oslovil více než 20 sportovců, vhodných pro zařazení do testovací skupiny. Museli především splňovat základní kritérium, a to pravidelný běžecký trénink na jakékoliv výkonnostní úrovni. Z oslovených jsem vybral 16 sportovců, kteří souhlasili s účastí na experimentu a nejlépe splňovali žádanou podmínku. Všichni účastníci byli před zahájením testování seznámeni se všemi důležitými informacemi, které musí v průběhu testování dodržet. V další fázi bylo nejdůležitější vybrat trať, na které mělo testování probíhat. Jelikož byl experiment proveden ve venkovních terénních podmínkách a samotný průběh mohly výrazně ovlivnit povětrnostní podmínky, byl výběr umístění, délky a povrchu trati zásadní. Výběr hydrogenované vody od českého výrobce byl daný a navázaný na současně probíhající výzkumy na fakultě tělesné kultury UP v Olomouci. Jednalo se o vodu Aquastamina s parametry: 420 ml; pH = 7,8; H₂ = 0,9 ppm; ORP = -548 mV. Několik dní před zahájením experimentu byla všem účastníkům předána první sada s 5 vodami a podrobnými instrukcemi, jak se chovat před, při a po proběhnutí testovací (závodní) trati.

V instrukcích bylo uvedeno a sportovci museli dodržet:

- Týden před oběma testy stejný tréninkový režim jako před běžným závodem;
- Týden před oběma testy stejný stravovací a pitný režim s vynecháním veškeré doplňkové suplementace (kofein, kreatin a podobně);
- Stejný pitný režim HRW a to: 1. voda 24 h před testem, 2. voda 3 h před startem, 3. voda 2 h před startem a 4. voda 40 minut před startem. 5. voda byla sportovcem konzumována bezprostředně po doběhu;
- Voda musí být po otevření vypitá ihned a najednou;
- Sportovci při testu zaznamenávají dosažený čas a průměrnou SF pomocí monitorů SF. Čas byl dále zaznamenáván nezávisle na sportovcích, a to pomocí asistentů na startu a v cíli;
- Na oba testy použijte stejné oblečení a obuv.

Start probíhal samostatně, intervalově po 2 minutách. Startovní pořadí si sportovci sami vylosovali bezprostředně před startem a oba závody pak startovali ve stejném pořadí. Čas závodu si sportovci měřili na svých GPS přístrojích a přesnost měření byla dále zajištěna pomocí asistentů na startu a v cíli, kteří byli propojeni přes mobilní telefon a měřili vlastní časomírou. Dále dohlíželi na přesné starty podle startovní listiny a kontrolovali, zda závodníkům po odstartování běží časomíra na jejich přístrojích. Tato kontrola byla vyžadována asistentem po 10 metrech závodu, a to formou zvednutého závodníkovra prstu. V cíli pak byla vyžadována asistentem stejná kontrola stopnutí časomíry. Testování se skládalo ze dvou jednotlivých týden po sobě navazujících běhů do vrchu na distanci 4,24 km a převýšením 215 m. Z toho jednou absolvovalo 8 běžců trať s HRW a podruhé s placebo vodou. Dalších 8 běžců přesně naopak, nejdříve s placebo vodou a při druhém startu s hydrogenovanou vodou. HRW i placebo byly ve stejném obalu a byly označeny číslem 1 a 2. Při jejich distribuci si sportovci sami vybrali, které vody budou konzumovat v prvním a druhém testu. Bezprostředně před startem testů byla u všech sportovců zjišťována svalová únava pomocí VAS škály. Tato únava byla dále zjišťována v době zotavení po 10', 30', 4 h a 12 h. Dále bylo bezprostředně po doběhu zjišťováno subjektivní vnímání intenzity zatížení, a to pomocí Borgovi škály. Všechna zjištěná data byla po ukončení terénního testování zaznamenána a po doplnění dalších parametrů z funkčního vyšetření komplexně zpracována a vyhodnocena.

3.2.1 Borgova (RPE) škála

Pomocí Borgovi škály je hodnoceno vnímání námahy či intenzity pohybu. Borg (1985) uvádí, že člověk má vynikající schopnost vyhodnotit subjektivní pocity námahy a její úroveň. Pocity, které ovlivňují psychické procesy, poskytují jedinci důležitou informaci, která je určující pro vědomí nebezpečí, nebo klidového stavu. Vnímání námahy je v podstatě součástí chování, jenž využívá všechny zdroje informací, které mají významný vliv na vnímání pohybové aktivity, zdraví a z toho plynoucí adaptační změny.

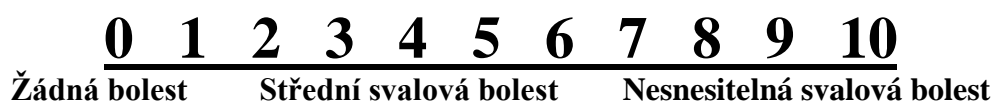
Škála intenzity zátěže je klasifikována rozmezím 6–20 bodů, kde nejnižší hodnoty znamenají velmi lehkou, lehkou intenzitu zatížení, a naopak nejvyšší hodnoty kde maximem je 20, znamenají intenzivní až maximální úsilí (Borg, 1985). Sportovci hodnotili subjektivní pocit námahy podle tabulky č. 3 bezprostředně po doběhu každého z testů.

Tabulka 5. Hodnocení vnímané námahy

BODOVÁ ŠKÁLA	POPIS INTENZITY
6-8	Velmi, velmi lehká
9-10	Velmi lehká
11-13	Lehká
14-16	Poněkud namáhavá
17-18	Namáhavá
19	Velmi namáhavá
20	Maximální

3.2.2 VAS škála

VAS vizuální analogová škála hodnocení svalové bolesti a únavy byla provedena u každého ze sportovců bezprostředně před zahájením obou terénních běžeckých testů, dále pak 10', 30', 4 h a 12 h po doběhu. Pokorná et al. (2013) označuje VAS jako často užívané a spolehlivé hodnocení pocitu svalové bolesti, které je detekováno pomocí přímky s body 0-10. Testování probíhalo označením místa na přímce, které nejlépe vystihuje aktuální subjektivní vnímání bolesti a únavy podle obrázku č. 1.



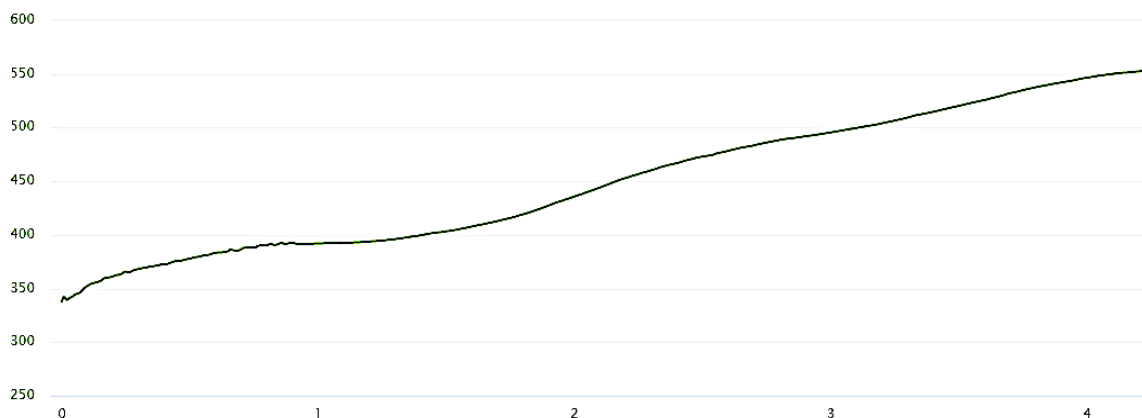
Obrázek 4. Škála svalové bolesti. (Pokorná et al., 2013)

