

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Efekt ponořování předloktí do studené vody na opakované
izometrické kontrakce flexorů prstů do vyčerpání u
sportovních lezců**

Disertační práce

Školitel:

doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Mgr. Jan Kodejška

Praha, duben 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou disertační práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

Podpis

.....

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval především svému školiteli doc. Jiřímu Balášovi, Ph.D., který mě motivoval a pomohl nalézt směr cesty při sepsání této práce. Své přítelkyni a své rodině děkuji za to, že mě podporovaly až do cílové rovinky. Na závěr chci poděkovat všem svým kamarádům, kteří byliými učiteli a učitelům, kteří byliými kamarády.

Abstrakt

- Název:** Efekt ponořování předloktí do studené vody na opakované izometrické kontrakce flexorů prstů do vyčerpání u sportovních lezců
- Cíle:** Cílem této studie bylo posoudit akutní účinky ponořování do studené vody na opakovaný intermitentní izometrický výkon do vyčerpání u skupiny sportovních lezců.
- Metody:** Třicet dva lezců (15 mužů a 17 žen) provedlo tři opakované intermitentní izometrické výkony do vyčerpání na specifickém dynamometru během tří návštěv laboratoře. Během každé návštěvy byla využita jiná zotavná procedura mezi výkony: pasivní odpočinek (PAS), ponořování do studené vody 8 °C (CWI 8) a ponořování do studené vody 15 °C (CWI 15). Pro hodnocení výkonu byl využit integrál síly dle času (FTI). Pro sledování hemodynamických změn byl použit index tkáňové saturace (TSI) a celkový hemoglobin (tHb) během jednotlivých kontrakcí z blízké-infračervené spektroskopie (NIRS). Vliv tří typů zotavení a jeho opakování na tři opakované intermitentní výkony do vyčerpání, odvozené parametry NIRS byl hodnocen pomocí ANOVY s opakovaným měřením s využitím Bonferroniho korekce.
- Výsledky:** Nebyl nalezen významný rozdíl v FTI a parametrech odvozených z NIRS při prvním opakování izometrického výkonu mezi jednotlivými návštěvami. Při opakování výkonu s PAS došlo k poklesu o 10 % a 20 % v FTI během druhého a třetího výkonu. Při využití PAS byl druhý a třetí izometrický výkon významně nižší ($P < 0,05$) než při využití CWI. FTI se zvýšilo během druhého výkonu (↑32 % a ↑38 %) pro CWI 8 i CWI 15 vzhledem k prvnímu výkonu. Během třetího výkonu bylo FTI významně vyšší pro CWI 15 než pro CWI 8 (↑27 % a ↓4 % vzhledem k prvnímu výkonu; $P < 0,05$). Při sledování TSI a tHb během opakovaného intermitentního výkonu s PAS nebyly nalezeny významné změny v TSI nebo tHb. Během druhého a třetího výkonu s CWI byl nalezen významný pokles TSI ($P < 0,05$) vzhledem k prvnímu výkonu. Při aplikaci zotavných procedur nebyly nalezeny žádné významné rozdíly v TSI nebo tHb mezi jednotlivými procedurami.

Závěr: CWI je efektivní procedurou pro zrychlení zotavení po intermitentním izometrickém výkonu do vyčerpání ve srovnání s PAS. CWI 15 je efektivnější než CWI 8 pokud je zapotřebí zotavení opakovat. Zvýšení výkonu po aplikaci studené vody bylo spojeno s vyšší de-oxygenací podchlazené svalové tkáně během izometrických kontrakcí, a tedy lepším využitím kapilárního kyslíku.

Klíčová slova: izometrické kontrakce, sportovní lezení, zotavení, ponořování do studené vody, blízka-infračervená spektroskopie

Abstract

Title: Effect of cold water immersion on intermittent isometric forearm flexor contractions to failure in rock climbers

Objectives: The aim of this study was to determine the effect of cold water immersion on intermittent isometric forearm flexor contraction to failure in rock climbers.

Methods: Thirty-two climbers (15 male and 17 female) completed three intermittent trials to failure, on a climbing-specific handgrip dynamometer, on three separate visits to the laboratory. For each visit a different recovery strategy was employed: passive recovery (PAS), cold water immersion at 8 °C (CWI 8) or 15 °C (CWI 15). The force time integral (FTI - time of contraction multiplied by the force of contraction) was determined to assess intermittent performance. The tissue saturation index (TSI) and total haemoglobin (tHb) during isometric contractions from near-infrared spectroscopy (NIRS) were determined to assess hemodynamic changes. Differences between repeated trials and three recovery protocols, derived parameters NIRS, were assessed using repeated measures ANOVA with Bonferroni corrections.

Results: There was no significant difference between conditions after trial one. In response to the PAS recovery condition there was a 10% and 22% decrease in FTI in the second and third trials, respectively. The PAS recovery strategy FTI values were lower than both CWI conditions for trials two and three ($P < 0.05$). FTI increased in the second trial ($\uparrow 32\%$ and $\uparrow 38\%$; $P < 0.05$) for both immersion conditions (CWI 8 and CWI 15 respectively) when compared with trial one. During the third trial FTI was significantly higher for CWI 15 than CWI 8 ($\uparrow 27\%$ and $\downarrow 4\%$ with respect to baseline trial; $P < 0.05$). There were no significant differences in TSI and tHb during repeated trials with PAS. A significant decrease in TSI ($P < 0.05$) was found during second and third trials with CWI compared with trial one. There were no significant differences in TSI and tHb during recovery strategies.

Conclusion: Our results suggest CWI has potential performance advantages over PAS for intermittent isometric performance to failure. The increase in performance after CWI was likely related to higher de-oxygenation of muscle tissue during isometric contractions and thus better utilisation of oxygen in capillaries.

Keywords: isometric contractions, handgrip exercise, sport climbing, recovery, cold water immersion, near-infrared spectroscopy

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická východiska	11
2.1	Únava	11
2.2	Zotavení.....	15
2.3	Ponořování do studené vody	17
2.4	NIRS a sledování fyziologických mechanismů	34
2.5	Sportovní lezení	40
2.6	Shrnutí teoretické části	46
3	Výzkumné otázky	47
4	Cíl práce.....	47
5	Hypotézy.....	47
6	Úkoly práce.....	47
7	Metodika	48
7.1	Design výzkumu.....	48
7.2	Soubor	48
7.3	Realizace měření	49
7.4	Použité metodiky.....	53
7.5	Vyhodnocení výsledků.....	57
8	Výsledky	58
8.1	Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS.....	58
8.2	Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody.....	61
9	Diskuze	71
9.1	Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS.....	71
9.2	Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody.....	75
10	Závěr	81
11	Použitá literatura	82
12	Přílohy.....	96

Použité zkratky

ACT	aktivní odpočinek
ADP	adenosindifosfát
AMP	adenosinmonofosfát
ATP	adenosintrifosfát
Cr	kreatin
CV	koeficient variace
<i>cw</i>	"continuous wave"
CWI 15	ponořování do studené vody 15 °C
CWI 8	ponořování do studené vody 8 °C
CWI	ponořování do studené vody
DOMS	zpožděná svalová bolest
<i>fd</i>	"frequency domain"
FTI	integrál síly podle času
Hb	hemoglobin
HHb	deoxy-hemoglobin
ICC	vnitrotřídní korelační koeficient
Mb	myoglobin
MDC	minimální věcný rozdíl
MVC	maximální volní kontrakce
NIRS	blízká infračervená spektroskopie
O ₂ Hb	oxy-hemoglobin
PAS	pasivní odpočinek
PCr	kreatinfosfát
Pi	anorganický fosfát
RFD	silový gradient
SEM	standardní chyba měření

SF	srdeční frekvence
SRS	"spatial resolved spectroscopy"
<i>td</i>	"time domain"
tHb	celkový hemoglobin
TSI	index tkáňové saturace
UIAA	Union Internationale des Associations d'Alpinisme
VO ₂	spotřeba kyslíku

1 Úvod

V současné době existuje velké množství sportů, které aktivně provozují profesionální i rekreační sportovci. Každý sport vytváří specifické zatížení organismu a z toho vyplývající specifické narušení homeostázy. Vzniklou únavu se sportovci snaží rychle odstranit, aby mohli pokračovat v intenzivním tréninkovém procesu nebo v závodní činnosti. K urychlení zotavení lze využít řady procedur, mezi které patří i ponořování do studené vody. Ponořování do studené vody je tradičně využíváno v mnoha sportech. Nicméně k problematice ponořování do studené vody neexistuje dostatek spolehlivé literatury. Z toho důvodu ho řada „mladých sportů“ nevyužívá. Mezi tyto sporty patří i sportovní lezení, které bude zařazeno do Olympijských her v Tokiu v roce 2020. V našem zájmu je proto hledání možností rychlejší regenerace. Naše motivace vychází i ze spolupráce s reprezentanty Českého horolezeckého svazu. Nové vědomosti z oblasti zotavení jsou pro ně velmi přínosné. Pouze s aktuálními vědeckými poznatky zařazenými do tréninkového procesu lze vyhrávat mezinárodní závody. Při výzkumu je důležité objasnění fyziologických procesů, které vedou k urychlení zotavení, aby zotavení mohlo být přesně zacíleno. V současné době technologie pokročila natolik, že je možné využití neinvazivních metod, které umožňují pozorování svalové tkáně během zatížení.

Domníváme se, že toto téma je aktuálním tématem ze sportovního prostředí, jehož výsledky přispějí k využívání zotavné procedury ve sportovní praxi a pomohou objasnit fyziologické mechanismy vedoucí ke zrychlenému odstranění únavy.

2 Teoretická východiska

2.1 Únava

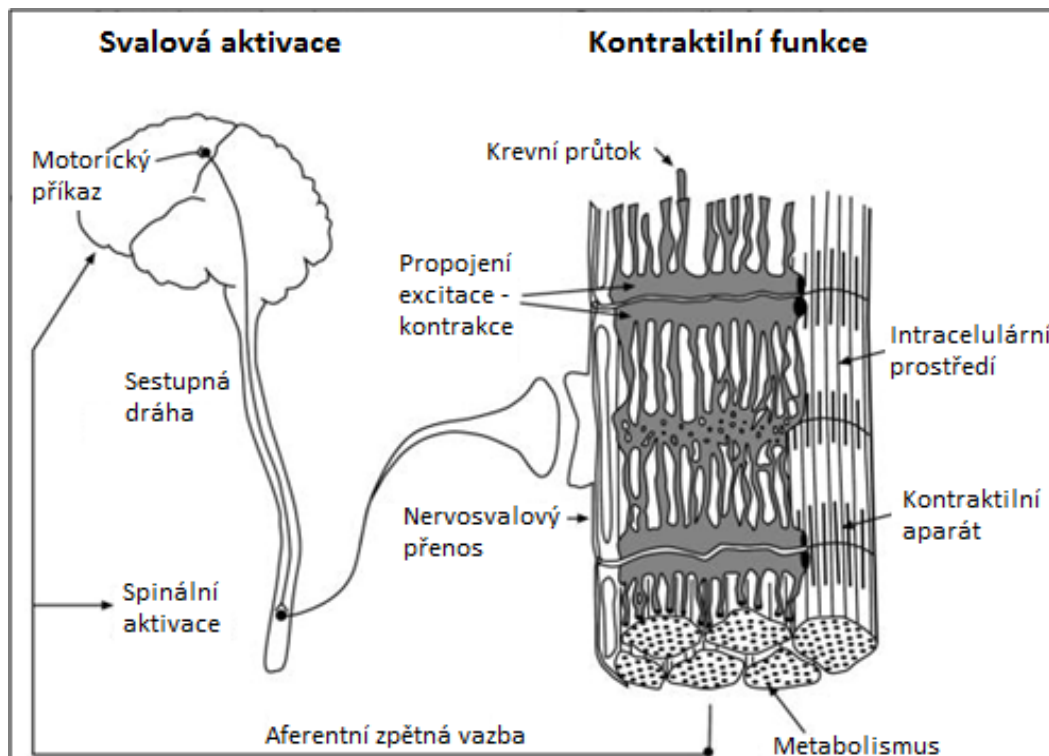
Únava je velmi komplexní pojem využívaný v řadě vědních disciplín i v každodenním životě. Únavu lze obecně popsat jako nedostatek energie a pocit vyčerpání spojený s neschopností vykonávat obtížné úkoly (Gruet et al., 2013).

Únavu můžeme dělit na mentální, jež souvisí s kognitivními funkcemi nebo vnímáním a na fyzickou, jež souvisí s výkoností motorického systému (Gruet et al., 2013). Při studiu specifických fyziologických mechanismů souvisejících s činností pracujících kosterních svalů se využívá též pojem svalové únavy (Enoka & Duchateau, 2008).

Pro účely této práce se budeme zabývat svalovou únavou, která vzniká vlivem pohybové aktivity. Únavu v tomto případě lze popsat jako: stav snížené výkonnosti, který je způsoben intenzivní aktivitou svalů (Allen & Westerblad, 2001) nebo cvičením indukovaný pokles schopnosti svalů produkovat sílu a neschopnost pokračovat v daném úkolu (Sogaard, Gandevia, Todd, Petersen, & Taylor, 2006).

Mezi typické projevy svalové únavy patří neschopnost svalu pokračovat v daném výkonu, svalová slabost, bolest, pokles svalové síly, ztráta koordinace a mohou se objevit i křeče.

Svalová únava může vznikat na mnoha místech podél dráhy, která vede od centrálního nervového systému až k produkci svalové síly (Obrázek 1). Svalová únava může být způsobena *centrálními a periferními mechanismy* (Obrázek 1), podle toho, kde dochází k narušení fyziologických procesů (Enoka, 2015). Ačkoliv toto dělení není z hlediska provázanosti fyziologických procesů vždy vhodné, pomáhá nám v základní orientaci v dané problematice.



Obrázek 1. Fyziologické procesy, které přispívají k únavě, jsou klasicky děleny do dvou oblastí: 1) ty, které ovlivňují svalovou aktivaci (*centrální*) 2) ty, které ovlivňují kontraktální funkce (*periferní*), (upraveno dle Enoka 2015)

Svalová vlákna jsou kontrolována impulzy ze spinálních motoneuronů. Tyto motoneurony přijímají signály ze sensorů a sestupných drah z různých zdrojů. Zvláště důležitý pro řízení pohybu je kortikospinální úsek. Během vyčerpávajícího cvičení dochází k mnoha změnám v těchto segmentech. Konkrétně lze hovořit o: 1) zastavení a zpomalení aktivace motorických jednotek; 2) vznik bolesti – významný aferentní signál ovlivňující autonomní i motorický systém; 3) modulace neurotransmiterů v mozku (Taylor, 2016).

Periferní únava je často spojována s metabolickými změnami v pracujících svaích, které jsou závislé na typu svalových vláken. Tradičně se svalová vlákna dělí podle těžkých myozinových řetězců na vlákna I, IIa, IIx a IIb, nicméně typ IIb není obsažen v lidské svalovině (Smerdu, Karschmizrachi, Campione, Leinwand, & Schiaffino, 1994). Těžké myozinové řetězce stanovují rychlost příčných můstků, a tudíž rychlost zkrácení svalové buňky. Typ I je nejpomalejší, typ IIa se nachází uprostřed a typ IIx/b je nejrychlejší (Bottinelli & Reggiani, 2000). Tato klasifikace má svoje opodstatnění i z hlediska svalové únavy spojené s metabolickými změnami. Rychlá svalová vlákna spotřebovávají ATP (adenosintrifosfát) rychleji a mají vyšší hustotu a odlišný typ Ca^{2+}

pump v sarkoplazmatickém retikulu než pomalá vlákna (Lytton, Westlin, Burk, Shull, & MacLennan, 1992). Nicméně hlavní faktor rozlišující svalová vlákna z hlediska únavy je pravděpodobně rozdílná hustota mitochondrií, které zabezpečují oxidační metabolismus (Essen, Jansson, Henriksson, Taylor, & Saltin, 1975). Pomalá svalová vlákna mají obecně vyšší hustotu mitochondrií a tím i vyšší oxidační kapacitu než vlákna rychlá (Essen et al., 1975).

Rychlý typ svalových vláken je znám tím, že dokáže spotřebovat ATP (adenosintrifosfát) rozkladem na ADP (adenosindifosfát) a Pi (anorganický fosfát) rychleji než ho obnovovat (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008b). Za normálních podmínek je reakce kreatinkinázy ($PCr + ADP \leftrightarrow Cr + ATP$) a adenylkinázy ($2ADP \leftrightarrow AMP + ATP$) skoro v rovnováze. Při vysoce intenzivní činnosti zůstává zpočátku ve svalu koncentrace ATP téměř nezměněna kvůli zabezpečení energetických rezerv, ale snižuje se PCr (kreatinfosfát) a zvyšuje Cr (kreatin) a Pi. Pokud PCr dosáhne nízké úrovně, ATP začne klesat (Allen et al., 2008b). Změny v koncentraci anorganického fosfátu v pracujícím svalu vychází z této rovnice $PCr + ADP + H^+ \rightarrow Cr + ATP$. Narůstající koncentrace Pi může být jednou z hlavních příčin způsobující únavu, protože může vstupovat do řady fyziologických mechanismů (Westerblad, Allen, & Lannergren, 2002).

K resyntéze ATP dochází buď anaerobní glykolýzou nebo aerobním štěpením glykogenu, glukózy, tuku, případně bílkovin. Anaerobní glykolýza je ve středu zájmu při studiu svalové únavy, protože během svalové aktivity vede řetězec reakcí k rozpadu glukózy a vzniku laktátových a H^+ iontů spojovaných s acidózou a svalovou únavou. Při vysoké intenzitě může vyčerpávající cvičení vést během desítek sekund k vysoké acidóze. Nicméně velikost této acidózy závisí především na rozsahu zapojení anaerobní glykolýzy do resyntézy ATP. V minulosti bylo popisováno, že hlavní zdroj svalové únavy je laktát vznikající ve svalu za intenzivní práce (Fitts, 1994). Později se usuzovalo, že únava vzniká poklesem pH, který způsobuje akumulace H^+ vznikající spolu s laktátem ve svalové tkáni při anaerobní glykolýze. Nicméně současné výzkumy ukázaly na vzájemnou propojenost všech probíhajících mechanismů a neschopnost rozpoznání hlavní příčiny únavy (Allen et al., 2008b). Hlavní energetickou zásobou svalu je glukóza, která je skladována ve formě glykogenu. Pokud jsou tyto zásoby během namáhavé práce svalu vyčerpány, dochází ke svalové únavě, která je způsobena

nedostatečným návratem vápníku do sarkoplazmatického retikula (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008a).

Svalová únava souvisí také s nervosvalovým přenosem, který zajišťuje přenos akčního potenciálu přes nervosvalové spojení vypuštěním acetylcholinu a další přenos akčního potenciálu podél svalové membrány aktivací Na^+ kanálků. Přenos akčního potenciálu podél membrány je závislý na extracelulární a intracelulární koncentraci Na^+ a K^+ , vnitřním a vnějším odporu a odporu membrány. V řadě těchto úseků dochází při namáhavé činnosti svalů ke změnám, které mohou být příčinou svalové únavy (Allen et al., 2008b).

Předchozí text se zabývá pouze základními fyziologickými mechanismy, které mohou být příčinou centrální a periferní únavy, ačkoliv současné studie identifikovaly řadu dalších potencionálních mechanismů (Allen et al., 2008b; Enoka & Duchateau, 2008). Ukazuje se, že periferní a centrální únavu nelze vždy přesně rozlišit, protože tyto mechanismy jsou úzce propojeny (Enoka & Duchateau, 2016). Z toho důvodu je vhodné spojovat únavu vždy se specifickým typem zatížení (Enoka & Duchateau, 2008; Taylor, Amann, Duchateau, Meeusen, & Rice, 2016).

2.2 Zotavení

Při náročném sportovním zatížení dochází ke vzniku únavy a poklesu výkonnosti. Po ukončení aktivity pak přirozeně nastupuje proces zotavení. Zotavení je považováno za nejméně prozkoumanou fázi cyklu adaptace ve sportovním tréninku (Bishop, Jones, & Woods, 2008). Při této fázi dochází k 1) normalizaci fyziologických funkcí; 2) návratu homeostázy a 3) obnově energetických zdrojů (Jeffreys, 2005).

Zotavení lze rozdělit na: 1) okamžité zotavení během výkonu; 2) zotavení mezi opakovanými výkony; 3) zotavení mezi tréninky (Bishop et al., 2008). Zotavení během výkonu lze nalézt u sportů, kde se objevuje intermitentní typ zatížení nebo přenosové fáze, při kterých dochází k okamžitému zotavení. Zotavení mezi opakovanými výkony je typické pro sporty, kde je nutné podat opakovaně výkon na vysoké úrovni během několika hodin. Z dlouhodobého hlediska pak hovoříme o zotavení mezi tréninky.

Při vyčerpávajícím zatížení může přirozené zotavení organismu trvat dlouhý časový úsek. Z toho důvodu se využívá řada procedur, které mohou pomoci zrychlit zotavení organismu. V současnosti se nejvíce využívají tyto procedury: *aktivní odpočinek*, *masáž*, *strečink*, *kompresní návleky*, *ponořování do vody s kontrastní teplotou a kryoterapie* pod kterou bývá zařazováno i *ponořování do studené vody* (Barnett, 2006; Bishop et al., 2008).

Aktivní odpočinek je procedura, při které se používá pohybu o nízké intenzitě ke zvýšení srdeční frekvence a krevního oběhu po vyčerpávajícím cvičení. Bylo ukázáno, že využití této procedury vede k rychlejšímu zpracování laktátu (Barnett, 2006). Nicméně někteří autoři poukazují na to, že hladina laktátu není vhodný ukazatel úrovně zotavení (Weltman, Stamford, & Fulco, 1979). Spekuluje se také o tom, zda aktivní odpočinek může urychlovat resyntézu glykogenu (Fairchild et al., 2003).

Masáž je velmi využívanou procedurou ve sportovní praxi, jež je spojována s redukcí edému, snížením bolesti, zvýšením žilního návratu (Barnett, 2006). Bylo zjištěno, že masáž nemá žádný efekt na zrychlené odstranění laktátu a zrychlení krevního průtoku ve svalu (Weerapong, Hume, & Koht, 2005). Významný pozitivní efekt má masáž především na snížení svalové bolesti (Weerapong et al., 2005).

Strečink je používán pro zvýšení rozsahu kloubní pohyblivosti a existuje řada jeho modifikací. Strečink je často používanou procedurou pro snížení rizika zranění, ačkoliv tento vliv nebyl prokázán (Thacker, Gilchrist, Stroup, & Kimsey, 2004). Ukázalo se,

že strečink může mít negativní efekt na explozivní typ výkonu a nemá žádný vliv na snížení bolesti po zatížení (Shrier, 2004).

Kompresní návleky jsou založeny na působení tlaku na tkáň, na kterých jsou umístěny. Tyto návleky jsou využívány během sportovního zatížení i po něm z důvodu urychlení zotavení. Ačkoliv efekt kompresních návleků během cvičení je malý, řada studií ukázala střední efekt návleků pro zrychlené zotavení po zatížení (Born, Sperlich, & Holmberg, 2013).

Ponořování do vody s kontrastní teplotou je prováděno ponořováním těla nebo jeho částí do studené a teplé vody. Usuzuje se, že střídáním vazokonstrikce a vazodilatace cév může docházet k rychlejšímu odstranění metabolitů a stimulace krevního průtoku (Cochrane, 2004). Ukázalo se, že ponořování do vody s kontrastní teplotou může mít v určitých případech pozitivní vliv na snížení svalové bolesti a snížení ztráty svalové síly po vyčerpávajícím pohybovém zatížení (Bieuzen, Bleakley, & Costello, 2013).

Kryoterapie spočívá v krátkodobé aplikaci nízkých teplot na tělo nebo jeho části. Ve sportovní medicíně je kryoterapie spojována hlavně se snížením bolesti v místě aplikace a zmírněním zánětu (Lombardi, Ziermann, & Banfi, 2017). Ve sportovní praxi je již kryoterapie využívána řadu let ve formě ledových zábalů a ponořování do studené vody (Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, & Clijsen, 2015).

2.3 Ponořování do studené vody

Ponořování do studené vody (CWI) je již využíváno desítky let v mnoha sportovních odvětvích, které se chtějí vypořádat se vzniklou únavou a svalovým poškozením. CWI lze rozlišovat podle způsobu ponoření (celkové, lokální) a doby ponoru (přerušované, nepřerušované). Výhodou CWI je jednoduchost a dostupnost, protože příprava studené vody, není technicky ani finančně náročná.

CWI je aktuálním tématem vědeckého bádání, což dokazuje řada aktuálních přehledů a meta-analýz (Hohenauer et al., 2015; Leeder, Gissane, van Someren, Gregson, & Howatson, 2012; Lombardi et al., 2017; Poppendieck, Faude, Wegmann, & Meyer, 2013; Sanchez-Ureña, Barrantes-Brais, Ureña-Bonilla, Calleja-González, & Ostojic, 2015). Tyto studie ukazují, že nalezení všeobecně platného účinku CWI je složité z důvodu různorodosti jednotlivých studií. K nejčastějším překážkám při porovnání účinků CWI patří rozdílné protokoly CWI, typy zatížení a testy, které hodnotí rychlost odstranění únavy. Nicméně všeobecně se přehledové studie shodují, že v určitých podmínkách CWI může mít pozitivní vliv na zrychlení zotavení. Aby mohlo být CWI efektivně využíváno a optimalizováno pro sportovní praxi, je nutné se zabývat fyziologickými mechanismy, které CWI vyvolává. Z toho důvodu se budeme touto problematikou zabývat v následující kapitole.

Fyziologické mechanismy při ponořování do studené vody

Fyziologické mechanismy, které probíhají při CWI jsou ovlivňovány především poklesem teploty ve tkáních. Je známo, že rychlost poklesu teploty ve tkáních závisí při CWI především na teplotě vody, povrchu chlazené oblasti (Janwantanakul, 2009), délce působení (Peiffer, Abbiss, Nosaka, Peake, & Laursen, 2009) a vrstvě podkožního tuku (Myrer, Myrer, Measom, Fellingham, & Evers, 2001).

Z toho důvodu se můžeme domnívat, že hlavní faktory ovlivňující fyziologické mechanismy při CWI budou: *teplota vody, způsob ponoření, čas ponoření a strukturální vlastnosti ponořené tkáně*. Voda má vysokou tepelnou vodivost, a proto její teplota významně ovlivňuje ponořenou oblast. Dále je důležitý *způsob ponoření*, který můžeme rozdělit na celkové a lokální a vypovídá o povrchu ochlazované oblasti. Způsob ponoření souvisí i s výškou vodního sloupce a ovlivňuje velikost hydrostatického tlaku na ponořenou tkáň. Při celkovém ponoření dochází obvykle k ponoru celého těla kromě

hlavy a během lokálního ponoru dochází k ponoření jedné nebo dvou končetin či jejich částí s cíleným ochlazením určitých svalových partií. *Čas ponoření* je dalším důležitým faktorem ovlivňující pokles teploty ve tkáních. V souvislosti s časem ponoření můžeme rozlišovat také nepřerušovaný a přerušovaný protokol CWI, kdy dochází k opakovanému ochlazování a samovolnému ohřívání ponořené oblasti. Přerušovaným protokolem CWI lze bezpečně dosáhnout ochlazení svalové tkáně, protože opětovné přerušování snižuje riziko poškození chladem zranitelných struktur (G. E. White & Wells, 2013). Dále pokles teploty souvisí se *strukturálními vlastnostmi* ponořené části, především velikostí podkožní tukové vrstvy, která má výrazné termoizolační vlastnosti. Studie zabývající se ochlazováním lidské kůže a podkoží ukázala, že teplota rapidně klesá během 1-3 min a dosahuje minima přibližně v 8 min (Janwantanakul, 2009). K ochlazování podkoží dochází lineárně a je rychlejší než ochlazování svalu (Yanagisawa, Homma, Okuwaki, Shima, & Takahashi, 2007). K poklesu teploty svalu dochází až později, a je nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože se zde objevuje řada chladem zranitelných struktur (Enwemeka et al., 2002).