3.2.3 Časové vymezení

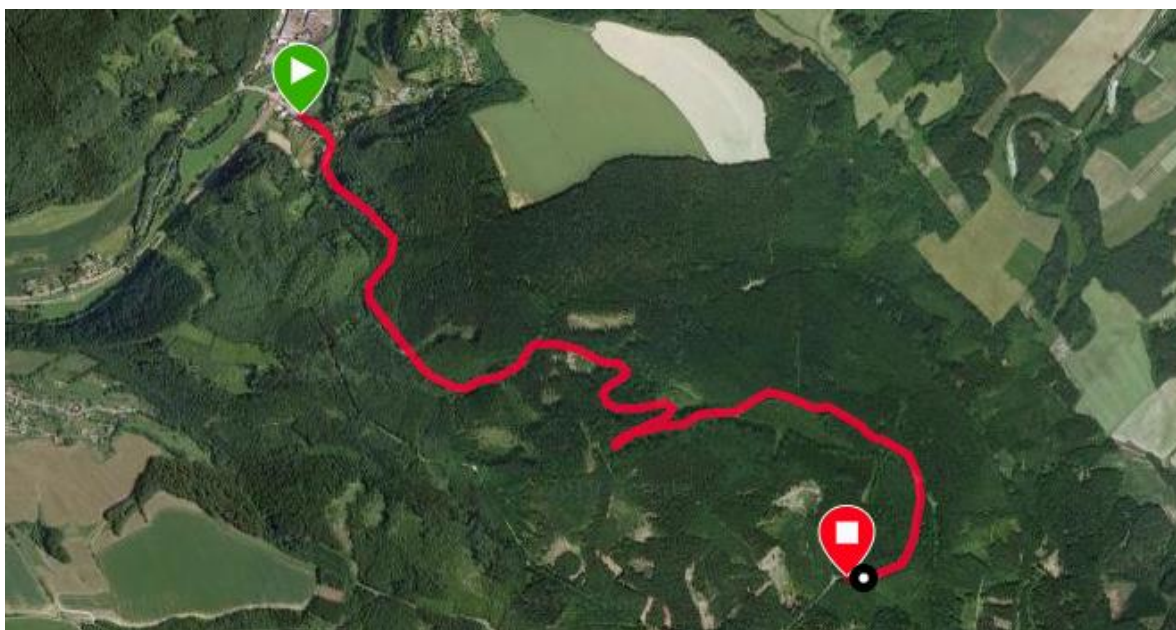
Časové rozložení jednotlivých úkonů jsem rozdělil do čtyř fází a bylo realizované v roce 2019. První fáze, která předcházela experimentu, byla v období mezi 1. lednem – 1. březnem. Skládala se ze složení podrobného scénáře experimentu, zajištění účastníků a pomocníků pro samotné testování včetně jejich podrobného seznámení s detaily a povinnostmi s tím spojených. Dále jsem řešil distribuci hydrogenovaných vod od dodavatele ke sportovcům, hledání a přípravu testovací trati. Stanovení termínu 1. i 2. testu bylo také součástí scénáře, neboť povětrnostní podmínky nemusely být v obou testech obdobné. Druhou fází bylo vstupní funkční vyšetření na FTK v Olomouci, kterého se všichni zúčastnění podrobili na přelomu března a dubna. Třetí fáze probíhala ve dnech 18. května a 25. května, kdy proběhl první a druhý testovací závod všech účastníků experimentu. Zde bylo potřeba zajistit především měřicí přístroje, značení trati a podklady, kam byly zapisovány všechny naměřené hodnoty. Čtvrtá fáze výzkumu se posléze skládala z podrobného zkoumání dat a interpretování výsledků

3.2.4 Parametry trati

Trat' pro experiment byla vybrána tak, aby se na ní při testu eliminovaly všechny vnější vlivy. Byl vybrán tvrdý asfaltový povrch a trat' byla před větrem po celé délce chráněna lesem. Start se nacházel v obci Lanšperk v nadmořské výšce 338 m a cíl na vrcholu Strážný v nadmořské výšce 553 m. Celková délka trati byla 4240 m a celkové převýšení činilo 215 m.



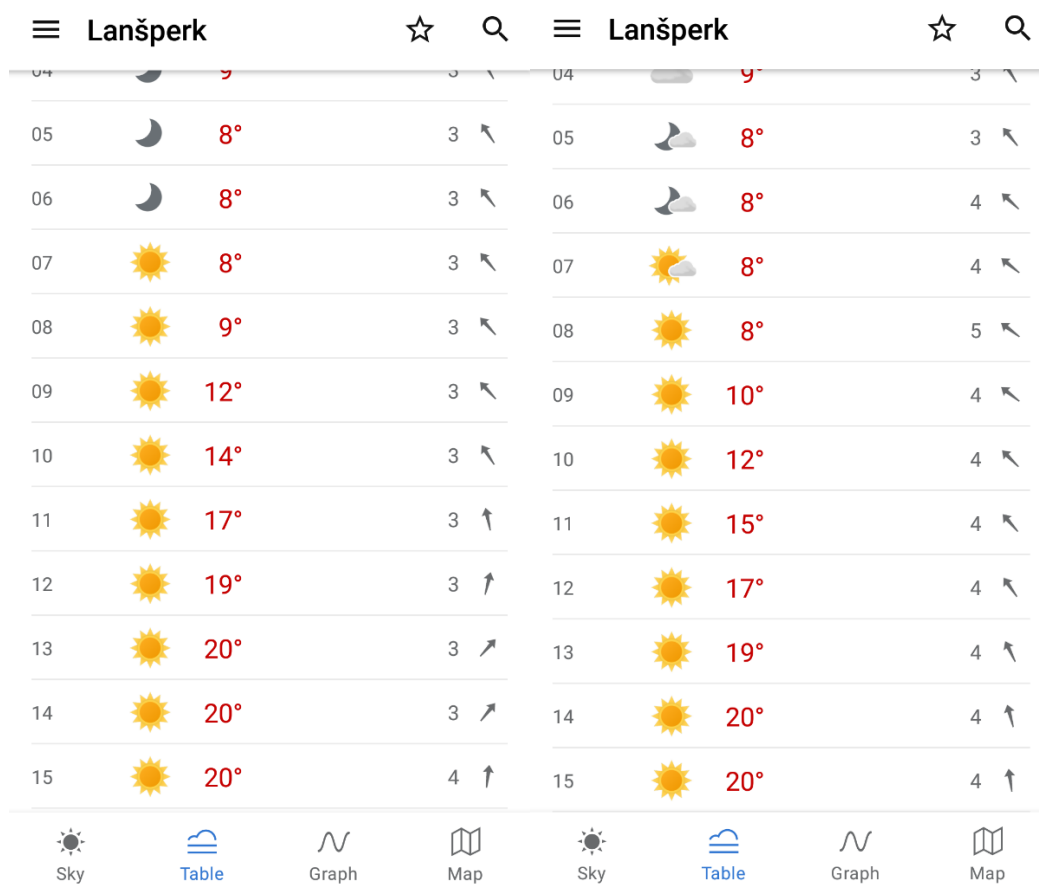
Obrázek 5. Profil testovací trati (záznam ze zařízení Forerunner 645 sportovce č. 12)



Obrázek 6. Mapa testovací trati (záznam ze zařízení Forerunner 645 sportovce č. 12)

3.2.5 Povětrnostní podmínky

Jak již bylo zmíněno, experiment probíhal v terénních podmínkách a jedním z důležitých parametrů bylo eliminovat rozdílné povětrnostní podmínky v obou testovacích dnech. Intervalový start se pohyboval mezi 15 h a 15:30 h. První den 18. 5. bylo polojasno, sucho s teplotou 20 stupňů a mírným jižním větrem do 4 m/s. Druhý den 25. 5. bylo polojasno, sucho s teplotou 20 stupňů a opět mírným jižním větrem do 4 m/s. Díky cross-over metodě testování sice nebylo nezbytné, aby byly podmínky naprosto shodné, ale přesto jsme měli v obou dnech štěstí a počasí se shodovalo. Tím byla zvýšena celková objektivita a srovnání testových časů v prvním i druhém dni.



Obrázek 7. Počasí ve dnech provedení experimentu 18.5. a 25.5. 2019. (www.yr.no)

3.2.6 Funkční vyšetření

Po uskutečnění terénního testování se sportovci podrobili vyšetření, které se skládalo z měření analýzy tělesného složení, vertikálního výskoku, spirometrii a v zátěžovém testu do vita maxima. Hlavními zjišťovanými parametry byly: výška, hmotnost, % tělesného tuku, FFM, VO₂max, SF max, maximální výkon (W/kg), SF klid, počet let pravidelného běhání. Dále pak byly stanoveny hodnoty vertikálního výskoku, aerobního a anaerobního prahu. Vyšetření se uskutečnila v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

3.2.7 Analýza tělesného složení

Analýza tělesného složení byla vykonána a vyhodnocována pomocí přístroje Tanita BC-418 MA (Tanita, Tokyo, Japan). Sportovci se postavili na přístroj a byli vystaveni slabému pronikání elektrického proudu, pomocí kterého přes chodidla a dlaně přístroj vyhodnocoval potřebná data. Těmi byli především hmotnost, % tělesného tuku a FFM (aktivní tělesná hmota).

3.2.8 Vertikální výskok

Test vertikálního výskoku určuje dynamickou sílu dolních končetin. Jedná se o výskok do výšky, který byl měřen pomocí dynamometrické desky HUR Force Platform (HUR, Tampere, Finland). Sportovci prováděli co možná nejvyšší výskok ve dvou variantách. Poprvé s pomocí horních končetin a podruhé měli ruce opřené v pase.

3.2.9 Zátěžový test do vita maxima

Hlavními zjišťovanými parametry zátěžového testu byly: $VO_2\max$, SF/\max , P/\max a dále úroveň aerobního, anaerobního prahu. Bezprostředně před zátěžovým testem byla provedena spirometrie pro zjištění vitální kapacity plic. Výsledky byly zpracovány v protokolu SVC + F/V. Následoval samotný stupňovaný běžecký test do maxima na přístroji Valiant Plus (Lode, Groningen, Netherlands). Úvodní rozběhání trvalo 3 minuty v tempu 8 km/h se sklonem 0 %, dále 1 minuta v tempu 8 km/h se sklonem 5 % a 1 minuta v tempu 10 km/h se sklonem 5 %. Hlavní zatížení začínalo na rychlosti 12 km/h se sklonem 5 %. Každou celou minutu se rychlost zvyšovala o 1 km/h se stávajícím 5 % sklonem až do rychlosti 16 km/h. Poté, již každou další minutu běhu zůstávala rychlost stejná a zvyšoval se sklon vždy o 2 % až do konce testu. Během testu bylo u sportovců průběžně analyzováno dýchání a výměna plynů pomocí přístroje BlueCherry (Geratherm Respiratory, Bad Kissinger, Germany) a dále byla monitorována SF pomocí sporttestrů Polar. Všechny údaje byly zaznamenány každých 30 sec. a zprůměrovány. V průběhu testu byla udržována okolní teplota pomocí klimatizačního systému na hodnotě 20–23 °C s relativní vlhkostí 30–60 %.