Z hlediska toho, jaký má CWI efekt, můžeme fyziologické mechanismy rozdělit do následujících oblastí: *hemodynamické, kardiovaskulární, neuromuskulární, metabolické*.

Snížení kožní teploty vyvolává *hemodynamické* změny související s reflexivní vazokonstrikcí cév. Tato vazokonstrikce se může zdát spíše kontraproduktivní, protože způsobuje zpomalení krevního průtoku. Nicméně po intenzivní zátěži přetrvává ve svalech hyperémie. Dále může docházet k poškození svalových buněk, a to vede ke zvýšené osmolalitě a vzniku edému. Všechny tyto změny mohou vést k nárůstu vnitrosvalového tlaku (Zhang & Styf, 2004), který způsobí nedostatečný přísun kyslíku. Zpomalení krevního průtoku reflexivní vazokonstrikcí může přispívat ke snížení edému svalových buněk. Dále se předpokládá, že při přerušovaném CWI dochází střídavě k vazokonstrikci a vazodilataci kapilár ve svalové tkáni, tím nastává "efekt pumpy". To může mít za následek snížení edému a rychlejší odstranění metabolitů (Cochrane, 2004).

Kardiovaskulární efekt CWI byl nalezen při celkovém ponoření (Buchheit, Peiffer, Abbiss, & Laursen, 2009; Peiffer et al., 2009) těla. CWI může měnit nervovou aktivitu srdce, zvýšit srdeční návrat a tím přispívat ke zrychlenému odstranění únavy (Buchheit et al., 2009). Dále je doloženo zvýšení srdeční efektivity, projevující se nižší srdeční frekvencí a vyšším srdečním výdejem (Stanley, Buchheit, & Peake, 2012).

Po náročné pohybové aktivitě dochází obvykle ke zpožděnému nástupu parasympatické aktivity a přetrvávání sympatického tonu, což může zpomalovat zotavení a způsobovat další zdravotní rizika (Billman, 2002). CWI může urychlovat parasympatickou reaktivaci po vyčerpávajícím cvičení (Vaile et al., 2011). Nízká teplota vody a hydrostatický tlak u celkového CWI vedou k vazokonstrikci v povrchových tkáních a přesunu krve do tělesného jádra (Wilcock, Cronin, & Hing, 2006), což vede ke zvýšení centrálního objemu krve a srdečního výdeje. Tyto mechanismy pak mohou vést až k dráždění baroreceptorů, které aktivují převahu parasympatiku a inhibují sympatikus (Pump et al., 2001).

V nadměrně teplém okolním prostředí může mít CWI další pozitivní efekt na výkon. Při výrazném zahřátí organismu je studená krev ihned odváděna do tělesného jádra. Snižování teploty tělesného jádra může hrát důležitou roli při dlouhotrvajících vytrvalostních výkonech v nadměrně teplém prostředí. Když dojde k ohřátí tělesného jádra přibližně na 40 °C, dochází k útlumu nervového systému a k poklesu výkonnosti. V takovém případě může při použití CWI před nebo mezi výkony udržet výkonnost a předejít přehřátí tělesného jádra (Periard, Cramer, Chapman, Caillaud, & Thompson, 2011; Ranalli et al., 2010; Ross, Abbiss, Laursen, Martin, & Burke, 2013).

Neuromuskulární efekt CWI je spojen se snižováním nervosvalové vodivosti. Svalová bolest může být příčinou okamžitého poklesu výkonnosti a mikrotraumata ve svalových vláknech způsobená pohybovým zatížením mohou vést ke svalovému spasmu. CWI snížením teploty svalové tkáně snižuje nervosvalovou vodivost (Herrera, Sandoval, Camargo, & Salvini, 2011), a tím způsobuje analgetický efekt. Zajímavé je, že senzorické neurony jsou ovlivněny při ochlazování dříve než motorické neurony díky jejich rozdílnému anatomickému umístění (Merrick, Knight, Ingersoll, & Potteiger, 1993). Z toho důvodu je možné dosáhnout analgetického efektu ještě před ovlivněním motoneuronů.

Ochlazování svalové tkáně způsobuje *metabolické* změny související se zpomalením metabolismu svalových buněk. To může přispívat ke snížení stresu, který je vyvolán ve svalové tkáni po namáhavém cvičení. Po výkonu je ve svalové tkáni obrovská poptávka po kyslíku, která nemůže být tak rychle doplněna a vzniká stres. Usuzuje se, že právě snížením metabolismu může CWI tento stres tlumit (G. E. White & Wells, 2013).

Pokles teploty ve svalové tkáni způsobil nižší pokles pH (7.0 vs 7.2) 60 min po vyčerpávajícím cvičení (Yanagisawa et al., 2007). Z toho vyplývá, že ochlazování může vest také k rychlejšímu odstranění metabolitů (Pi , H^+) a jejich nižší akumulaci.

Přesné fyziologické mechanismy CWI jsou stále předmětem spekulací. Souhrnné studie zabývající se touto problematikou upozorňují, že další výzkum je třeba zaměřit na akutní odezvu CWI a pochopení fyziologických mechanismů, které aktivuje.

Efekt CWI na rychlost zotavení

Následující studie byly vybrány, aby byl vytvořen přehled využití CWI ve sportovní praxi. Studie zabývající se aplikací CWI jsou rozděleny podle sportů na týmové (Tabulka I) a individuální (Tabulka II). Týmové sporty uvedeme pouze pro přehled, protože jejich bližší rozbor by překročil rámec této práce. U týmových sportů je sledován vliv CWI na *poškození svalů a motorické testy*. U individuálních sportů je posuzován vliv CWI na *poškození svalů a na opakovaný výkon*.

Týmové sporty

Týmové sporty patří mezi nejpobulárnější sporty na světě, a zvláště zde se hledají nové cesty k vylepšení výkonnosti a urychlení zotavení. V týmových sportech se neřídka organizují utkání v jednom dni nebo v několika následujících dnech za sebou. Výsledkem toho jsou opakovaně vysoké nároky na kosterně-svalový, nervový, imunitní i metabolický systém, s akumulací únavy a poklesem výkonnosti. Ukazuje se, že v týmových sportech dochází k opakovanému intermitentnímu vysoce intenzivnímu zatížení (King & Duffield, 2009). V těchto vysoce intenzivních úsecích je konstatován vysoký podíl aerobního i anaerobního energetického krytí, při kterém může docházet k akumulaci laktátu ~ 10 mmol/l (Duthie, Pyne, & Hooper, 2003; Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005). Např. při 90 minutovém fotbalovém utkání na elitní úrovni naběhají hráči přerušovaně 10-12 km s průměrnou intenzitou kolem anaerobního prahu (80-90 % maximální srdeční frekvence) (Stolen et al., 2005).

Díky náhlým změnám v utkání lze očekávat také velké množství neobvyklých excentrických kontrakcí, které jsou příčinou zpožděné svalové bolesti (DOMS) (Barnett, 2006; Bleakley et al., 2012; Takeda et al., 2014). Zpožděná svalová bolest je spojena s poklesem výkonnosti, snížením rozsahu pohybu, poškozením svalových buněk (vyšší koncentrace kreatinkinázy a laktátdehydrogenázy v krevní plazmě) a krátkodobou zánětlivou reakcí (Chatzinikolaou et al., 2010; Clarkson & Sayers, 1999; Proske & Morgan, 2001). Studie srovnávající volejbal, basketbal, házenou a fotbal našla nejvyšší míru svalového poškození u fotbalu (Souglis, Bogdanis, Giannopoulou, Papadopoulou, & Apostolidis, 2015).

Efekt CWI je dále posuzován z hlediska poškození svalů a motorických testů. Studie o svalovém poškození hodnotí především pozátěžovou svalovou bolest pomocí dotazníků a také sledují výskyt ukazatelů svalového poškození.

Motorické testy se objevují ve studiích se sporty, kde lze špatně objektivizovat pohybový výkon (převážně týmové sporty, aktivity v proměnlivých podmínkách). Testy jsou realizovány obvykle před zatížením, po zatížení a výsledky v testu mají sloužit jako objektivní míra pohybového výkonu.

Tabulka I. Přehled studií zabývajících se týmovými sporty a CWI

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledky
(Ascensao, Leite, Rebelo, Magalhaes, & Magalhaes, 2011) 20 ♂ hráčů fotbalu	fotbalové utkání (90min)	CWI 10°C, 10min, lokálně - dolní končetiny až po crista iliaca TNWI 35°, 10min, lokálně - dolní končetiny až po crista iliaca R=0h po zatížení	CWI>TNW - ↑výskok z dřepu s 24h, 48h - ↑síla kvadricepsů, 24h - ↓bolest svalů - ↓kreatinkináza, ↓myoglobin M=30min, 24h, 48h
(Delextrat, Calleja-Gonzalez, Hippocrate, & Clarke, 2013) 8 ♂+ 8 ♀ basketbalistů	3x Soutěžní basketbalové utkání (~30min čistého času)	CWI 11°C 5x (2+2min pauza), lokálně - DK až crista iliaca Masáž PAS R=0h	CWI>PAS, Masáž - ↓bolest svalů - ↑výskok CWI=PAS, masáž - ↑opakované sprinty M=0, 24h po zátěži
(Elias et al., 2012) 14 ♂ hráčů australského fotbalu	Trénink australského fotbalu (~80min)	CWI 12°C 14min, celkově CAW 1 7x (1min 38° + 1min 12°C) PAS R=0h	CWI>PAS - ↓bolest svalů - ↑výskok M=1, 24, 48h po zátěži
(Higgins, Heazlewood, & Climstein, 2011) 26 ♂ hráčů z premiérového ragby klubu	4x rugby utkání v soutěžních podmínkách (80min) (utkání/týden + 2x trénink/týden)	CWI 10-12°C, 5min, lokálně - dolní končetiny až k linii pasu CAW 10-12°C a 38-40°C, 7x(1+1min) - dolní končetiny až k linii pasu PAS R=vždy po zatížení a po tréninku	CWI<PAS - ↓7x7s sprint s 21s odpočinkem CWI=PAS - 300m sprint M=v týdnu před a v týdnu po zátěži (4x utkání)
(Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009) 11 ♂ účastníků	4x20m člunkový běh dle zvukového rytmu do vyčerpání s 5min odpočinkem (celkem 80min) (simulované týmové cvičení)	CWI 10°C 3x(5 + 2,5min pauza), lok. - dolní končetiny po pupek CAW 10° a 40° C 3x(2 + 2min) PAS R=3den (24h po poslední zátěži)	CWI>CAW, PAS - ↓bolest svalů - ↑izometrická síla dolních končetin M=4 a 5 den
(King & Duffield, 2009) 10 ♀ hráček netbalu	4x15min přerušovaných sprintů (odpočinek, 3, 5, 3 min) (simulované cvičení netball)	CWI 9,3°C 2x(5+2,5 pauza), lokálně - DK až po crista iliaca ACT – 40% VO ₂ max PAS R= po testech	CWI = PAS - 5x20m sprint začínající každých 20s – zaznamenáván čas na 10 m a 20m - 5 x výskok z dřepu každých 20s M=0h po zatížení a 24h po zatížení
(Montgomery, Pyne, Cox, et al., 2008) 20 ♂ hráčů basketbalu	3x basketbalové utkání (48min) - (utkání/den)	CWI 11°C 5x(1+2min pauza), celkově - hladina až do středu sternu CARBO – karbohydráty + strečink R=0h po zátěži	CWI>CARBO - ↓bolest svalů - malý až střední efekt, kreatinkináza, M=před, 6h po, 20h po zatížení
(Montgomery, Pyne, Hopkins, et al., 2008) 29 ♂ hráčů basketbalu	3x basketbalové utkání (48min) (utkání/den)	CWI 11°C 5x(1+2min pauza), celkově - hladina až do středu sternu CARBO – karbohydráty + strečink COMPG – kompresní návlky na nohy R=10min po zátěži	CWI>CARBO, COMPG - ↑výkon 20m sprint CWI, COMPG>CARBO - ↑basketbalový dril - ↑výskok do výšky M=před zatížením, po zatížení a zotavení
(Rowell, Coutts, Reaburn, & Hill-Haas, 2009) 20 ♂ mladistvých fotbalistů s vysokou výkonností (~16let)	4x fotbalové utkání (90min) - (utkání/den)	CWI 10°C 5x (1+1min), celkově - hladina až do středu sternu TNWI 34°C R= vždy 20 min po zátěži	CWI>TNWI - ↓bolest svalů CWI=TNWI - kreatinkináza - výskok z dřepu - opakované sprinty - submaximální člunkový M=vždy hned po zotavení

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledky
(Rowell, Coutts, Reaburn, & Hill-Haas, 2011) 20 ♂ mladistvých fotbalistů s vysokou výkonností (~16let)	4x simulované fotbalové utkání - (utkání/den)	CWI 10°C 5x (1+1min pauza), celkově - hladina až do středu sternu TNWI 34°C - hladina až do středu sternu R=0h po zátěži	CWI>TNWI - ↓ bolest svalů - ↑ delší naběhaná vzdálenost - ↑ setrvání ve střední srdeční zóně CWI=TNWI - kreatinínáza M= při utkání
(Sanchez-Ureña et al., 2017) 10 ♂ hráčů basketbalu	90 trénink basketbalu (průměrná SF 158 tepů/min)	CWI 12° 12min CWI 12° 4x (2 + 1 min pauza) PAS R=0h	CWI 12° 4x (2 + 1 min pauza) > PAS - ↓ bolest svalů Obě CWI > PAS - ↑ výskok M=0, 24, 48h po zátěži
(Takeda et al., 2014) 20 ♂ zkušených univerzitních ragby hráčů	Simulované ragby cvičení (80min)	CWI 15°C, 10min, celkově - hladina až ke krku PAS R=5min po zátěži	CWI>PAS - ↓ bolest svalů - ↓ kreatinínáza CWI=PAS - výskok z dřepu s , 10 s cyklo. výkon CWI<PAS - 7x7s sprint s 21s pauzami M=0 a 24h po zátěži