Dosažení maximálních hodnot bylo sledováno a vyhodnocováno podle všeobecně platných kritérií pro objektivní dosažení stavu maximálního vyčerpání. Hamar a Lipková (2001) uvádějí, že těmito kritérii jsou:

- Maximální srdeční frekvence (SF/\max);
- Při ukončení testu by se měla srdeční frekvence pohybovat minimálně na 85 % úrovně z věkově predikované maximální srdeční frekvence. ($SF\ 220 - \text{věk}$);
- Respirační kvocient (RQ);
- Hodnota RQ by měla být vyšší, než 1,10. U špičkově vytrvalostně trénovaných sportovců nemusí být této hodnoty dosahováno;
- Ventilační ekvivalent pro kyslík (V/VO_2);
- Hodnota (V/VO_2) by měla být vyšší než 35 l.

Dalšími kritérii pak mohou být:

- Vznik plató;
- V závěru testu do vita maxima by mělo i přes stále trvající zátěž dojít k setrvalém stavu, nebo k mírnému poklesu ve spotřebě kyslíku;
- Hladina laktátu, jako další ukazatel měřena nebyla.

3.3 Statistické zpracování

Data jsou prezentována jako aritmetický průměr \pm standardní odchylka (SD). Pro hodnocení efektu HRW v porovnání s placebem byl použit párový t-test. Pro hodnocení změn v proměnné VAS v průběhu zotavení v porovnání s hodnotou vstup byla použita jednofaktorová ANOVA s Fisherovými LSD testy. Pro hodnocení asociace dvou proměnných byl použit Pearsonův korelační koeficient. Hladina statistické významnosti byla $\alpha = 0,05$. Pro statistické zpracování byla použita aplikace STATISTICA verze 13.4 (Tibco Software, Palo Alto, USA).

4 Výsledky

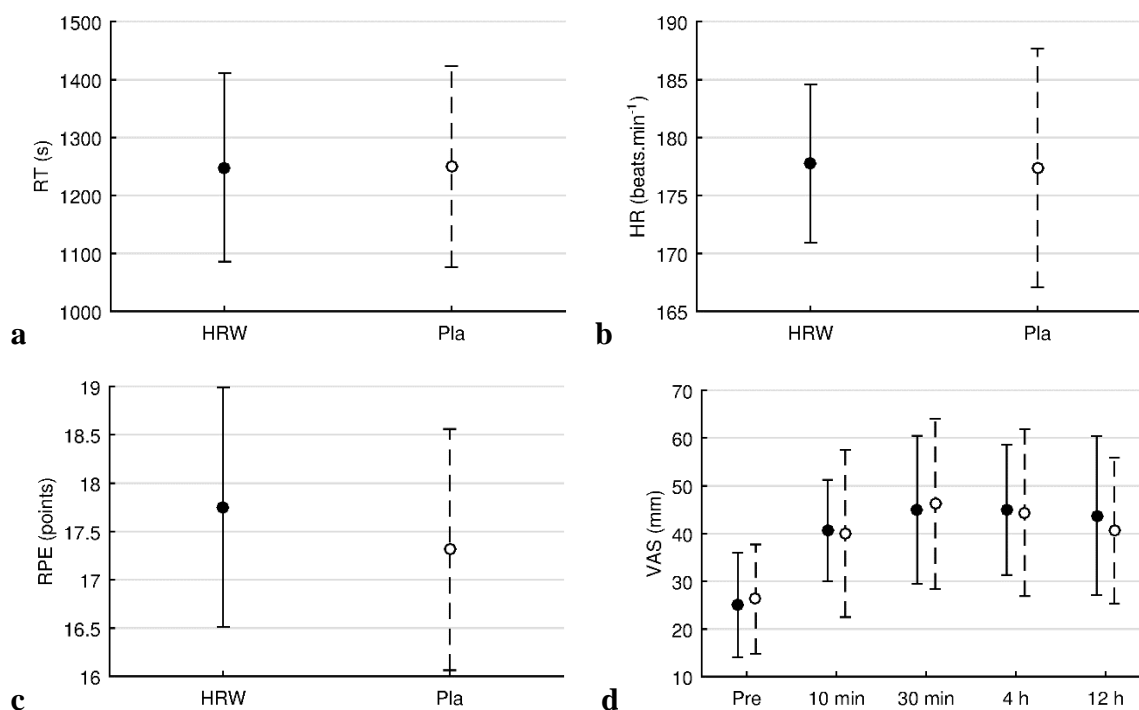
4.1 Hodnocení výsledků HRW vs. Placebo v závodě

Závodu se zúčastnilo 16 sportovců. Výsledky dosažené v závodě znázorňuje tabulka č. 5. Žádný ze sledovaných ukazatelů se při porovnání výsledků dosažených s HRW a placebem od sebe významně nelišil. Celkový čas závodníku dosažený s užíváním HRW byl 1249 ± 163 (s). Celkový čas závodníku dosažený při užití placeba byl 1250 ± 173 (s). Rozdíl mezi časy při užívání HRW a placeba činil -1 ± 20 (s). Průměrná srdeční frekvence naměřená s užitím HRW měla hodnotu 178 ± 7 (tepů/min) a při užití placeba 178 ± 10 (tepů/min). Rozdíl mezi tepy při užití HRW a placebo byl tedy minimální a činil 0 ± 6 (tepů/min). Náročnost zatížení byla obodována v závodě s užitím HRW $17,8 \pm 1,2$ (body) a při užití placeba $17,4 \pm 1,3$ (body). Rozdíl činil $0,4 \pm 1,3$ (bodů). V posledním porovnání sledovaných ukazatelů byla naměřena hodnota škály svalové bolesti s užitím HRW 40 ± 10 (mm) a s užitím placeba 40 ± 14 (mm). Rozdíl byl tedy opět minimální a činil 0 ± 15 (mm).

Tabulka 6. Vliv HRW vs. Placebo

	HRW Průměr \pm SD	Placebo Průměr \pm SD	Rozdíl HRW- Placebo Průměr \pm SD	P
Čas závodu (s)	1249 ± 163	1250 ± 173	-1 ± 20	0,768
SF (tepy/min)	178 ± 7	178 ± 10	0 ± 6	0,805
Borg (body)	$17,8 \pm 1,2$	$17,4 \pm 1,3$	$0,4 \pm 1,3$	0,203
VAS (mm)	40 ± 10	40 ± 14	0 ± 15	0,827

Vysvětlivky: HRW-hydrogenovaná voda, SD-směrodatná odchylka, $P \leq 0,05$ - je statisticky významné, SF-srdeční frekvence, VAS-vizuální analogová škála.



Graf 1. HRW vs. Placebo. Závodní časy (a), srdeční frekvence (b), vizuální analogová škála před výkonem (c), vizuální analogová škála po výkonu (d).

Vysvětlivky: RT-závodní čas, HR-srdeční frekvence, PRE-měření před, VAS-vizuální analogová škála.

4.2 Hodnocení výsledků svalové bolesti během zotavení

Po dobu 12 hodin přetrvávala hodnota VAS při použití HRW i Placeba signifikantně zvýšená oproti hodnotám PRE stanovenými před jednotlivými závody. Celkové průměrné hodnoty VAS se při použití HRW a Placeba nelišily.