CWI - ponoření do studené vody, CAW - střídavé ponoření do studené a teplé vody, TNWI - ponoření do termoneutrální vody, PAS - pasivní odpočinek, ACT - aktivní odpočinek, M - upřesnění času testování, R - upřesnění času aplikace zotavení, SF - srdeční frekvence, VO₂max - maximální dosažená spotřeba kyslíku, Zotavení - jedna ze zotavovacích procedur, CARBO - karbohydráty + strečink

Poškození svalů

Veškeré námi nalezené studie zabývající se pozátěžovým vnímáním svalové bolesti (Tabulka I) shledaly pozitivní efekt CWI (Ascensao et al., 2011; Delextrat et al., 2013; Elias et al., 2012; Ingram et al., 2009; Montgomery, Pyne, Cox, et al., 2008; Montgomery, Pyne, Hopkins, et al., 2008; Rowsell et al., 2009, 2011; Sanchez-Ureña et al., 2017; Takeda et al., 2014). Tyto výsledky jsou v souladu s obecným názorem, že CWI způsobuje vazokonstrikci v ponořené oblasti, snižuje otok, omezuje tvorbu zánětu po zátěži a má analgetický efekt (Hohenauer et al., 2015; Poppendieck et al., 2013; Wilcock et al., 2006). Předpokládá se, že při náhlých střetech a změnách směru v týmových sportech dochází k poškození svalových buněk, což způsobuje zánět a bolest v dané oblasti (Proske & Morgan, 2001). Míra poškození svalů bývá určována z krevních ukazatelů (kreatinkináza, myoglobin, laktátdehydrogenáza atd.). Tři studie shledaly pozitivní vliv CWI na snížení ukazatelů svalového poškození (Ascensao et al., 2011; Montgomery, Pyne, Cox, et al., 2008; Takeda et al., 2014) a 2 studie nenalezly žádný vliv na tyto ukazatele (Rowsell et al., 2009, 2011). Zde je nutné zdůraznit, že studie, u kterých nebyl nalezen pozitivní efekt, pracovaly se skupinou mladistvých (~ 16 let), což může být příčinou rozdílných výsledků.

Motorické testy

Srovnáme-li studie (Tabulka I) z hlediska motorických testů, šest studií (Ascensao et al., 2011; Delextrat et al., 2013; Elias et al., 2012; Ingram et al., 2009; Montgomery, Pyne, Hopkins, et al., 2008; Sanchez-Ureña et al., 2017; Takeda et al., 2014) našlo pozitivní vliv CWI na výkon v jednom z testů a tři studie (Higgins et al., 2011; King & Duffield, 2009; Rowsell et al., 2009) neshledaly žádný vliv, či konstatovaly dokonce vliv negativní. Tři studie nenalezly vliv CWI na výskok z dřepu (King & Duffield, 2009; Rowsell et al., 2009; Takeda et al., 2014) a tři našly vliv pozitivní (Ascensao et al., 2011; Delextrat et al., 2013; Elias et al., 2012). Studie Ascensaoa (2011) poukázala i na snížení nárůstu krevních ukazatelů svalového poškození po CWI (kreatinkináza po 24h).

U pozátěžových přerušovaných sprintů, nebyl nalezen pozitivní vliv CWI (Delextrat et al., 2013; Higgins et al., 2011; King & Duffield, 2009; Montgomery, Pyne, Hopkins, et al., 2008; Rowsell et al., 2009; Takeda et al., 2014). Jedna studie našla dokonce zhoršení výkonu pro test 7×7 s sprint s 21 s odpočinkem po CWI oproti odpočinku

pasivnímu (Takeda et al., 2014). Negativní efekt ihned po CWI byl vysvětlován snížením teploty svalu, což mohlo vést ke snížení nervosvalové připravenosti a následnému zhoršení výkonnosti v krátkých velmi intenzivních cvičeních (Higgins et al., 2011). Na základě toho je možné se domnívat, že CWI nebude vhodné před cvičením v maximálních intenzitách.

King a Duffield (2009) nenašli žádný vliv CWI na přerušované sprinty. Ve srovnání s ostatními námi jmenovanými studiemi, autoři používali nejnižší teplotu vody (9,3 °C) při CWI. Tato studie byla jako jediná realizována s ženami, což může ovlivnit efektivitu CWI, protože ženy mají na chlad jinou fyziologickou odezvu než muži (Solianik, Skurvydas, Vitkauskiene, & Brazaitis, 2014). Rozdíly mohou být způsobeny vyšším poměrem povrchu těla k tělesné hmotnosti, vyšším zastoupením tukové tkáně, rozdílnou efektivitou pocení, rozdílnou hladinou hormonů při menstruačním cyklu a rozdílným nastavením CNS (Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001; Rhodes & Rubin, 1999; Solianik et al., 2014) .

Předložené studie (Tabulka I) mají velmi rozdílné protokoly zatížení a CWI. Z tohoto důvodu je porovnání jejich výsledků složité. Ukazuje se, že CWI dokáže snižovat svalovou bolest vznikající po náročném zatížení v týmových sportech, což podtrhuje analgetický efekt CWI. To jestli CWI dokáže rychleji odstraňovat objektivní ukazatele svalového poškození se zdá být rozporuplné. Motorické testy jsou do studií zařazovány z toho důvodu, aby se posoudila míra svalové regenerace, která se projevuje opětovnou práce schopností svalu. Ukazuje se, že CWI může pozitivně ovlivnit test jako je výskok z dřepu, ale při opakovaných sprintech nebyl nalezen žádný vliv. Je možné, že při příliš nízké teplotě může mít CWI negativní vliv na následný výkon.

Individuální sporty

Individuální sporty lze rozdělit podle převažujícího metabolického krytí na *a) výbušné; b) anaerobně vytrvalostní; c) aerobně vytrvalostní sporty o vysoké intenzitě* (Draper & Marshall, 2013).

Výbušné sporty se vyznačují dobou trvání do 10 s, intenzita je nejvyšší možná v dostupném čase. Výkony kladou velmi vysoké nároky na fosfátový systém, který je zodpovědný za rychlou resyntézu ATP. Výbušnost je definována a limitována vztahem síla – rychlost a ovlivňována vztahem délka – napětí (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011). Výkon u výbušných sportů ovlivňuje typ svalové kontrakce, čas dostupný k vyvinutí síly, využití elastické energie, interakce mezi elastickými a kontraktilními vlákny a protahovací reflex. Dále výbušnost souvisí s morfologickými faktory (zahrnující typ svalových vláken, vlastnosti šlach) a neurálními faktory (zapojení, dráždění svalových vláken, synchronizace a mezisvalová koordinace) (Cormie et al., 2011).

Mezi *anaerobně vytrvalostní sporty* zařazujeme výkony s délkou trvání 10 – 90 s.

Intenzita zatížení se pohybuje nad anaerobním prahem. Obecně se předpokládá, že anaerobní práh nastává přibližně kolem hodnot laktátu 4 mmol/l (Stegmann, Kindermann, & Schnabel, 1981). Při tomto zatížení dochází k akumulaci produktů glykolýzy (H^+ , Pi, ADP) v intracelulárním prostředí. Únava je pak spojována právě s vysokou acidózou (pokles pH) a iontovou nerovnováhou (Pi, Ca^{2+} , Na^+ , K^+) (Cairns, 2006; Cooke, 2007; Westerblad et al., 2002). Je dokládáno, že k únavě dochází, když pH ve svalové tkáni dosáhne hodnot 6,4 – 6,6 (Sahlin, 1986). Laktát (sůl kyseliny mléčné) vzniká při rychlé glykolýze přeměnou pyruvátu pomocí laktátdehydrogenázy. Hodnoty laktátu v krvi mohou dosahovat až hodnot 15 – 25 mmol/l (Kindermann & Keul, 1977), zatímco jeho hodnoty ve svalu jsou mnohem vyšší. Rychlost nástupu únavy záleží především na specifické anaerobní trénovanosti svalu, motivaci a odolnosti vůči bolesti (McArdle, Katch, & Katch, 2006).

Do *aerobně vytrvalostních sportů* o vysoké intenzitě zahrnujeme činnosti s časem trvání ~ 1,5 min – 2 h. Jsou to činnosti, kde převažuje aerobní systém při resyntéze ATP. Výkony v těchto sportech se pohybují především pod a na anaerobním prahu, s krátkodobými výkyvy nad jeho úroveň. Tyto výkony jsou závislé především na schopnosti kardiovaskulárního systému dodávat kyslík do pracujících svalů a jejich oxidační kapacitě. Pokles výkonu a únava je vysvětlována poklesem pH, iontovou

nerovnováhou, ale také vyčerpáním svalového glykogenu a zhoršeným nervosvalovým přenosem (Allen et al., 2008b; Ortenblad, Westerblad, & Nielsen, 2013).

Dále budeme posuzovat vliv CWI na *poškození svalů a na opakovaný výkon* u individuálních sportů bez dělení do jednotlivých kategorií podle metabolického krytí, protože tato klasifikace není vždy jednoznačná.

Tabulka II. Přehled studií zabývajících se CWI a individuálními sporty či zatížením

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledek
(Abaidia et al., 2017) 10 ♂ fyzicky aktivních	5x (15 opakování + 3 min pauza) - excentrické kontrakce hamstringů na izokinetickém dynamometru 60°/s	CWI 10°C 10min, celkově WBC -110°C 3min, celkově R=0h po zátěži	CWI>WBC - ↑výskok z jedné a z obou nohou - ↓bolest svalů 24 a 48h po zatížení - ↓snížení kreatinkinázy M=0, 24, 48, 72h po zátěži
(Al Haddad et al., 2010) 22 ♂ účastníků	30s wingate test + 5min pauza + 5min submaximální běh - jednou za týden zátěž, celkem 3x ve třech týdnech	CWI 14-15°C 5min, celkově - do středu sternu TNWI 33-34°C PAS R=0h po zátěži	CWI>TNWI, PAS - ↑aktivita parasymptatiku M=během zátěže a zotavení
(Bailey et al., 2007) 22 ♂ aktivních v různých sportech	90 min Loughboroughův přerušovaný člunkový běh s průměrnou intenzitou 75%VO ₂ max	CWI 10°C 10min, lokálně - DK až ke crista iliaca PAS R=0h po zátěži	CWI>PAS - ↓svalová bolest - ↑maximální volní kontrakce, 24 a 48h - ↓významné snížení kreatinkinázy, 1h CWI=PAS - SF - tělesná teplota jádra - výskok do výšky M=0, 1, 24, 48, 168h po zátěži
(Baláš, Chovan, & Martin, 2010) 5 ♂ zkušených lezců	3x (lezení na převisu o sklonu 45° kruhově do vyčerpání (~4min))	CWI 13°C 3x(4 + 2min pauza) - paže a předloktí CAW 13°C/ 37°C 4x(1 + 3min) - paže a předloktí ACT 60-65 % maximální SF PAS R=0h po zátěži	CWI, ACT>PAS, CWW - ↑lezecká výkonnost CWI=ACT, CAW, PAS - ruční dynamometrie – síla stisku - průměrná SF při lezení M=ruční dynamometrie - vždy před zátěží
(Bastos et al., 2012) 20 ♂ fyzicky aktivních	Běh s konstantní rychlostí do vyčerpání - rychlost zvolena podle toho, kde dosáhli VO ₂ max	CWI 11°C 6min, lokálně - DK až ke crista iliaca ACT 6min, 30%VO ₂ max na ergometru PAS R= 0h po zátěži	CWI, ACT>PAS - ↓laktát, 11, 13, 15 min po zátěži CWI > ACT, PAS - ↑ parasymptatická reaktivace Laktát M=3, 5, 7, 9, 11, 13, 15min
(Broatch, Petersen, & Bishop, 2014) 30 ♂ fyzicky aktivních	5min rozcvičení 100W + 4x (30s all-out (odpor 7,5% tělesné hmotnosti) + 4min odpočinek)	CWI 10-14°C, 15min TNW CWI - placebo R=5min po zátěži	CWI=TNW, CWI - placebo - MVC - interleukin-6, lymfocyty, neutrofilly M=0, 1, 24, 48h po zátěži
(Buchheit et al., 2010) 9 ♂ výkonnostních plavců	6 x 50m sprint (bazén 25m) - mezi sprinty vždy 2min zotavení	CWI 2min, v bazénu PAS 2min, mimo bazén R= mezi sprinty	CWI>PAS - ↑srdeční frekvence v 80s zotavení - ↓nižší krevní laktát po třetím sprintu - ↑výkon na 50m M=1min po třetím sprintu a 3min po 6 spr.
(Crampton, Donne, Warmington, & Egana, 2013) 9 ♂ trénovaných účastníků	2x (5min 50% VO ₂ max+ 5min 60% VO ₂ max + 80% VO ₂ max do selhání) - mezi cvičením 40min pauza - na cykloergometru	CWI 15°C, 30min, lokálně - DK do úrovně boků CWI 15°C + cvičení pažema CAW 8°/40°C 6x(2,5 + 2,5min) ACT 40% VO ₂ peak R=5min v pauze po prvním zatížení	CWI>CAW, ACT, TNWI - ↑cyklistická výkonnost (čas do selhání při 80% VO ₂ max) - ↓ tělesná teplota - ↓ SF - M=během zatížení

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledky
(Crampton, Egana, Donne, & Warmington, 2014) 8 ♂ vytrvalostně trénovaných účastníků	(3x[4min v nízké intenzitě 50W + 30s wingate test] + 40min pauza na zotavení)	CWI 15°C, 30min, lokálně - DK až k bokům ACT 40% max. výkonu, 60rpm - cvičení pažemi - opakovaně 4min cvičení + 1min pauza CWI 15° ACT - zároveň cvičení pažemi TNWI ACT 32°C - zároveň cvičení pažemi R=5min v pauze po prvním zatížení	CWI, CWI ACT < ACT, TNWI - ↓ výkon a průměrný výkon ve wingate testech CWI ACT > CWI - ↑ výkon a průměrný výkon ve wingate testech - ↓ tělesná teplota CWI, CWI ACT = ACT, TNWI - krevní laktát M=při zatížení a zotavení, krev před a po každém wingate testu
(Crystal, Townson, Cook, & LaRoche, 2013) 20 ♂ rekreačně aktivních účastníků	40min běh v 10° sklonu	CWI 5°C 20min, lokálně - DK až k vršku stehna PAS R=0h po zátěži	CWI=PAS - maximální izometrická síla extenzorů - bolest svalů - obvod stehna M=před zátěží, 0, 1, 6, 24, 48 a 72h po zátěži
(Dunne, Crampton, & Egana, 2013) 9 ♂ vytrvalostně trénovaných účastníků	2x běh na běžeckém pásu do vyčerpání od 9km/h + zvyšování vždy o 1km/h za 3min - mezi zatížením 25min pauza	CWI 8°C 15min, lokálně - DK k bokům CWI 15°C 15min PAS R= v pauze mezi zatížením	CWI 8 > CWI 15, PAS - ↑ běžecká výkonnost čas do selhání na běžeckém pásu) - ↓ intestinální teplota CWI 8, CWI 15 = PAS - krevní laktát - VO ₂ M=krev před zátěží, každých 5min při první zátěži a druhé zátěži, každé 3min při zotavení
(Glasgow, Ferris, & Bleakley, 2014) 32 ♂ + 18 ♀ účastníků	3 x (3s excentrické kontrakce hamstringu se 100% maxima do vyčerpání + 1min pauza) - vyčerpání = neschopnost kontrolovat kontrakci	CWI 10°C 3x(1 + 1min pauza) CAW 10°/38°C 3x(1 + 1min) CWI 6°C 10min CWI 10°C 10min PAS R=0h po zátěži	CWI 6 > CWI 10, CAW, PAS - ↓ bolest svalů - ↓ bolest svalů při protahování - CWI 6 = CWI 10, CAW, PAS - svalová síla - kreatinínáza M=0, 24, 48, 72, 96h po zátěži
(Goodall & Howatson, 2008) 18 ♂ fyzicky aktivních	5x (20 plyometrických výskoků, 0,6m dolů a pak co nejvyšší + 2min přestávka)	CWI 15°, 12min - DK až ke crista iliaca PAS R=0, 24, 48, 72h po zátěži	CWI=PAS - MVC - rozsah pohybu - kreatinínáza M=0, 24, 48, 72, 96h po zátěži
(Heyman, De Geus, Mertens, & Meeusen, 2009) 13 ♂ zkušených lezkyň	Opakované lezení cesty 7 UIAA do vyčerpání - délka cesty 22m - sklon 35° - rychlost = konstantní - lezení s horním jištěním	CWI 15°C 3x(5 + 2min pauza), lokálně - pouze předloktí ACT 30 - 40 W, 50-70rpm - cykloergometr ES PAS R=0h po zatížení	CWI ,ACT > ES, PAS - ↑ lezecká výkonnost CWI < ACT - ↑ krevní laktát M=před a po zátěži
(Christensen & Bangsbo, 2016) 12 ♂ dráhových cyklistů	4000m závod v dráhové cyklistice se opakoval znovu po 3h	CWI 15°, 15min, lokálně - DK až k pupku PAS R=5 min a 2h a 35min po zátěži	CWI=PAS - 4000m v dráhové cyklistice - laktát
(Kimura, Gulick, & Thompson, 1997) 11 ♂ + 11 (žen)	Testování na isokinetickém dynamometru - excentrické plantární flexe - Maximální moment síly - v = 30°/s - v = 120°/s - Vytrvalostní test 100x - v = 120°/s	CWI 10°C, 30min, lokálně - DK do poloviny stehna PAS R=po testech	CWI > PAS - ↑ vytrvalostní test CWI = PAS - maximální síla při 30°/s a 120°/s M=0h a po ZOTAVENÍ
(Leal Junior et al., 2011) 6 ♂ futsálových hráčů	3x wingate test (1, 8 a 15 den)	CWI 5°C 5min, lokálně - DK až k pohlavnímu ústrojí LEDT R=0h po zátěži	CWI=LEDT - maximální síla DK - celková práce - kreatinínáza, c-reaktivní protein M=krev před a po zátěži

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledky
(Leeder et al., 2015) 24 ♂ dobře trénovaných týmových sportovců	90min Loughboroughův přerušovaný člunkový běh s průměrnou intenzitou 75%VO ₂ max	CWI 14°C, 14min, celkově v sedu CWI 14°C, 14min, celkově ve stoji PAS R=0h	CWI v sedu > CWI ve stoji - svalová bolest, 48h interleukin-6, 1h CWI=PAS - MVC - kreatinkináza, C-reaktivní protein M=0, 1, 24, 48, 72
(Ottone et al., 2014) 5 ♂ fyzicky aktivních účastníků	3x10 opakování unilaterální extenze kolene se 100% maxima (10min) + 2x 45min 70%VO ₂ peak běh s 10min pauzou	CWI 15°C TNWI 28°C HWI 38°C PAS R=0h po zátěži	CWI>TNWI, PAS - ↑ aktivita parasymptiku HWI<PAS, TNWI - ↓ aktivita parasymptiku M=před zátěží a 0, 15, 45 a 335min po zátěži
(Parouty et al., 2010) 5 ♂ + 5 ♀ výkonnostních plavců	2x plavecký sprint 100m kraul mezi sprinty 30min pauza	CWI 14-15°C 5min, celkově - po ramena PAS R=během 30min pauzy	CWI>PAS - ↓ svalová bolest CWI<PAS - ↓ plavecká výkonnost CWI=PAS - krevní laktát M=krev 3min před zátěží a 2min po
(Peiffer et al., 2009) 10 ♂ výkonnostních cyklistů	90min jízda na kole (216W) + 16,1km časovka při vysoké teplotě (32°C)	CWI 14°C, 20min, celkově - do středu sternu PAS R=0h po zátěži	CWI<PAS - ↓ izometrická síla DK - ↓ zúžení femorální vény M=0, 45 a 90min po zátěži
(Pournot et al., 2011) 41 ♂ elitních sportovců	2x 10min přerušované cvičení do vyčerpání - mezi cvičením 10min pauza - 10min (opakovaně 30s - výskoky do výšky s dopomocí paží + 30s veslování do maxima +30s pauza)	CWI 10°C 15min, lokálně - DK až ke crista iliaca CAW 10°C/42°C 5x (1,5+1,5min) TNWI 36°C PAS R= asi 5min po zátěži	CWI>CWT, TNWI, PAS (1h) - ↑ výskoky z dřepu s dopomocí paží - ↑ maximální kontrakce extenzorů kolene CWI,CWT>TNWI, PAS - ↑ maximální volní kontrakce extenzorů kolene - 30s maximální test veslování CWI<TNWI, PAS, CWT - ↓ kreatinkináza CWI=TNWI, PAS, CWT - bolest svalů - M=před zátěží, 0, 1, 24h po zátěži
(Stanley et al., 2012) 18 ♂ dobře trénovaných cyklistů	60 min vysoce intenzivní cyklistiky, po 3h opakování	CWI 14°, 5min, celkově CAW 3x (1min 14° + 2min 36°) R=0h po zátěži	CWI=CAW, PAS - parasymptická reaktivace - výkon v druhém zatížení - svalová bolest CWI>PAS - ↓ SF při druhém výkonu - M= asi 3h po zátěži
(Stanley, Peake, Coombes, & Buchheit, 2014) 14 ♂ cyklistů	3x (3min 90%VO ₂ max + 2min 30%VO ₂ max) na cykloergometru Po zotavení to samé, ale 4x Cca 18min	CWI 10°, 5min, lokálně - DK až k pupku PAS R=10min po zátěži	CWI>PAS - ↑ aktivita parasymptiku - ↓ využití kyslíku ve svalích - ↑ anaerobního příspěvku při druhém výkonu
(Stenson, Stenson, Matthews, & Paolone, 2017) 9 ♂ vytrvalostně trénovaných	8 x 1200m intenzita 75% VO ₂ max	CWI 12°, 12min, lokálně - DK až ke crista iliaca PAS R=0h po zátěži	CWI =PAS - běh 5000m - svalová bolest M=24h
(Strejcová & Konopková, 2012) 14 ♂ sportovců	50x flexe a extenze v kolenním kloubu na izokinetickém dynamometru (150°/s) a po zotavení znovu	CWI 13°C 3x (2,5 + 2min pauza), lokálně - DK k bokům ACT 60-65% maximální SF PAS R=0h po zatížení	CWI, PAS<ACT - ↑ maximální točivý moment síly při extenzi kolene - ↑ průměrná síla

Studie	Zatížení	Zotavení	Výsledky
(Vaile et al., 2011) 10 ♂ účastníků	2x (35min cyklo + 15min zotavení + 45min PAS) - začátek na 125W a zvyšování o 25W každé 3min do vyčerpání - teplota prostředí 32,8°C	CWI 15°C 15min, celkově - kromě hlavy a krku ACT 40% maximálního výkonu R=5min po zátěži	CWI>PAS - ↑cyklistická výkonnost, 1h po zátěži - ↓krevní průtok pod základní hodnoty během CWI - ↓SF během CWI a v prvních 5min zatížení CWI = ACT - krevní laktát M=během zátěže a zotavení
(Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008) 38 ♂ silově trénovaných účastníků	5x10 excentrických kontrakcí na 120% maxima - jedna kontrakce 3-5s, každých 15s - mezi sériemi 3min odpočinek	CWI 15°C 14min, celkově - kromě hlavy a krku HWI 38°C 14min CAW 15/38°C 7x(1+1min) R=0h po zátěži	CWI, CWT>PAS - ↑dřep s výskokem se závažím - ↓střední průměr stehna CWI > PAS - ↓kreatininkáza CWI=PAS, HWI, CAW - myoglobin, interleukin-6, laktátdehydrogenáza CWI<CAW - ↓bolest svalů M=0,24,48 a 72h po zátěži
(Vieira et al., 2016) 42 ♂ vysokoškolských studentů	5x (20 plyometrických výskoků, 0,6m dolů a pak co nejvyšší + 2min přestávka)	CWI 5°, 20min, lokálně CWI 15°, 20min, lokálně - DK až ke crista iliaca PAS R=0h	CWI 5, CWI 15=PAS - MVC - svalová bolest CWI 15>CWI 5, PAS - ↑výskok z dřepu rychlejší zotavení do původních hodnot - ↓kreatininkázy, 72h - nevýznamné snížení svalové bolesti M= 24, 48, 72, 96, 168
(G. E. White, Rhind, & Wells, 2014) 8 ♂ rekreačně aktivních účastníků	12x 120m sprint, s 3min pauzami	CWI 10°C 10min, lokálně - DK až ke crista iliaca CWI 10°C 30min CWI 20°C 10min CWI 20°C 30min PAS R=15min po zatížení	CWI 20°C 30min a CWI 10°C 10min - ↓ interleukin-6, 2h po zatížení CWI 10°C 30min a CWI 20°C 30min - ↓ interleukin-8 a myeloperoxidáza 2h po zatížení CWI 20°C 10min=PAS - ↓seskok a následný výskok, 24 a 48h po zatížení M=před zátěží 0, 1, 2, 24, 48h po zátěži
(Yeung et al., 2016) 20 ♂ účastníků	flexe a extenze v kolenním kloubu na izokineticém dynamometru (60°/s) do selhání (60% max) a po zotavení znovu	CWI 12-15°, 10min, lokálně - DK až ke crista iliaca PAS R=asi 5min po zátěži	CWI >PAS - ↓SF při druhém výkonu - ↑oxygenace tkáně během výkonu - ↓svalová bolest CWI =PAS - výkon v druhém opakování zatížení M=během prvního a druhého výkonu

CWI – ponoření do studené vody, CAW – střídavé ponoření do studené a teplé vody, TNWI – ponoření do termoneutrální vody, PAS – pasivní odpočinek, ACT – aktivní odpočinek, M – upřesnění času testování, R – upřesnění času aplikace zotavení, SF – srdeční frekvence, VO₂max – maximální dosažená spotřeba kyslíku, DK – dolní končetiny, WBC - kryoterapie pomocí zchlazeného vzduchu

Poškození svalů

Vlivem CWI na snížení svalové bolesti po zatížení u individuálních sportů se zabývalo celkem jedenáct námi známých studií (Tabulka II) (Abaidia et al., 2017; Bailey et al., 2007; Crystal et al., 2013; Glasgow et al., 2014; Parouty et al., 2010; Pournot et al., 2011; Stanley et al., 2012; Stenson et al., 2017; Vaile et al., 2008; Vieira et al., 2016; Yeung et al., 2016). Celkem 5 studií nenalezlo žádný efekt CWI na snížení vnímání svalové bolesti (Crystal et al., 2013; Pournot et al., 2011; Stanley et al., 2012; Stenson et al., 2017; Vieira et al., 2016). Můžeme se pouze domnívat, že svalové poškození, které později způsobuje svalovou bolest, nebylo u těchto studií příliš vysoké. Nicméně

pouze tři studie měřily ukazatele svalového poškození a nenašly v tomto případě žádný efekt CWI (Crystal et al., 2013; Pournot et al., 2011; Vieira et al., 2016).