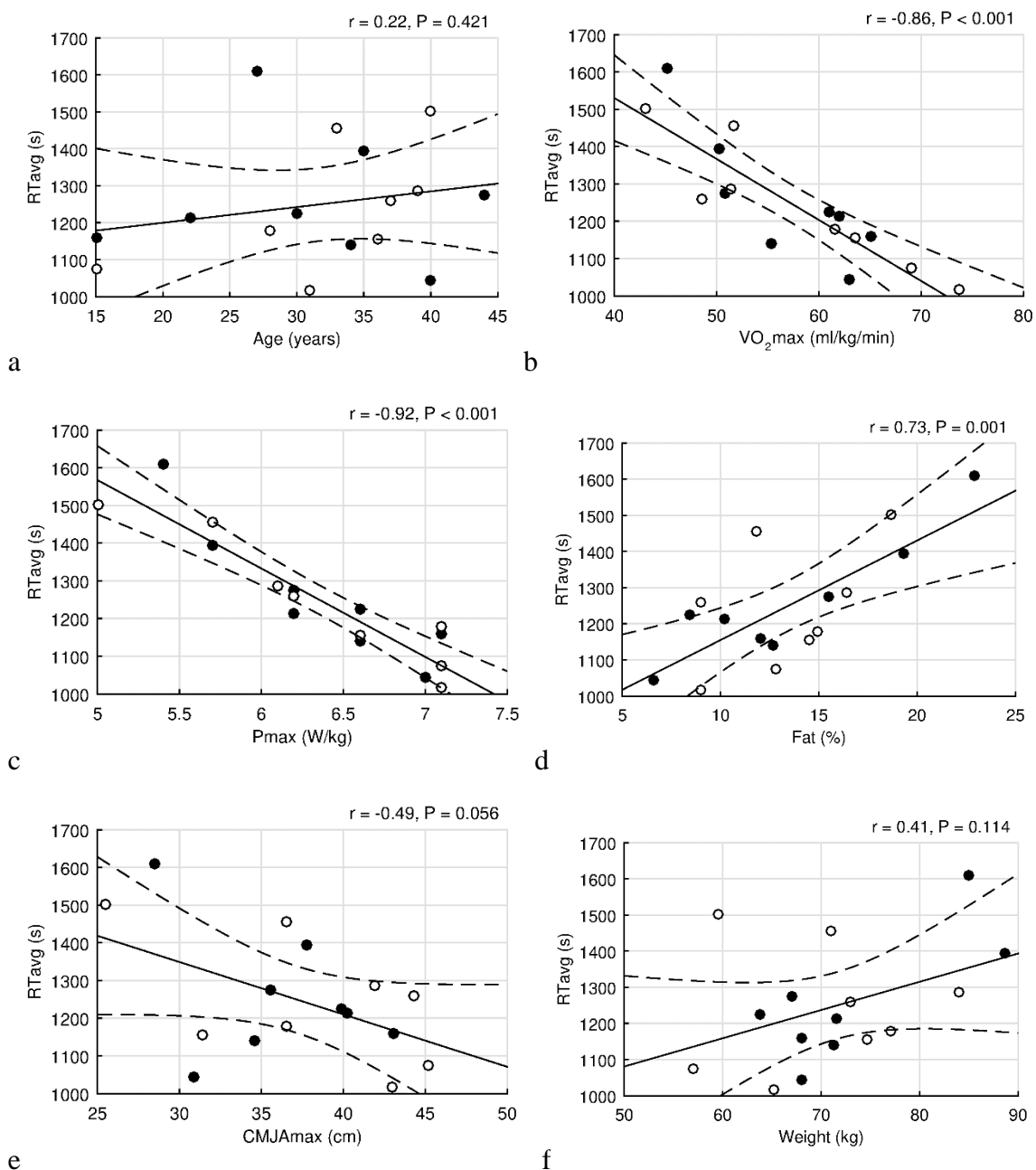
Tabulka 7. Dynamika VAS během zotavení

	Průměr ± SD	Rozdíl		
VAS PRE (mm)	26 ± 11			
VAS 10 min (mm)	40 ± 14	14 ± 15	<0,001	Porovnání 10 min versus PRE
VAS 30 min (mm)	46 ± 16	20 ± 15	<0,001	Porovnání 30 min versus PRE
VAS 4 h (mm)	45 ± 15	19 ± 15	<0,001	Porovnání 4 h versus PRE
VAS 12 h (mm)	42 ± 16	16 ± 15	<0,001	Porovnání 12 h versus PRE

Vysvětlivky: SD-směrodatná odchylka, VAS-vizuální analogová škála. VAS PRE-vizuální analogová škála měřená před startem.

4.3 Hodnocení determinant výkonnosti v běhu do vrchu

Vzájemný vztah mezi dosaženými časy v závodě a determinantami výkonnosti při běhu do vrchu znázorňuje (Graf 2). Statisticky významné korelace byly nalezeny mezi časem dosaženým v závodě a VO_{2max} , maximálním výkonem a tělesným tukem. Další tři ukazatelé, věk, vertikální výskok a hmotnost vztah s dosaženým výkonem v závodě neprokázali.



Graf 2. Věk vs. závodní čas (a), VO_{2max} vs. závodní čas (b), maximální výkon vs. závodní čas (c), tělesný tuk vs. závodní čas (c), CMJA/max vs. závodní čas (d), tělesná hmotnost vs. závodní čas (f).

Vysvětlivky: RT avg (s)-průměrný čas závodu měřený v sekundách, VO_{2max} -maximální spotřeba kyslíku, P_{max} -maximální výkon, CMJA/max-maximální vertikální výskok.

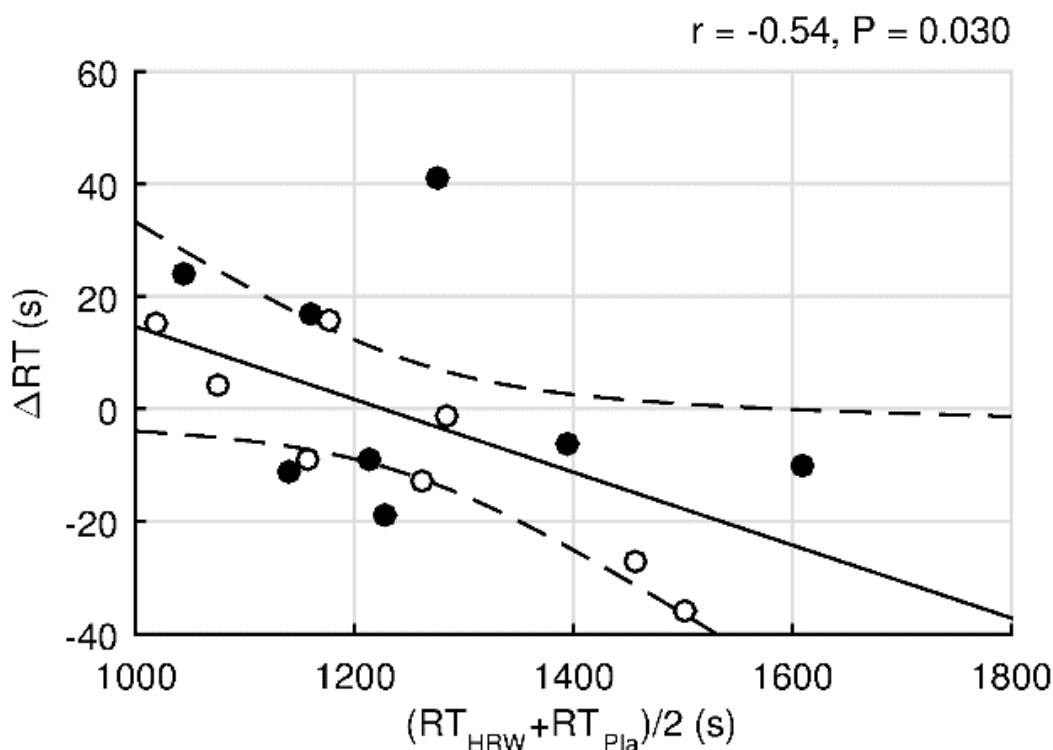
4.4 Korelace efektu HRW s běžeckou výkonností.

Při korelační analýze jsme zjistili, že čím lepšího času v závodě bylo dosaženo, tím byl vliv HRW na výkon nižší. Sportovce jsme tedy rozdělili do dvou skupin, přičemž první skupina byla složena ze čtyř běžců s nejpomalejším závodním časem ($RT = 1490 \pm 91$ s). U běžců této nejslabší výkonnosti bylo při použití HRW zjištěné významné zlepšení RT (-20 ± 14) a zvýšení HR (6 ± 7). U druhé skupiny složené ze čtyř nejrychlejších běžců ($RT = 1069 \pm 53$ s) nebyl zjištěn pozitivní efekt HRW na RT (8 ± 15) ani na HR (0 ± 2).

Tabulka 8. Porovnání nejrychlejší a nejpomalejší skupiny.

Skupina	RT (s) Průměr \pm SD	HRW vs. Placebo Průměr \pm SD	HR (tepy za minutu) Průměr \pm SD
4. Nejrychlejší	1069 ± 53	8 ± 15	0 ± 2
4. Nejpomalejší	1490 ± 91	-20 ± 14	6 ± 7

Vysvětlivky: RT-závodní čas, SD-směrodatná odchylka, HRW-hydrogenovaná voda, HR-srdeční frekvence.



Graf 3. Vztah mezi vlivem HRW a dosaženým výkonem při běhu do vrchu.

Vysvětlivky: $P \leq 0,05$ - je statisticky významné, RT-závodní čas, RT HRW-závodní čas s hydrogenovanou vodou, RT Pla-závodní čas s Placebem.

4.5 Vyjádření k hypotézám

H01: Aplikace HRW nevede ke zvýšení výkonnosti při běhu do kopce.

Z naměřených hodnot vyplývá, že vliv HRW na výkon a průměrné dosažené časy všech 16 sportovců nebyl prokázán.

Z tohoto důvodu hypotézu H01 přijímám.

H02: Není rozdíl ve velikosti subjektivně vnímaného zatížení při použití HRW a Placeba.

Rozdíl ve vnímání velikosti zatížení při použití HRW a Placeba se od sebe v průměrných hodnotách všech 16 sportovců významně nelišil.

Z tohoto důvodu hypotézu H02 přijímám.