Celkově měřilo ukazatele svalového poškození 12 studií (Tabulka II) (Abaidia et al., 2017; Bailey et al., 2007; Broatch et al., 2014; Crystal et al., 2013; Glasgow et al., 2014; Goodall & Howatson, 2008; Leal Junior et al., 2011; Leeder et al., 2015; Pournot et al., 2011; Vaile et al., 2008; Vieira et al., 2016; G. E. White et al., 2014). Pozitivní efekt CWI našlo 5 studií (Abaidia et al., 2017; Bailey et al., 2007; Vaile et al., 2008; Vieira et al., 2016; G. E. White et al., 2014). Efekt CWI na ukazatele svalového poškození je stále nejasný a různorodost použitých zatížení a protokolů CWI neumožňuje dělat obecné závěry k tomuto tématu.

Opakovaný výkon

Řada studií se snaží zjistit, zda CWI urychlí zotavení a odvrátí pokles opakovaného výkonu. Celkem deset námi známých studií se zabývalo vlivem CWI na opakovaný výkon (Tabulka II) (Baláš et al., 2010; Christensen & Bangsbo, 2016; Crampton et al., 2013; Dunne et al., 2013; Heyman et al., 2009; Parouty et al., 2010; Stanley et al., 2012; Strejcová & Konopková, 2012; Vaile et al., 2011; Yeung et al., 2016). Z toho 5 studií našlo pozitivní vliv CWI na opakovaný výkon (Baláš et al., 2010; Crampton et al., 2013; Dunne et al., 2013; Heyman et al., 2009; Vaile et al., 2011).

Pozitivní efekt CWI na rychlost zotavení byl nalezen při opakovaném lezeckém výkonu do selhání (Baláš et al., 2010). Zotavení bylo aplikováno v 20 min přestávce mezi výkony. Zátěž byla realizovaná na lezecké stěně o sklonu 45°, kde účastníci lezli kruhově do vyčerpání (3-5 min) na předem připravené linii. Výsledky ukázaly, že při aplikaci lokálního přerušovaného CWI (13 °C, 3 × (4 + 2 min)) na svaly předloktí se neobjevuje tak významný ($P < 0,1$) pokles výkonnosti jako v případě PAS.

Lokální aplikace CWI (15 °C, 30 min) na dolní končetiny po zatížení, které probíhalo na cyklistickém ergometru 2 × 5 min s intenzitou 50 % a 60 % VO₂ max + 80 % VO₂ max do selhání sledoval Crampton et al. (2013). Opakovaný výkon ukázal, že po použití CWI nedošlo k tak významnému ($P < 0,05$) poklesu výkonu jako u ostatních procedur.

Pozitivní vliv CWI byl nalezen při opakovaném stupňovaném zatížení na běžeckém ergometru (9 km + 1 km/min) (Dunne et al., 2013). Byly využity dva typy CWI (8 a 15 °C, 15 min). Studie ukázala, že po CWI 8 nedošlo k tak významnému ($P < 0,05$) poklesu opakovaného výkonu jako při CWI 15 a PAS.

Rychlost zotavení po opakovaném lezeckém výkonu na stěně, kde lezci lezli na laně cestu 22 m dlouhou ve sklonu 35° (7 UIAA) opakovaně až do vyčerpání zkoumala Heymanová et al. (2009). CWI bylo aplikováno přerušovaně (15 °C, 3 × (5 + 2 min pauza)) na předloktí. Účastníci studie po aplikaci CWI podali stejný výkon a nedošlo u nich k poklesu jako v případě PAS ($P < 0,05$).

Pozitivní efekt CWI (15 °C, 15 min) byl popsán u stupňovaného výkonu na cykloergometru do vyčerpání (~ 35 min) (Vaile et al., 2011). Porovnání CWI a ACT (aktivní odpočinek) ukázalo, že po CWI se opakovaný výkon zvýšil nad úroveň prvního výkonu ve srovnání s ACT, kde výkon poklesl.

Studie, kde byl nalezen pozitivní vliv CWI na rychlost zotavení mají několik společných rysů: 1) výkon probíhal až do vyčerpání; 2) CWI bylo aplikováno ihned po zatížení; 3) opakování výkonu proběhlo 0-40 min po aplikaci CWI. Na základě toho, že výkon probíhal až do vyčerpání, se lze domnívat, že selhání bylo způsobeno na základě celkové nebo lokální acidózy. Pro opakovaný výkon ve sportovním lezení byly nalezeny dva protokoly přerušovaného CWI (13 °C, 3 × (4 + 2 min pauza); 15 °C, 3 × (5 + 2 min pauza)) (Baláš et al., 2010; Heyman et al., 2009). Nicméně Baláš et al. (2010) měli poměrně malý výzkumný soubor (5 účastníků) a Heymanová et al. (2009) disponovali pouze souborem skládající se z účastníků ženského pohlaví. Důležitý poznatek přinesli Dunne et al. (2013), kteří při aplikaci CWI s teplotou 8 °C a 15 °C našli návrat opakovaného výkonu do výchozích hodnot pouze pro teplotu vody 8 °C. Ačkoliv se ukazuje, že teplota vody 8 °C může mít pozitivní vliv na opakovaný výkon, tato teplota nebyla nikdy využita pro CWI ve sportovním lezení.

Dále se zmíníme o studiích, kde CWI nemělo vliv na rychlost zotavení nebo se objevil vliv negativní. CWI nemělo efekt na urychlení zotavení v závodě dráhové cyklistiky na 4000 m (Christensen & Bangsbo, 2016). Je nutné upozornit, že výkon se opakovával až po třech hodinách. Negativní vliv CWI byl nalezen při opakování plaveckého sprintu na 100 m (Parouty et al., 2010). To mohlo být způsobeno útlumem nervosvalového přenosu, který mohl ovlivnit provedení a rychlost cyklického pohybu. Stanley et al. (2012) hodnotili vliv CWI na opakování 60 min vysoce intenzivního cyklistického tréninku a nenašli žádný rozdíl mezi CWI a PAS. Výkon byl znovu opakován až po třech hodinách. CWI nemělo vliv na opakovaný vytrvalostní výkon na izokinetickém dynamometru (50x flexe a extenze 150°/s) (Strejcová & Konopková, 2012). Nicméně z výsledků studie je patrný nevýznamný rozdíl, kde opakovaný výkon

po CWI je vyšší než po PAS. Je možné, že kdyby výkon v této studii probíhal až do selhání, mohl být objeven pozitivní vliv CWI. Při opakovaném výkonu na izokinetickém dynamometru (60°/s, konec při 60 % maxima) nemělo CWI vliv na rychlost zotavení (Yeung et al., 2016).

Studie, kde nebyl ukázán pozitivní vliv CWI na opakovaný výkon mají jeden společný rys, jejich zatížení neprobíhalo do selhání. Z toho důvodu u nich můžeme očekávat odlišný typ únavy než u studií, které probíhaly do selhání.

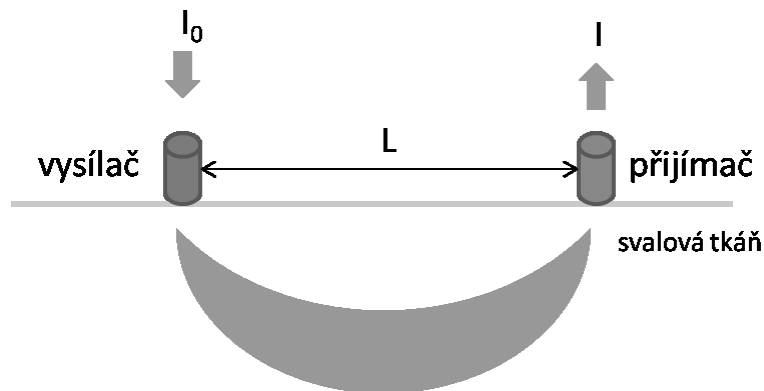
Na základě předchozích poznatků je možné se domnívat, že CWI urychluje zotavení mezi opakovanými výkony, které probíhají do vyčerpání. Zotavení je u nich aplikováno okamžitě, nebo v krátkém časovém odstupu a další výkon následuje za 0-40 min.

CWI způsobuje mnoho změn, které mohou ovlivňovat rychlost zotavení z dlouhodobého i krátkodobého hlediska. Hemodynamický efekt spočívá ve zpomalení krevního průtoku, což pomáhá předejít edému. Při střídavém ponořování může docházet ke střídavému snížení a zrychlení krevního průtoku a tím přispět ke zrychlenému odstranění metabolitů. Kardiovaskulární efekt spočívá ve změně nervové aktivity srdce a jeho efektivity. O neuromuskulárním efektu se mluví v souvislosti se snížením nervosvalové vodivosti, což vede ke snížení svalové bolesti a předchází svalovému spasmu. Metabolický efekt je spojován se zpomalením metabolismu svalových buněk, což může zmírňovat stres vzniklý v předchozím zatížení. Dále se předpokládá, že zpomalení metabolismu vede ke snížené produkci metabolitů.

Fyziologické mechanismy CWI není jednoduché objasnit, protože probíhají in vivo a invazivní metody není možné vždy využít. V současnosti lze využít pro neinvazivní posuzování fyziologických mechanismů in vivo blízko červenou spektroskopii. Pomocí této metody lze zjistit údaje o aktuální oxygenaci, re-oxygenaci a de-oxygenaci svalové tkáně a další odvozené parametry, které vypovídají o aktuálně probíhajících fyziologických procesech. Domníváme se, že využití této technologie může pomoci identifikovat hemodynamické změny, které CWI vyvolává.

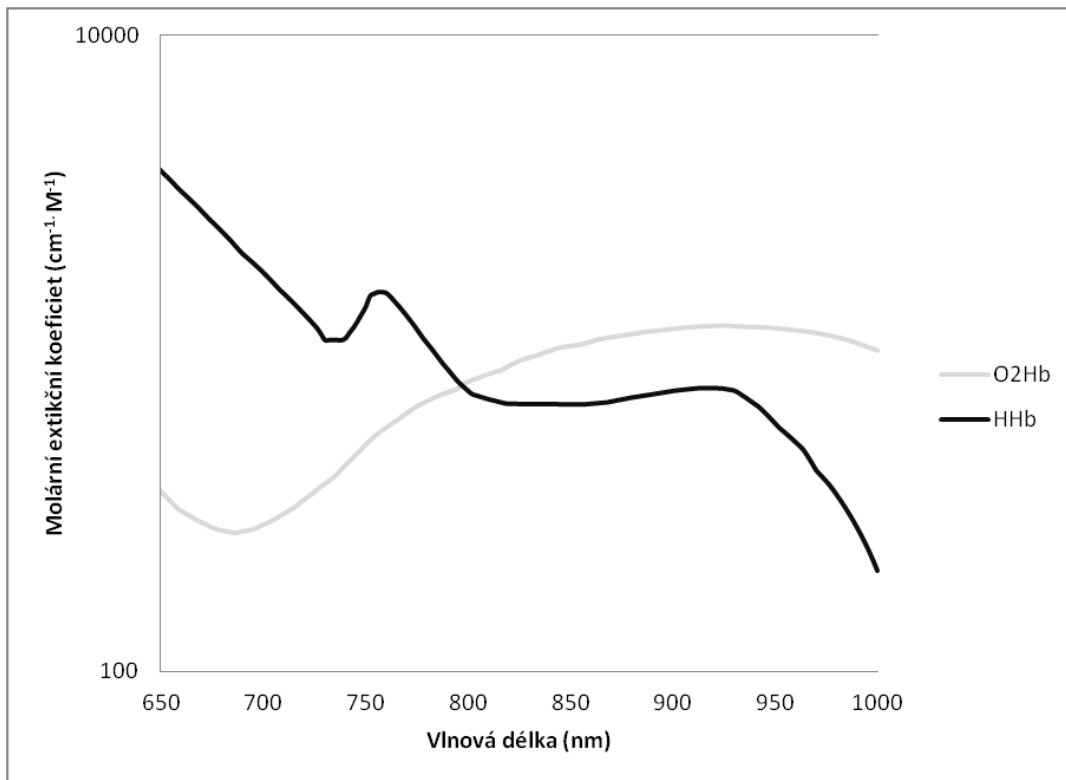
2.4 NIRS a sledování fyziologických mechanismů

Blízká infračervená spektroskopie (NIRS, Near infrared spectroscopy) je neinvazivní analytická metoda využívající blízkou infračervenou oblast elektromagnetického spektra. Metoda je založena na vysílání záření do tkání a jeho opětovné přijímání a analyzování. Předpokládá se, že záření (I_0) prochází od vysílače k přijímači tkání po křivce ve tvaru "bumerangu" (Obrázek 2).



Obrázek 2. Znázornění podstaty NIRS (obrázek autora)

NIRS využívá vlnové délky v rozpětí 700-900 nm, protože tyto vlnové délky lépe pronikají biologickými tkáněmi než viditelné světlo (Jobsis, 1977). V tomto blízkém infračerveném rozpětí jsou hemoglobin (Hb) a myoglobin (Mb) považovány za hlavní chromofory (látky absorbující elektromagnetické záření). Hb má dvě varianty: oxy-hemoglobin (O_2Hb) a deoxy-hemoglobin (HHb), z nichž každá má různé absorpční vlastnosti NIR světla (Obrázek 3).



Obrázek 3. Absorpční spektra hemoglobinu (Prahl, 1999)

Pro výpočet absorpce určitého chromoforu lze využít Lambert-Beerův zákon:

$OD_{\lambda} = \text{Log} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon_{\lambda} \cdot c \cdot L$, kde OD_{λ} je bezrozměrný faktor známý též jako optická hustota média, I_0 je intenzita záření vstupující do média, I je intenzita záření po průchodu absorbujícím médiem, $\text{Log} \left(\frac{I_0}{I} \right)$ absorpance média (pohlčení záření měřeným vzorkem), ε_{λ} je molární absorpční koeficient ($\mu\text{mol}/\text{cm}$), c je koncentrace rozpuštěné látky (μmol), L vzdálenost mezi vstupujícím a vystupujícím světlem (cm) a λ je vlnová délka použitého záření (nm). Pokud chceme využít Lambert-Beerův zákon pro biologickou tkáň, musíme do rovnice začlenit bezrozměrný „different path-length factor“ (DPF). Ten slouží jako korekční faktor a závisí na typu měřené tkáně a využívané vlnové délce. Tento faktor, může být přímo měřen pouze spektroskopickými systémy využívající "time-domain" a "frequency-domain" technologií. Při využívání NIRS typu "continuous wave" se DPF zadává podle typu měřené biologické tkáně. Modifikovaný Lambert-Beerův zahrnující DPF je dán rovnicí:

$$\Delta c = \frac{\Delta OD_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda} \cdot L \cdot DPF}, \text{ kde } \Delta OD_{\lambda} \text{ představuje nezávislé optické ztráty způsobené}$$

rozptýlením a absorbcí záření ve tkáních. Předpokládá se, že ΔOD_λ je během měření NIRS konstantní, a proto lze změny optické hustoty převést na změny v koncentracích. Tuto rovnici lze využít pouze pro vzorek s jedním chromoforem. Pokud je ve vzorku více chromoforů, je nutné využít alespoň tolik vlnových délek, jako je počet chromoforů. Tento postup vede k sestavení soustavy lineárních rovnic a řešení těchto soustav vede k algoritmům, jež využívá většina systémů NIRS.

V praxi se využívají tři základní typy NIRS lišící se ve způsobu ozařování tkáně (Quaresima, Lepanto, & Ferrari, 2003): 1) "continuous-wave" (*cw*); 2) "frequency-domain" (*fd*); 3) "time-domain" (*td*). *Cw* technika posílá konstantní záření skrz tkáň a analyzuje jeho zeslabení. Přístroje typu *fd* využívají k ozáření tkáně záření s upravenou intenzitou a měří zeslabení a fázový posun vycházející ho záření. Technika *td* ozařuje tkáň v impulzech a analyzuje tvar impulzů po průchodu tkáněmi. Cena přístrojů značně roste podle udaného pořadí, z toho důvodu se ve sportovní fyziologii nejčastěji setkáme s přístroji využívající techniku *CW*, ačkoliv pouze při použití *FD* a *TD* techniky je možné získat absolutní koncentrace O_2Hb a HHb a celkového hemoglobinu ($tHb = O_2Hb + HHb$). Nicméně k získání absolutních hodnot tHb je možné u techniky *CW* využít metodu "spatially resolved spectroscopy" (*SRS*). Tato metoda je založená na analyzování záření procházejícího tkání v různých vzdálenostech od snímače. Na základě toho lze rozlišit mezi světlem, které cestovalo krátké vzdálenosti a světlem, které cestovalo na delší vzdálenosti. Tento princip pak může být využit pro stanovení absorpčních a rozptylových vlastností různých vrstev tkáně. *SRS* se také často využívá k výpočtu indexu tkáňové saturace (TSI (%)), který je dán touto rovnicí: $TSI = \frac{O_2Hb}{tHb} \times 100$, kde O_2Hb je oxy-hemoglobin a tHb je celkový hemoglobin ($O_2Hb + HHb$). TSI je odvozeným parametrem, který udává oxygenaci v procentech a odráží dynamickou rovnováhu mezi zásobováním a spotřebou kyslíku ve vyšetřovaném svalu (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).

Nejčastěji sledované parametry získané pomocí NIRS jsou O_2Hb , HHb , tHb a TSI . Změna TSI směrem dolů při spotřebě O_2 ve svalové tkáni je nazývána de-oxygenace. Re-oxygenace je pak změna TSI směrem vzhůru, kdy svalová tkáň vyrovnává deficit O_2 . Nicméně existuje řada dalších parametrů, které se využívají. Krevní průtok (ml/min) lze měřit za pomoci NIRS a tlakové manžety, která při zaškrcení na 50 mmHg

způsobí venózní okluzi. Metoda byla validována za pomoci pletysmografie (De Blasi et al., 1994). Venózní O₂ saturaci svalu (SvO₂ (%)) lze určit za pomoci venózní okluze a rozdílu mezi O₂Hb a tHb (Yoxall & Weindling, 1997). Čas zotavení lze popsat jako dobu, za kterou se svalová tkáň vyrovná s akumulovaným deficitem O₂ a vrátí se do původní hodnoty (Chance, Dait, Zhang, Hamaoka, & Hagerman, 1992). Bylo zjištěno, že aktuální spotřebu VO₂ ve svalu (g/min) lze měřit pomocí úvodní rychlosti de-oxygenace při cvičení flexorů prstů (Hamaoka et al., 1996).

Spolehlivost měření pomocí NIRS ovlivňuje několik faktorů. Jedním z nich je podkožní tuková vrstva (Lin et al., 1998; van Beekvelt, Borghuis, van Engelen, Wevers, & Colier, 2001). Tento problém lze řešit korekcí (Niwayama et al., 1999; Yamamoto et al., 1998), která může být v budoucnu zabudovaná do přístrojů. Dalším faktorem, které ovlivňují NIRS je silná kontrakce svalů, při které mohou k rušivým signálům v oxygenaci (Hamaoka, McCully, Niwayama, & Chance, 2011). Hlavní důvody, které přispívají k těmto nechtěným artefaktům jsou tyto: tvorba malé mezery mezi senzorem NIRS a kůží a změna optické dráhy způsobená změnou tvaru svalu. Tvorbě malých mezer mezi senzorem a kůží lze zamezit zajištěním stále stejného tlaku senzoru a problém se změnou optické dráhy je pravděpodobně možné vyřešit monitorováním svalu pomocí ultrazvuku (Hamaoka et al., 2011). Signál NIRS je také ovlivňován tím, že Hb není jediný chromofor ve svalové tkáni a stále se spekuluje, z jak velké části přispívá k signálu NIRS i myoglobin (Mb) a jak tento signál může ovlivňovat (Grassi & Quaresima, 2016; Lanza, Tevald, Befroy, & Kent-Braun, 2010). Signál NIRS tedy vždy měří Hb + Mb. Nicméně předpokládá se, že celkové množství Mb by se nemělo měnit během cvičení, a proto změny v celkovém Hb + Mb by měly odrážet zvýšené množství kapilárního hematokritu (Grassi & Quaresima, 2016).

Popularita NIRS v biomedicínském prostředí se stále rozšiřuje. V současnosti byla NIRS využita ve spojitosti s kosterním svaelem v širokém okruhu studií jako například: svalové poškození (Ahmadi, Sinclair, Foroughi, & Davis, 2008; Caldwell et al., 2016), heterogenita svalů v zásobování/spotřebě kyslíku během cvičení (Koga et al., 2007; Prieur, Berthoin, Marles, Blondel, & Mucci, 2010), zkoumání svalové aktivity (Muthalib, Lee, Millet, Ferrari, & Nosaka, 2010), vliv tréninku (McKay, Paterson, & Kowalchuk, 2009), vztah mezi laktátem a oxygenací svalu (Xu, Mao, Ye, & Lv, 2010), rozlišení mezi běžnou populací a sportovci (Brizendine, Ryan, Larson, & McCully, 2013). Současné studie ukazují, že NIRS je validním nástrojem pro hodnocení lokální spotřeby kyslíku ve svaly, určení oxygenačního prahu, tkáňové de-oxygenace

a rychlosti zotavení O₂ (Brizendine et al., 2013; van der Zwaard et al., 2016; Zorgati et al., 2015) .

Mezi hlavní sporty, ve kterých byla úspěšně využita NIRS patří alpské lyžování, cyklistika, běžecké lyžování, vzpírání, veslování, atletika, atd.. (Quaresima et al., 2003). NIRS je využívána v řadě sportovních disciplín, ale neexistuje žádná studie zabývající se reliabilitou NIRS v konkrétních sportovních-specifických podmínkách. Veškeré studie k reliabilitě vycházejí z kontrolovaných laboratorních podmínek (Celie, Boone, Van Coster, & Bourgois, 2012; Crenshaw, Elcadi, Hellstrom, & Mathiassen, 2012; Niemeijer et al., 2017; Stone, Fryer, Ryan, & Stoner, 2016; van Beekvelt, van Engelen, Wevers, & Colier, 2002). Znalost reliability výzkumné metody je důležitá pro správnou interpretaci výsledků. V tabulce III jsou uvedeny studie zabývající problematikou reliability NIRS, z nichž všechny se shodují na tom, že NIRS je dostatečně reliabilním nástrojem.

Tabulka III. Přehled studií zabývajících se reliabilitou parametrů odvozených z NIRS

Studie	Měření	Reliabilita
(Celie et al., 2012)	Ruční dynamometrie v intenzitě 20 % MVC a zvyšující se vždy po 2 min a 1 min odpočinku o 10 % MVC až do vyčerpání	Test - retest - TSI (rozdíl mezi 10 s minim a 30 s klidu) ICC 0,22-0,774 pro všechny úrovně MVC
(Crenshaw et al., 2012)	20 s izometrická kontrakce - extenzor carpi radialis (s intenzitou 10, 30, 50 a 70 % MVC)	Test - retest - parametry odvozené z NIRS ICC nejnižší při 10 % MVC - 0,58 ICC nejvyšší při 30 % MVC - 0,95 LOA nejnižší při 10 % MVC LOA nejvyšší při 50 % a 70 % MVC
(Niemeijer et al., 2017)	6 min submaximální zátěže s intenzitou 80 % anaerobního prahu na cykloergometru na m. vastus lateralis	Test - retest - parametry NIRS ICC 0,17-0,92 CV 4,7-209 %
(van Beekvelt et al., 2002)	Rytmičké izometrické cvičení s ručním dynamometrem v intenzitě 10-90 % MVC na m. flexor digitorum superficialis	Test - retest - TSI – spotřeba O ₂ CV 13,3-23,2 %
Stone et al. (2016)	Ortostatická zkouška na m. soleus a m. gastrocnemius	Test - retest - tHb ICC 0,75

MVC – maximální volní kontrakce, ICC – vnitrotřídní korelační koeficient, LOA – limit shody, CV – koeficient variace, TSI – index tkáňové saturace, tHb – celkový hemoglobin

Reliabilita NIRS byla v předchozích studiích posuzována pouze v laboratorních podmínkách při kterých se snižuje ekologická validita. Dalším logickým krokem by mělo být zjištění reliability ve sportovně specifických podmínkách, kde je složité kontrolovat rušivé faktory zasahující do měření.

NIRS je validním nástrojem k hodnocení TSI, tHb, O₂Hb, HHb a ostatních odvozených parametrů ve vyšetřovaném svalu (Jones, Chiesa, Chaturvedi, & Hughes, 2016; Mancini et al., 1994).

Velké množství studií využívající NIRS ve sportovním lezení (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015; Giles et al., 2017; Kodejška, Michailov, & Baláš, 2015; Macleod et al., 2007; Philippe, Wegst, Muller, Raschner, & Burtscher, 2012) dokládá, že lezci jsou vhodnou populací pro sledování hemodynamických změn. Baláš et al. (2016) využívali hodnocení svalové oxygenace během intermitentního výkonu do vyčerpání (intenzita 60% MVC, 8 s kontrakce, 2 s uvolnění) s a bez aktivního odpočinku. Výsledky ukázaly, že aktivní odpočinek dokáže prodloužit výkon o ~ 32% a je spojen s větší re-oxygenací svalové tkáně. Fryer et al. (2015; 2015) zkoumali de-oxygenaci a re-oxygenaci svalů předloktí během intermitentního testu do vyčerpání (intenzita 40 % MVC, 10 s kontrakce, 3 s uvolnění) a našli, že elitní lezci mají významně vyšší ($P < 0,05$) de-oxygenaci flexorů prstů při kontrakci než kontrolní skupina. Giles et al. (2017) porovnávali kinetiku kyslíku svalů předloktí mezi dominantní a nedominantní paží u sportovních lezců. Zjistili významně rychlejší re-oxygenaci flexorů digiti profundii na dominantní paži. Kodejška et al. (2015) sledovali průměrnou de-oxygenaci svalů během izometrické kontrakce s intenzitou 60 % MVC do selhání a zjistili, že sportovní lezci zaměřující se na lezení na obtížnost, jsou schopni více de-oxygenovat zatěžované svaly, než lezci zaměřující se na bouldering. Vyšší re-oxygenace ve fázi uvolnění byla nalezena během intermitentního testu flexorů prstů do vyčerpání (intenzita 40 % MVC, 10 s kontrakce, 3 s uvolnění) u elitních lezců a pokročilých lezců než u nelezců (Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012)

2.5 Sportovní lezení

Sportovní lezení je pohybovou aktivitou, která si našla v posledních dvaceti letech zájem široké veřejnosti. Důkazem je i zařazení sportovního lezení do letních olympijských her v Tokiu v roce 2020. Za posledních 20 let se spolu s tréninkovými inovacemi zvyšuje velmi výrazně i výkonnost lezců. Ovšem nejedná se jen o nové tréninkové metody a postupy, ale i nové procedury urychlující zotavení lezců po náročném tréninku a v rámci soutěží.

Sportovní lezení lze vymezit pravidly, které ho oddělují od ostatních horolezeckých aktivit. Základním uznávaným pravidlem je, že lezec překonává cestu pouze za pomoci svých vlastních sil a umělé pomůcky mu slouží pouze k jištění, nikoliv k postupu vpřed (Procházka, Procházka, Rotman, & Novák, 1990).

Ve sportovním lezení se postupně ustanovily tři základní soutěžní disciplíny. Jedná se o **lezení na obtížnost**, **lezení na rychlost** a **bouldering**. Při lezení na obtížnost postupuje lezec po stěně obvykle směrem vzhůru navázán na lano a k postupu mu slouží chyty pro ruce a stupy pro nohy. Během postupu v cestě lezec zapíná lano do postupového jištění a při případném pádu ho zachytává jistič. V lezení na rychlost se snaží lezec předem nacvičenou cestu zdolat v co nejkratším čase. V boulderingu se lezou krátké a velmi těžké sekvence kroků (problémů) nízko nad zemí s případným pádem do dopadové matrace.

Výkon ve sportovním lezení není jednoduché objektivně hodnotit, protože lezecké terény jsou velmi různorodé. Jiné zatížení můžeme očekávat na kolmých 40 m cestách, jiné na 10 m převislých cestách v jeskyni a jiné na 5 krokových cestách v boulderingu. Zatížení v lezení můžeme obecně charakterizovat objemem, intenzitou a dobou odpočinku.