5 Diskuse

5.1 Výsledky dosažené v experimentu

V této diplomové práci jsem se zaměřil na efekt působení molekulárního vodíku podávaného formou HRW na výkon v běhu do vrchu. Samotného experimentu se zúčastnilo 16 sportovců a probíhal dvojitě zaslepenou, křížovou a Placebem kontrolovanou metodou. Takováto forma terénního testování s aktivními sportovci je v této oblasti zkoumání jednou z prvních doposud provedených. Běh do vrchu je velice náročná silově vytrvalostní disciplína. Závodů mají běžně délku trvání v rozmezí několika desítek minut, až po několik hodin. Ve studii byla zvolena trať, kterou sportovci zaběhli v rozmezí 1010 s. až 1605 s. Dovalil et al. (2005) charakterizuje tuto dobu trvání výkonu jako středně až dlouhodobý vytrvalostní výkon s převážně aerobním základem. V přípravě se nejčastěji zařazují souvislé tréninkové metody a stimuluje se i laktátový systém. Aerobní procesy však stále zůstávají rozhodujícími. Vzhledem k dosaženým hodnotám se zdá, že při takto dlouho trvající maximální zátěži se do výkonu anaerobní procesy opravdu výrazně promítají, což odpovídá dosaženým průměrným hodnotám srdeční frekvence. Z hlediska silové vytrvalosti je vytrvalostní výkon navíc ovlivněn velikostí odporu, což je v našem případě sklon kopce. To může specificky ovlivňovat techniku běhu a dosažené časy v závodě.

Hlavním cílem diplomové práce bylo zjistit, zda má HRW podávaná před výkonem v množství 1680 ml. vliv na vytrvalostní výkon, tedy na dosažené časy v závodě. Z výsledků lze konstatovat, že závodní časy (s.) ve smyslu průměrných hodnot všech závodníků se od sebe po použití HRW (1249 ± 163) a Placeba (1250 ± 173) významně nelišily a vliv na vytrvalostní výkon tedy nebyl prokázán. Při testování byla aplikace HRW (Placeba) rozdělena do čtyř 420 ml dávek s tím, že poslední sportovci užili 40 minut před výkonem. Zůstává otázkou, zda by užívání HRW v jiném množství a časech příjmu nemělo na samotný výkon lepší efekt.

Ostojic (2015) vidí jako problematickou krátkou dobu účinku H₂ v organismu. Předpokládá se, že po 40 minutách od aplikace HRW se účinek H₂ sníží až o 50 %. Dále uvádí, že dosud nebylo v žádné ze studií zjištěno množství ideálně aplikovaného H₂ pro jeho maximální účinek.

ARA et al. (2018) zkoumal účinky HRW na vytrvalostní výkon u tří skupin myší. Jedna skupina byla kontrolní, druhá skupina cvičila a užívala Placebo vodu a třetí skupina myší cvičila a užívala HRW po dobu 4 týdnů. Rozdíl ve výkonu myší, které plavaly

do vyčerpání byl jednoznačný. Myši ze třetí skupiny vydrželi plavat více než dvojnásobně delší dobu oproti první a druhé skupině. Na rozdíl od našeho testování tato studie tedy jednoznačně dokazuje, že HRW může oddálit únavu a tím prodloužit výkon. Na druhou stranu nevypovídá nic o tom, zda se u myši zvýšil výkon co do intenzity plavání, což ale nebylo cílem zkoumání.

SF se v průměrných hodnotách u všech závodníků nelišila. To se zdá být v kontextu nevýznamných průměrných změn závodních časů jako logické. SF jsme sledovali zejména pro kontrolu, ale také jsme chtěli zjistit, jak se mohou projevit změny v SF při použití HRW a Placeba. Při dalším rozboru a porovnání skupin 4 nejrychlejších a 4 nejpomalejších závodníků jsme zjistili, že se při užití HRW zvýšila průměrná SF u skupiny nejpomalejších závodníků o 3,8 %. Vnímaná intenzita zatížení přitom zůstávala stejná. Toto zjištění by mohlo naznačovat, že sportovci mohou být schopni absolvovat po užití HRW závod vyšší intenzitou při stejném vnímání intenzity zatížení. S těmito zjištěními můžeme porovnat experiment provedený Drid et al. (2016), jenž použil dvojité zaslepenou, kříženou randomizovanou metodu s 300 ml HRW, nebo Placeba užitými 30 min před zatížením. Test spočíval ve specifickém, intenzivním judo cvičení. Sportovkyním byla v průběhu testu kontrolována srdeční frekvence a změny v hodnotách SF byly v případě užití HRW i Placeba bezvýznamné, stejně jako v průměrných hodnotách všech našich sportovců. Otázkou je, jaké by byly rozdíly v SF, v případě rozdělení sportovkyň podle výkonnosti.

Vnímání intenzity zatížení je velice specifické a závislé na psychice a prahu bolesti každého sportovce. Pro způsob, jakým toto vnímání vyjádřit jsme použili Borgovu škálu, která hodnotí vnímání námahy v číselném vyjádření od 6. do 20. Z výsledků našeho experimentu se v průměru hodnoty opět významně nelišily. Průměrné hodnoty Borgovi škály byly při užití Placeba ($17,4 \pm 1,3$) a HRW ($17,8 \pm 1,2$). Tato hodnota byla na Borgově škále vyjádřena slovy jako namáhavá. Pro méně zkušené amatérské sportovce mohlo být složitější odhadnout přesně subjektivní pocit vnímané intenzity námahy.

V jiných studiích se zjištění v tomto ohledu rozcházejí. Například Botek et al. (2018) při svém experimentu zjistili významné snížení vnímání intenzity zatížení při použití HRW. Ta byla ovšem testovaným jinak podávána. Před intenzivním výkonem na cyklistickém trenažéru dostávali sportovci 300 ml 30 minut a 300 ml 1 minutu před výkonem. Lze se domnívat, že HRW užívaná bezprostředně před výkonem může pozitivně ovlivnit subjektivní pocity vnímání zatížení.

5.2 Analýza výsledků svalové bolesti

Hodnocení svalové bolesti a únavy bylo prováděno pomocí VAS bolesti. VAS měla podobu úsečky s číselníkem od 1 (žádná únava) až po 10 (nesnesitelná únava, bolest). Dotaz byl kladen na celkovou únavu a bolestivost dolních končetin bezprostředně před startem a dále v období zotavení 10 minut až 12 hodin po ukončení závodu. Ve výsledcích byly porovnávány změny v subjektivním vnímání svalové bolesti mezi HRW a Placebem.

Ačkoli je HRW spojována s protí únavovými účinky v mnoha studiích, z hlediska průměrných skupinových hodnot jsme nezjistili signifikantní pozitivní účinek na úroveň svalové bolesti a únavy při užívání HRW před zatížením. Při zkoumání dalšího parametru, a to stavu svalové únavy v průběhu zotavení, zůstávala VAS v případě užití HRW i Placeba signifikantně zvýšená v celém průběhu zotavení oproti VAS PRE. Nutno dodat, že bezprostředně po doběhnutí závodu sportovci vypili dalších 420 ml HRW nebo Placebo vody ve shodě s tím, co konzumovali před startem. Zde jsme očekávali výraznější zmírnění vnímané únavy při užívání HRW. V další případné práci na toto téma by bylo pro výraznější projevení únavy vhodné zvolit delší závodní trať. To je ale z hlediska terénního testování a zachování stejných parametrů velmi obtížné. Lépe se jeví aplikovat metodu opakovaného úsilí. To by znamenalo, aby danou trať absolvovali běžci 2 x, či 3 x po sobě v rámci jednoho testování.

Ve studii od Aoki et al. (2012) se sportovci podrobili opakovanému intenzivnímu cvičení, které spočívalo v jízdě na ergometru na 75 % VO₂max po dobu 30 minut. V den testu konzumovali celkem 1500 ml HRW (Placeba) rozložených do tří dávek. Po užití HRW bylo prokázáno nejen zjevné snížení zátěžového a pozátěžového laktátu v krvi, ale zejména redukuje snižování svalových funkcí. K podobným závěrům došel také Da Ponte et al. (2017), který zkoumal vliv HRW na výkon při opakované stupňované zátěži do maxima. Zde se sportovci podrobili deseti po sobě jdoucím intervalům do maxima, a zatímco ve skupině užívající Placebo docházelo k po 6. intervalu k výraznějšímu poklesu výkonu, tak skupina užívající HRW dokázala odolávat únavě při stejných hodnotách výkonu po dobu všech deseti intervalů.

5.3 Laboratorní determinanty výkonu v běhu do vrchu

Z hlediska determinant, které mohou ovlivňovat vytrvalostní výkon, jsme sledovali 6 ukazatelů. Ve třech ukazatelích, kterými byly věk, hmotnost a výška vertikálního výskoku, byla korelace ve vztahu k závodnímu času bezvýznamná. U dalších třech ukazatelů byla naopak jejich podmíněnost ve vztahu k vytrvalostnímu výkonu v závodě

velmi vysoká s hodnotami ($P \leq 0,001$). Těmito ukazateli byly maximální výkon a maximální spotřeba kyslíku. Z hlediska somatických parametrů % tělesného tuku. V případě maximálního výkonu a VO_{2max} byla pak asociace vzhledem k závodním časům nejvyšší, což bylo očekávané a podle předpokladů. Tyto výsledky lze porovnat se studií Mertová et al. (2016), která popisuje souvislost mezi výslednými časy v horském maratonu a některými fyziologickými parametry. Statisticky významnou negativní korelaci našla mezi maximálním výkonem a výsledným časem ($r = -0.70$, $p = 0,023$). Naopak, na rozdíl od našeho výsledku, byly hodnoty VO_{2max} ($r = -0.61$, $p = 0.062$) statisticky nevýznamné. Autoři dále zmiňují, že tuto skutečnost mohl ovlivnit nižší počet účastníků (13). Podle mého názoru ovlivnila statistickou významnost VO_{2max} především délka trvání závodu, která byla až 5násobně delší než v našem testování. Čím je závod delší, tím se může stávat hodnota VO_{2max} v porovnání s vytrvalostním výkonem méně podstatnou. Hodnoty VO_{2max} sportovců v našem testování se pohybovaly mezi 43 ml/kg/min. a 73,7 ml/kg/min. a při porovnání s časem dosaženým v závodě ($r = -0.86$, $p < 0.001$) byly statisticky významné stejně jako hodnoty maximálního výkonu ($r = -0.92$, $p < 0.001$). To, že rozdíly a korelace ukazatelů se závodem v běhu do vrchu mohou být výrazně ovlivněny trénovaností jednotlivých sportovců, je nutné brát v potaz stejně jako fakt, že z pohledu literatury je VO_{2max} významným, ale spíše prediktivním ukazatelem vytrvalostních schopností sportovců (Koop a Rutberg, 2018; Noakes, 2001). Lehnert et al. (2014) dále zmiňuje, že maximální aerobní výkon lze speciálním tréninkem významně zlepšit, přičemž v krajních případech dokonce až o 50 % a nejlepší vytrvalostní sportovci mohou dosahovat hodnot až 80 ml/kg/min.

Mírně překvapující byla skutečnost, že výraznější vliv na vytrvalostní výkon v závodě měl podíl tělesného tuku oproti tělesné hmotnosti. To si lze vysvětlit především silovou náročností a převýšením závodní tratě, kterou jsou schopni dobře zvládnout i těžší, ale lépe silově vybavení běžci.

5.4 Závislost výkonnosti sportovců na účincích HRW

Ačkoliv se nepodařilo zjistit a prokázat efekt HRW v celkových průměrných hodnotách všech závodníků, našli jsme významnou korelaci ($r = -.54$, $p = 0,030$) v závislosti na výkonnosti sportovců, kteří se studie zúčastnili. Další studie se stejnou metodikou výzkumu, ve kterých by byla publikovaná, či prokázaná závislost efektu HRW na výkonnosti sportovců prozatím chybí. Proto je v tomto ohledu výzvou se touto skutečností zabývat hlouběji.

Při zpracování výsledků jsme rozdělili sportovce na dvě skupiny podle zaběhnutých závodních časů. V první skupině byli 4 nejrychlejší závodníci ($RT = 1069 \pm 53$ s) a ve druhé skupině naopak 4 nejpomalejší závodníci ($RT = 1490 \pm 91$ s). Skupina čtyř nejrychlejších závodníků nevykazovala žádné signifikantní změny v závodních časech ani srdeční frekvenci RT (8 ± 15), HR (0 ± 2) v porovnání výkonu mezi HRW a Placebem. Naopak skupina se čtyřmi nejpomalejšími závodníky se v závodě, kde užívali HRW v průměru výrazně zlepšila RT (-20 ± 14) a zároveň se u této skupiny zvýšila srdeční frekvence o 3,8 %, HR (6 ± 7). Z výsledku tedy vyplývá, že méně zdatní sportovci by mohli být více citliví na efekt HRW při výkonu.

Tyto zjištění lze alespoň částečně porovnat s jednou z mála studií provedenou Mikami et al. (2019), který testoval sportovce na cyklistickém trenažéru. Byla použita dvojitě zaslepená, placebem kontrolovaná metoda. 30 minut před výkonem sportovci užívali HRW, nebo placebo vodu. U skupiny, které bylo aplikováno HRW bylo sledováno signifikantní snížení vizuální analogové škály. Po rozdělení do dvou podskupin se zjistilo, že skupina s vyššími hodnotami na stupnici VAS byla citlivější na účinek HRW. V případě našeho testování jsme však významné změny ve vnímání svalové bolesti nezaznamenali.

Podle mého názoru jsou zjištění, které mohou predikovat významnější vliv HRW na vytrvalostní výkon méně zdatných sportovců, velmi zajímavé. Zůstává však otázkou, zdali tyto efekty přinesou amatérským sportovcům větší benefity, než pravidelný a dobře strukturovaný sportovní trénink. Z hlediska sportovního výkonu by bylo významnější zvýšení výkonnosti takzvané špičky ledovce, tedy těch nejzdatnějších sportovců, u kterých je již maximální sportovní trénink realizován. Zde jsme však efekt HRW na zvýšení výkonu nezaznamenali.

Z hlediska limitů práce by bylo prospěšné doplnit některé z dalších zjišťovaných parametrů, především pak odběry laktátu ihned po dokončení závodu. Dále by se mohlo uvažovat o prodloužení testovací trati, nebo ještě lépe o 2–3 opakováních testovací trati po sobě s postupným doplňováním HRW. V ideálním případě by bylo vhodné i zvýšení počtu testovaných sportovců.

Otázkou zůstává, kdy a kolik HRW před vytrvalostním výkonem užívat. Dosud v této oblasti neexistuje přesný návod. Podle odezvy sportovců se zdá, že konzumovat 1680 ml vody před startem s tím, že 420 ml museli vypít najednou 30–40 minut před výkonem pro ně bylo příliš zatěžující. Důležitým faktem je, že u HRW doposud nebyly zjištěny žádné nežádoucí účinky na zdraví, a to v jakémkoliv užitém množství.

Výzkum efektu molekulárního vodíku v oblasti sportu je v podstatě v začátcích a věřím, že jsem touto prací přispěl a pomohl ve zkoumání dalším autorům.

Závěry

Cílem práce bylo zjistit, jakým způsobem může HRW ovlivňovat vytrvalostní výkon, regeneraci a dále pak jakou roli může mít v efektu HRW samotná výkonost sportovců v disciplíně běh do vrchu. Z výsledků vyplývá, že z celkových průměrných hodnot dosažených v závodě nebyl prokázán významný pozitivní efekt HRW na výkon. Stejný nevýznamný výsledek byl zaznamenán i ve vztahu hodnocení svalové únavy v době 12hodinového zotavení. Významná asociace však byla prokázána mezi vlivem HRW a sportovní výkonosti, kde sportovci s nižším výkonem po užívání HRW v závodě výrazně zlepšili na rozdíl od nejrychlejších závodníků, u kterých byl efekt H2 nejasný. Z hodnocených parametrů byly ve vztahu k výkonu v závodě nejvíce korelující maximální výkon, VO₂max a % tělesného tuku.

Souhrn

Molekulární vodík je označován za velmi účinný selektivní antioxidant. Ve sportovním prostředí se ve formě HRW využívá pro své možné účinky na oddálení únavy a zvýšení vytrvalostního výkonu. Cílem našeho testování bylo zjistit, jakým způsobem může ovlivnit užívání HRW vytrvalostní výkon v náročné atletické disciplíně běh do vrchu. Experiment byl proveden formou randomizované, dvojité zaslepené a placebem kontrolované křížové metody.

Samotného testování se zúčastnilo 16 pravidelně běhajících sportovců mužů ve věku $31,6 \pm 8,6$ roků, hmotnost $71,5 \pm 8,8$ kg, výška $177 \pm 7,2$ cm, tělesný tuk $13,4 \pm 4,4$ %, VO_{2max} $57,2 \pm 8,9$ ml/kg/min. Sportovci se nejprve podrobili vstupnímu funkčnímu vyšetření pro stanovení jejich somatických a fyziologických parametrů. Následovalo testování na trati běhu do vrchu s parametry 4,24 km + 215m. Trať byla každým sportovcem absolvována maximální možnou intenzitou 2 x v rozmezí 1. týdne, a to jednou s Placebem a jednou s HRW. V době 24 h–40 min. před závody sportovci užili ve 4 dávkách celkem 1680 ml HRW (Placeba). Další 420 ml pak užili ihned po doběhu.

Z výsledků vyplývá, že závodní časy (s.) ve smyslu průměrných hodnot všech závodníků se od sebe po použití HRW (1249 ± 163) a Placeba (1250 ± 173) významně nelišily a v tomto ohledu nebyl prokázán vliv na vytrvalostní výkon. Svalová únava a bolest v průběhu 10 minut až 12hodinového zotavení zůstávala oproti předstartovní únavě signifikantně zvýšená. Celkový rozdíl mezi Placebem (40 ± 14) a HRW (40 ± 10) však nebyl významný (0 ± 15). Stejně nevýznamné se zdají i změny průměrných hodnot srdeční frekvence a vnímání intenzity zatížení, které bylo zjišťováno ihned po doběhu pomocí Borgovy škály na stupnici od 6 do 20. Významná korelace ($r = -0,54$) byla nalezena mezi závodními časy a výkonností sportovců. Čím nižší výkon sportovci v závodě podali, tím se účinek HRW zvyšoval. Toto zjištění naznačuje významnou závislost účinku HRW na sportovní výkonnosti. Po rozdělení závodníků do dvou skupin podle výkonnosti, bylo u nejpomalejší skupiny zjištěno významné zlepšení závodních časů po užívání HRW (-20 ± 14) a zvýšení průměrné srdeční frekvence o 3,8 %. U skupiny nejrychlejších sportovců nebyly zjištěny významné změny.

Zkoumání vlivu molekulárního vodíku na sportovní výkon je v podstatě na začátku a k objasnění mnoha otázek je potřeba dalšího bádání. Jednou z důležitých otázek může například být v jakém množství a kdy ideálně aplikovat HRW před, při a po výkonu. V naší studii se nepodařilo prokázat významný vliv užívání HRW na sportovní vytrvalostní

výkon v průměrných skupinových hodnotách. Na druhou stranu jsme našli významnou souvislost mezi účinky HRW a sportovní výkonností atletů.

Summary

Molecular hydrogen is marked as a very effective selective antioxidant. In the sporting environment, is used in the form of HRW for a possible effect on delaying fatigue and increasing endurance performance. The aim of our testing was to find out how the use of HRW can influence the endurance performance in an athletic discipline mountain running. The experiment was performed in the form of a randomized, double-blind and placebo-controlled crossover method.

The testing was attended by 16 regularly running male athletes aged 31.6 ± 8.6 years, weight 71.5 ± 8.8 kg, height 177 ± 7.2 cm, body fat 13.4 ± 4.4 %, $VO_2\max$ 57.2 ± 8.9 ml / kg / min. Athletes first submit initial functional examination to determine their somatic and physiological parameters. After that followed by testing on a 4.24 km + 215 m uphill track. The track was completed with the maximum possible intensity 2 times within the one week, once with Placebo and once with HRW. 24 h–40 min. before the races, the athletes used a total of 1680 ml HRW (Placebo) in 4 doses. A further 420 ml was taken immediately after the run.

The results show that race times (s.) in terms of the average values of all competitors did not significantly differ after HRW (1249 ± 163) and Placebo (1250 ± 173) and in this respect, there was no evidence of an effect on endurance performance. Muscle fatigue and pain during the 10minute to 12hour recovery remained significantly increased compared to pre-start fatigue. However, the overall difference between Placebo (40 ± 14) and HRW (40 ± 10) was not significant (0 ± 15). Equally insignificant are the changes in mean heart rate and load intensity perceptions, which were determined immediately after the run-off using the Borg scale on a 6 to 20. A significant correlation ($r = -0.54$) was found between race times and athletes' performance. The lower the performance of the athletes in the race, the greater the effect of HRW. This finding indicates a significant dependence of the HRW effect on sport performance. After dividing the competitors into two groups according to performance, the slowest group showed a significant improvement in race times after use of HRW (-20 ± 14) and an average heart rate increase of 3.8 %. No significant changes were found in the group of fastest athletes.

Investigating the influence of molecular hydrogen on sports performance is basically beginning, and further research is needed to clarify many issues. For example, one of the important questions may be how much and when to apply HRW ideally before, during and after exercise. In our study, we did not demonstrate a significant effect of HRW

use on sports endurance performance in average group values. At the other hand, we found a significant correlation between the effects of HRW and athletic performance.

Referenční seznam

- Aoki, K., Nakao, A., Adachi, T., Matsui, Y., & Miyakawa, S. (2012). Pilot study: Effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Medical Gas Research*, 2(12). doi: 10.1186/2045-9912-2-12.
- Ara, J., Fadriquela, A., Ahmed, M. F., Bajgai, J., Sajo, M. E., Lee, S. P., Kim, T. S... & Lee, K.J. (2018). Hydrogen Water Drinking Exerts Antifatigue Effects in Chronic Forced Swimming Mice via Antioxidative and Anti-Inflammatory Activities. *BioMed Research International*. doi: 10.1155/2018/2571269.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine Open*. 1(1), 8. doi: 10.1186/s40798-015-0007-y.
- Borg, G. (1985). *An introduction to Borg's RPE-scale*. Ithaca, NY: Movement Publications. Retrieved 16. 8. 2019 from World Wide Web: <https://coachsci.sdsu.edu/csa/vol15/borg.htm>.
- Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Faina, M., Colle, R., Dal Monte, A., Latteri, F... & G., Saibene, F. (1986). The relationship between the reuse of elastic energy and the energetic cost of running. *Biochemical Aspects of Physical Exercise*, 469–78.
- 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*. doi: 10.1055/a-0991-0268.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 49-131.
- Bursová, M., & Charvát, L. (2005). *Kompenzační cvičení: uvolňovací, protahovací, posilovací*. Praha: Grada, 21-23.
- 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.
- Dovalil, J., Choutka, M., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Bunc, Svoboda, B., & Vránová, J. (2005). *Výkon a trénink ve sportu* (2. vyd). Praha: Olympia, 16, 70.
- Dovalil, J. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia, 29-31, 138, 314.

- Dovalil, J. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4. vyd). Praha: Olympia, 138-148.
- Drid, P., Trivic, T., Casals, C., Trivic, S., Stojanovic, M., Ostojic, S. M. (2016). Is molecular hydrogen beneficial to enhance post-exercise recovery in female athletes? *Science & Sports*, 31(4), 207-213. doi: 10.1016/j.scispo.2016.04.010
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press, 56.
- Hoyt, T. (2009). Skeletal Muscle Benefits of Endurance training: Mitochondrial Adaptations. *AMAA Journal*, 22(3), 14-16.
- Falls, H. B., & Humphrey, L. D. (1976). Energy cost of running and walking in young woman. *Medicine and science in sports*, 8(1), 9-13.
- Fleg, J.L., & Lakatta, E.G. (1988). Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO₂max. *Journal of Applied Physiology*, 65(3), 1147-51. doi: 10.1152/jappl.1988.65.3.1147
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení* (3., nezm. vyd). Bratislava: Univerzita Komenského.
- Havlíček, J. (2016). Trénink na dlouhé běhy v horách. *ResearchGate*, 3-7. doi: 10.13140/RG.2.1.5124.6964
- Havličková, L. (1994). *Fyziologie tělesné zátěže I., obecná část*. Praha: Univerzita Karlova, 11.
- Havličková, L. et al. (1999). *Fyziologie tělesné zátěže* (2. přeprac. vyd). Praha: Nakladatelství Karolinum, 6, 79.
- Jornet, K. (2011). *Běhej, nebo zemři* (1. vyd.). Praha: Mladá fronta, 184.
- 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.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). *Physiology of Sport and Exercise*. 5th ed. USA: Human kinetics, 2012.
- Keul, J., Kindermann, W., & Simon, G (1978) Die aerobe und anaerobe kapazität als grundlage für die leistungs diagnostik. *Leistungssport*, 1, 22-33.

- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34. doi: 10.1007/bf00421101.
- Kissane, John A. (2014). *What Pace Easy Days?* Running Times, 421, 36–41.
- Koerner, H. (2015). *Ultra a dál: Jak se připravit na běhy od 50 km po 100 mil.* Přel. Anna Kudrnová. Praha: Mladá fronta.
- Komi, P.V., & Nicol, C. (2000). *Stretch-shortening cycle fatigue. Biomechanics and Biology of Movement.* Human Kinetics, Champaign, IL, 385-408.
- Koop, J., & Rutberg, J. (2018). *Základy ultramaratonského tréninku.* Praha: Mladá fronta, 1, 44-105.
- Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis A. (2002). Effect of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22, 279-284.
- Kučera, V., & Truksa, Z. (2000). *Běhy na střední a dlouhé tratě.* Praha: Olympia, 48.
- Kůtek, M. (2016). *Nordic running: běh s holemi jako zdravější a efektivnější způsob běhání.* Praha: Smart Press.
- 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 16. 8. 2019 from World Wide Web: <https://publi.cz/books/149/Lehnert.html>.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 18-25.
- 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 19. 8. 2019 from World Wide Web: <https://publi.cz/books/148/Lehnert.html>.
- Mertová, M., Botek, M., Krejčí, J., & McKune A. J. (2017). Heart rate variability recovery after a skyrunning marathon and correlates of performance. *Acta Gymnica*, 47(4), 161-170. doi: 10.5507/ag.2017.021.

- Mikami, T., Tano, K., Lee, H., Lee, H., Park, J., Ohta, F., LeBaron, T. W., & Ohta, S. (2019). Drinking hydrogen water enhances endurance and relieves psychometric fatigue: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(9), 857-862. doi: 10.1139/cjpp-2019-0059.
- Mizuno, K., Sasaki, A.T., Ebisu, K., Tajima, K., Kajimoto, O., Nojima, J., Kuratsune, H., Hori, H., & Watanabe, Y. (2018). Hydrogen-rich water for improvements of mood, anxiety, and autonomic nerve function in daily life. *Medical Gas Research*, 7(4), 247-255. doi: 10.4103/2045-9912.222448.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Praha: Grada Publishing.
- Nicolson, G.L., de Mattos, G.F., Settineri, R., Costa, C., Ellithorpe, R., Rosenblatt, S., La Valle, J., Ji-menez, A. & Ohta, S. (2016). Clinical Effects of Hydrogen Administration: From Animal and Human Diseases to Exercise Medicine. *International Journal of Clinical Medicine*, 7(01), 32-76. doi: 10.4236/ijcm.2016.71005.
- Noakes, T. D. (2001). *Lore of running, fourth edition*. Southern Africa: Oxford University Press.
- Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K., Katayama, Y., Asoh, S., & Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13(6), 688-94. doi: 10.1038/nm1577.
- Ostojic, S. M. (2015). *Molecular Hydrogen in Sports Medicine: New Therapeutic Perspectives*. *International journal of sports medicine*, 36(4), 273-9. doi: 10.1055/s-0034-1395509.
- 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.
- Ohta, S. (2011). Recent Progress toward Understanding Hydrogen Medicine: Potential of Molecular Hydrogen for Preventive and Therapeutic Applications. *Current Pharmaceutical Design*, 17(22), 2241–2252. doi: 10.2174/138161211797052664

- Pokorná, A. (2013). *Ošetrovatelství v geriatrii: hodnotící nástroje*. Praha: Grada Publishing, 192.
- Powell, B. (2011). *Relentless Forward Progress: A Guide to Running Ultramarathon*. Halcottsville, NY: Breakaway Books.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2002). *Funkční anatomie I*. Olomouc: Hanex, 38-40.
- Rosen, M.J., Sorkin, J.D., Goldberg, A.P., Hagberg, J.M., & Katznel, L.I. (1998). Predictors of age-associated decline in maximal aerobic capacity: A comparison of four statistical models. *Journal of Applied Physiology*, 84, 2163–70.
- Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *Sportscience*, 13(2), 32-53.
- Stejskal, P. (2008). Variabilita frekvencie srdca. In Javorka, K. (Eds.). *Mechanismy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 168–181). Martin: OSVETA.
- Soumar, L., & Bolek, E. (2012). *Běh na lyžích* (2., dopl. vyd.). Praha: Grada.
- Straková, A. (2013). *Seběhy-bez nich to nejde*. Czech Skyrunning Association. Retrieved 3. 10. 2019 from World Wide Web: <https://skyrunning.cz/2013/04/03/sebehy-bez-nich-to-nejde-2/>.
- Tlapák, P. (2006). *Tvarování těla pro muže a ženy* (5. vyd). Praha: Nakladatelství ARSCI, 203.
- Trappe, S., Harber, M., Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Minchev, K., & Whitsett, D. (2006). Single muscle fiber adaptation with marathon training. *Journal of applied Physiology*, 101(3), 721-7. doi: 10.1152/jappphysiol.01595.2005.
- Velebil, V. (2002). *Atletické skoky*. Praha: Olympia, 26.
- Wassermann, K., Whipp, B. J., Koyal, S., & Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchangeduring exercise. *Journal of applied Physiology*, 35(2), 236-243.
- Weather forecast (2019). Retrieved 3. 6. 2019 from World Wide Web: https://www.yr.no/place/Czech_Republic/Pardubice/Lan%C5%A1perk/.
- Zahradník, D., & Korvas, P. (2012). *Základy sportovního tréninku*. Masarykova univerzita, Brno.

Zatsiorsky, V. M. (1995c). *Science and practice of strength training*. Champaign: Human Kinetics, 59-60.

Přílohy

Příloha A: Instrukce pro sportovce

Křížová, dvojitě zaslepená studie – test výkonu v běhu do vrchu při použití HRW a Placeba.

Testování proběhne po týdnu (pokud možno ve stejných podmínkách)

TERMÍN: ST 18.5. – 25.5. sraz v 15 h Lanšperk žel.st.

POČET: 16 sportovců

MÍSTO: Lanšperk, železniční stanice

TRAŤ: Lanšperk – Strážný, silnice, 4,24 km + 215 m (cca 16'-22')

Ideálně si trať někdy před prvním testem proběhnout.

INTENZITA: MAXIMÁLNÍ-ZÁVODNÍ

START: INTERVALOVÝ PO 2 MIN.

Minimálně 1 den před testováním každému doručím 5x vodu na první termín testu.

Po prvním testu každému předám 5x vodu na příští test.

3 DNY PŘED TESTOVÁNÍM: pokud možno stejný tréninkový, stravovací a pitný režim. (Ideálně tak, jako před závodem)

Na oba testy stejné oblečení a obuv!!!

Kdy pít vody:

- **TESTY ve ST Start v 15 h. (sraz 14:45 h)**
ÚT 24 h. před startem 1x voda
ST v 12 h 1x voda
ST v 13 h 1x voda
ST v 14:20 h 1x voda (30-40' před startem)
Ihned po testu najednou 1x voda!

1 voda balení = 420 ml vypít po otevření vždy najednou nejdéle do 5 min. po otevření!!!

HODINKY!!! SLEDOVANÉ PARAMETRY: Každý zaznamená svůj výsledný čas a průměrnou srdeční frekvenci. Čas bude nezávisle na vás měřený i námi.

(Bezprostředně před testem zaznamenáme: VAS škálu bolestivosti svalů)

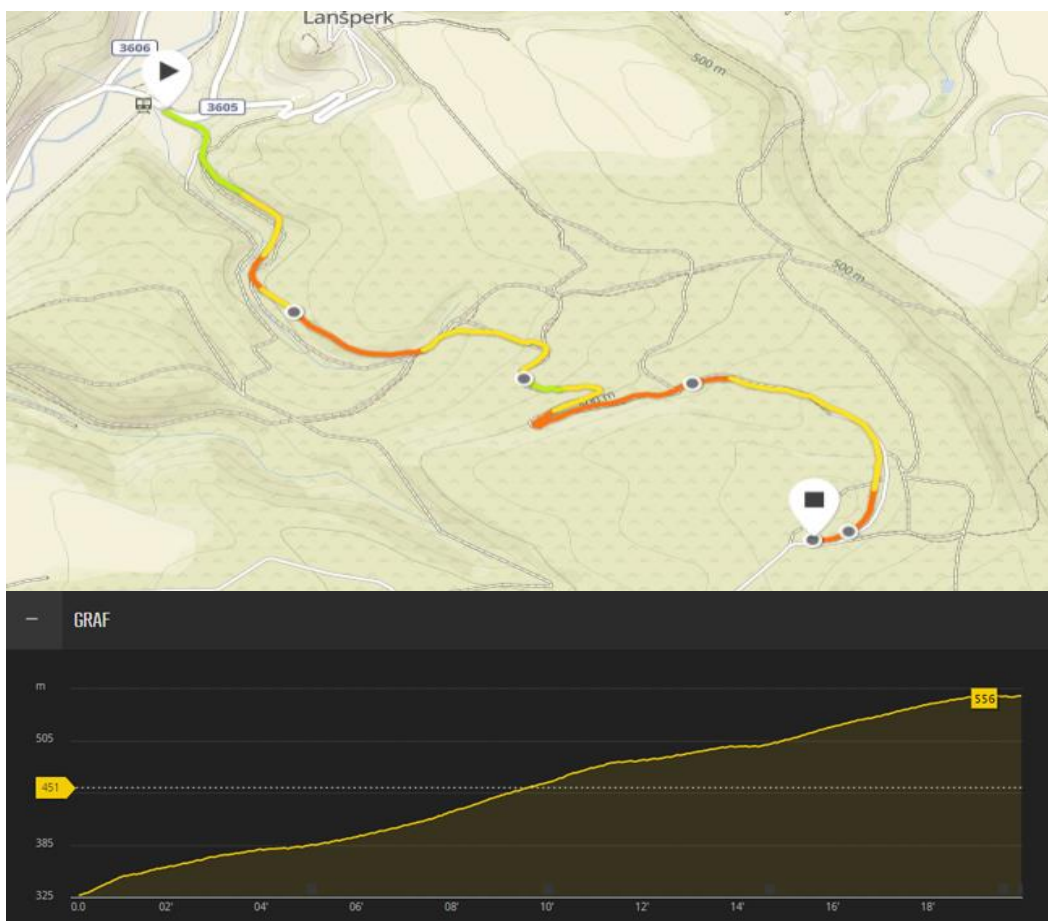
(Bezprostředně po testu zaznamenání BORG škály)

(10', 30', 4 h a ráno druhý den 12 h po testu opět zaznamenání VAS škály)

Všem zúčastněným moc děkuji za precizní přístup k testování a zajištění co nejobektivnějšího výsledku výzkumu ☺

V souhrnu:

- Zúčastnit se 2x testu v běhu do vrchu;
- Rámcově dodržet stejný tréninkový a stravovací režim vždy 3 dny před prvním i druhým testováním. Ideálně stejně jako před závodem;
- V den testování přesně dodržet vypití vod (vody vám dodám před testem);
- 4 a 12 hod po testu zaznamenat bolestivost svalů (podle škály dodané při testu).



Fotogalerie:

Vyšetření v laboratoři FTK UP – zátěžový test do vita maxima



Závodní trať Lanšperk