Objemem v lezení nejčastěji rozumíme počet lezeckých metrů nebo počet lezeckých kroků. Intenzitu ve sportovním lezení lze vyjádřit jako rychlost lokomoce pouze při lezení na rychlost. Ve sportovním lezení na obtížnost a v boulderingu toto vyjádřit nelze, protože rychlost není hlavním předpokladem k úspěchu. Optimální rychlost lezení cesty je podmíněna její obtížností a individuálními charakteristikami lezce. Pokud je rychlost příliš vysoká, může to vést ke ztrátě koordinace (Booth, Marino, Hill, & Gwinn, 1999). Nicméně Donath et al. (2013) ukázali, že lezci s vyšší výkonností mají

vyšší rychlost lezení a kratší kontaktní čas prstů s chytem, což jim pravděpodobně šetří energii v obtížných cestách. Intenzita je ve sportovním lezení vyjádřena obtížností cesty.

Pro hodnocení obtížnosti dané cesty (lezeckého výkonu) se využívá řada klasifikačních stupnic. V našich podmínkách se ve sportovním lezení nejvíce využívá stupnice UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme) a někdy též stupnice francouzská. Stupnice UIAA se pohybuje v rozmezí 1-12 a pro jemnější rozlišení se též využívá znamének + a -. Kromě hodnocení obtížnosti je ještě důležitý styl přeletu cesty. Nejznámější jsou RP (Red point), OS (On sight) a AF (All free). Styl RP je využíván k hodnocení aktuální lezecké výkonnosti a označuje cestu, kterou lezec přešel bez odsednutí do lana, ale mohl si ji předem nacvičit. Styl OS značí přelet cesty bez předchozího nacvičování na první pokus. Při AF stylu lezec přešel cestu, ale mohl si kdekoliv odpočinout u postupového jištění a jednotlivé kroky nacvičovat.

Lezecký výkon je typický intermitentním zatížením, při kterém se střídají statické a dynamické fáze. Statické fáze slouží k odpočinku nebo k dalšímu načítání cesty a dynamické fáze k realizaci pohybu.

Při **lezení na obtížnost** se ukázalo, že statické fáze tvoří 30-70 % času lezení (Billat, Palleja, Charlaix, Rizzardo, & Janel, 1995; Watts, 2004). Čas kontaktu prstů s chytem je 10-12 s (Donath et al., 2013; Schädle-Schardt, 1998). Poměr dynamické a statické fáze byl 1:3 až 1:8, nižší poměr byl sledován u pokročilých lezců (Donath et al., 2013; Schädle-Schardt, 1998).

Čas zatížení při lezení na obtížnost se pohybuje nejčastěji v rozmezí 2-7 min (Watts, 2004). Při skalním lezení se čas lezení pohybuje obvykle kolem 15-20 min podle charakteru cesty. V soutěžním lezení na obtížnost se nejčastěji lezou 4 cesty: dvě cesty kvalifikační, jedna semifinálová a jedna finálová. Cesta musí mít alespoň 15 m. Maximální čas pro přelet kvalifikační cesty je 8 min a 6 min pro cestu semifinálovou a finálovou. Cesty jsou rozloženy na mezinárodních závodech do dvou dnů s minimální přestávkou 50 min (Hatch, 2017). Čas průměrného lezeckého zatížení se pohybuje kolem 4,5 min v soutěžních podmínkách (Schädle-Schardt, 1998).

V **boulderingu** provedli analýzu zatížení White a Olsen (2010) na elitních závodnících. Zjistilo se, že statické fáze při boulderingu představují 25 % celkového času lezení. Poměr dynamické a statické fáze byl 13:1. Čas zatížení se pohyboval přibližně kolem

30-40 s. V soutěžním boulderingu je připraveno celkem 5 bouldrů pro kvalifikační kolo a 4 bouldry pro semifinálové a finálové kolo. Maximální počet chytů v bouldru je 12 a 4-8 stupů pro nohy. V boulderingu má závodník na vylezení bouldru časový limit 5 min pro kvalifikační a semifinálový bouldr a 4 min na bouldr finálový. Počet pokusů je omezen pouze časovým limitem.

Velmi malou členskou základnu má sportovní **lezení na rychlost**, které se původnímu lezení vzdaluje a spíše se blíží atletickým disciplínám. Cesta s výškou 10-15 m je předem připravena a nacvičována. Soutěž je složena z jednoho pokusu v kvalifikaci a z vyřazovacích pokusů ve finálovém kole. Časy nejlepších výkonů na 15 m cestách se pohybují kolem 6 s. Lezení na rychlost zatím není zájmem výzkumu, pravděpodobně z důvodu malé členské základny.

Analýza sportovního lezení ukazuje rozdílné fyziologické požadavky jednotlivých disciplín. Specifická síla a silová vytrvalost svalů předloktí je jedním z nejdůležitějších faktorů vysvětlující výkon ve sportovním lezení na obtížnost (Baláš, Pecha, Martin, & Cochrane, 2012; España-Romero et al., 2009; Michailov, 2006). Z toho důvodu jsou nejčastěji posuzovaným faktorem silové a silově vytrvalostní předpoklady svalů předloktí. Pro bouldering je nutná vyšší specifická síla, než ve sportovním lezení na obtížnost (Michailov, Mladenov, & Schöffl, 2009). Lze si všimnout, že výkon ve sportovním lezení je vysvětlen z velké části fyziologickými faktory. Toto podporuje i výzkum (Magiera et al., 2013), který dělí faktory vysvětlující lezecký výkon následovně: 38 % fyziologické, 25 % psychické, 33 % technické a 4 % neznámé. Můžeme si všimnout velmi vyrovnaného rozdělení výkonu na tři části, což ukazuje nutnost všestranného rozvoje v těchto oblastech. Pro hlubší porozumění lezeckému výkonu, se budeme dále zabývat fyziologickou odezvou organismu při sportovním lezení.

Fyziologická odezva organismu při sportovním lezení

Ve sportu se často využívá pro sledování intenzity zatížení srdeční frekvence (SF). Tento ukazatel není vhodný pro sportovní lezení, protože vzestup SF není lineární se zvyšující se zátěží. Je to způsobeno z velké části emotivní složkou lezení (Hodgson et al., 2009). Dále zatížení ve sportovním lezení ovlivňují z velké části izometrické kontrakce způsobující metaboreflex (Sheel, 2004). Tento jev aktivuje sympatikus a je vyvolán hypoxií, metabolity ve svalové tkáni a nižším pH. Metaboreflex je spojován se zvýšením SF, krevního tlaku, vazokonstrikcí systémového oběhu a přesměrováním krevního průtoku v periferních cévách (Boushel, 2010). Poloha paží se při sportovním lezení může měnit. Mohou se dostávat nad úroveň srdce, což vyvolává zvýšení SF a systolického tlaku (Åstrand, Guharay, & Wahren, 1968).

Z předešlého textu vyplývá, že srdeční frekvencí nelze monitorovat intenzitu zatížení ve sportovním lezení.

Dalším významným fyziologickým parametrem je spotřeba kyslíku (VO_2).

Sledování VO_2 při sportovním lezení ukázalo vysoké zastoupení aerobního metabolismu (Magalhaes et al., 2007). Účastníci dosahovali 62 % ($33,4 \pm 2,1$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) VO_2 peak stanoveného na běhátku ($54,5 \pm 2,1$ ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Během sportovního lezení nedochází k zapojení velkého množství svalových skupin ve velké intenzitě jako například při běhu nebo cyklistice, což dokazují i nízké hodnoty VO_2 peak získané během lezení (~ 32 - 40 ml/kg/min) (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Booth et al., 1999). Ačkoliv lezení nevyžaduje extrémní hodnoty VO_2 , zapojení aerobního metabolismu je vysoké. Aerobní přeměna energie spolu s izometrickými kontrakcemi spojenými s ischemií během lezení vede k vysokému výskytu oxidačního stresu (tvorbě volných radikálů) ve srovnání s jinými aerobními aktivitami (Magalhaes et al., 2007).

Funkční odezva organismu závisí ve sportovním lezení především na: sklonu a obtížnosti cesty, stylu lezení, rychlosti lezení a zkušenosti lezců.

Spotřeba kyslíku a SF při lezení se zvyšuje se zvyšujícím se sklonem lezecké cesty (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Mermier, Robergs, McMinn, & Heyward, 1997). To můžeme připisovat tomu, že se zvyšujícím se sklonem dochází k intenzivnějšímu zapojení větších svalových partií.

Při porovnání stylu lezení OS (neznámá cesta) a RP (známá cesta) nebyly shledány, žádné průměrné rozdíly v SF nebo VO_2 (Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2008). Nicméně čas lezení byl při stylu RP významně nižší stejně jako množství krevního laktátu. Větší množství krevního laktátu je pravděpodobně dáno prodloužením izometrických kontrakcí při lezení OS, kdy dochází k načítání cesty během lezení.

Rychlost pohybu hraje důležitou úlohu v energetické náročnosti lezení (Booth et al., 1999). Predikční rovnice pro VO_2 byla ustanovena na základě tří rychlostí na lezeckém ergometru: $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) = $11,8 + 2,36v$; ($R^2 = 0,98$), kde v je rychlost lezení v metrech za minutu (Booth et al., 1999).

Zkušenost se v lezení promítá do energetického výdeje při lezení. Významné rozdíly mezi rekreačními a výkonnostními lezci při lezení stejné cesty ukazují na nižší fyziologickou odezvu zkušenějších lezců (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Peduti Dal Molin Kiss, 2007). Tyto rozdíly ukazují, že zkušenost ovlivňuje ekonomiku pohybu při lezení.

Svaly předloktí pracují ve sportovním lezení na obtížnost často až do vyčerpání v intermitentním typu zatížení. Střídání izometrické kontrakce flexorů prstů při držení chytu a jejich uvolnění při přesunu na další chyt je pro lezení typické. Při vysoce intenzivní kontrakci dochází ve svalech předloktí ke zvýšení nitrosvalového tlaku, což může omezovat proudění krve v kapilárách. Ukázalo se, že lezci mají během intermitentních izometrických kontrakcí lepší cévní průchodnost než nelezci (Ferguson & Brown, 1997). Autoři studie se domnívají, že je to způsobeno strukturální adaptací krevního řečiště a jeho lepší vazodilatační kapacitou. Při opakovaných izometrických kontrakcích se střídá fáze kontrakce a uvolnění svalu. Při uvolnění svalu dochází k rychlé re-oxygenaci tkáně, která je nezbytně důležitá pro částečnou obnovu energetických zdrojů oxidačními mechanismy. U zkušených lezců dochází během fáze uvolnění k vyšší re-oxygenaci než u nelezců, což může být způsobeno adaptací svalů na tento typ zatížení (Philippe et al., 2012).

Při anaerobní práci ve svalu se hromadí mimo jiné vodíkové kationty, které způsobují pokles pH ve svalu (acidózu) a s tím spojené i hromadění kyseliny mléčné (laktátu). Při lezení s lanem byly nalezeny převážně hodnoty krevního laktátu $3\text{-}10 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Baláš et al., 2017; Dickson, Fryer, Blackwell, Draper, & Stoner, 2012; Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2010; Fryer, Dickson, Draper, Blackwell, & Stoner, 2012; Rosponi, Schena, Leonardi, & Tosi, 2012; Watts, 2004). Při soutěžním

boulderingu byly nalezeny hodnoty $\sim 6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Sherk, Sherk, Kim, Young, & Bembem, 2011). Laktát byl odebírán obvykle z ušního lalůčku. Pokud si uvědomíme, že toto množství laktátu bylo vytvořené především svaly předloktí, je zřejmé, že v těchto svalech musí vznikat vysoká acidóza. V lezení vytvářejí laktát hlavně malé skupiny svalů předloktí, proto jeho hodnoty nejsou tak vysoké jako u typických anaerobních aktivit. Dále je také možné, že laktát může být při lezení zpracováván okamžitě ve velkých svalových skupinách zapojených do lezení, a proto je jeho hodnota v krvi nízká (Fryer et al., 2011).

Z předchozího textu vyplývá, že sportovní lezení na obtížnost je typické především intermitentním izometrickým zatížením flexorů předloktí. Výhoda při studii izometrické aktivity spočívá v tom, že kontrakce způsobují okluzi omezující krevní průtok vysokým intramuskulárním tlakem, a to nám poskytuje příležitost studovat sval v relativní izolaci od zbylé části těla (Edwards et al., 1972). Intenzivní intermitentní práce flexorů předloktí klade vysoké nároky na rychlé dodávání energie, kterou není možné získávat pouze aerobní cestou. Izometrická kontrakce zvyšuje tlak ve svalech předloktí, což může omezovat krevní průtok v kapilárách a přísun kyslíku je tak omezován pouze na dobu, kdy dochází k relaxaci svalu. Ve chvíli relaxace je důležité rychle zotavení svalové tkáně. Z toho důvodu lze v těchto svalech nalézt adaptační změny, které jsou spojeny pravděpodobně s vyšší oxidační kapacitou a změnami v kapilární síti, jež umožňují změny v re-oxygenaci a de-oxygenaci (Baláš et al., 2016; Ferguson & Brown, 1997; Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Philippe et al., 2012). Opakované intenzivní intermitentní kontrakce dále vedou ke snížení pH a produkci mnoha metabolitů, které vznikají při anaerobní přeměně energie. Tyto fyziologické změny vedou pravděpodobně ke svalové únavě svalů předloktí a způsobují pokles síly, zhoršení koordinace a neschopnost pokračovat v lezeckém výkonu. Svalová únava pak může přetrvávat několik hodin a způsobovat snížení dalšího výkonu a omezení intenzivního tréninku. Z tohoto důvodu je vhodné zrychlit odstranění únavy, aby lezec mohl podat opakovaně výkon na vysoké úrovni.

2.6 Shrnutí teoretické části

Vlivem vyčerpávající pohybové aktivity vzniká únava, kterou je nutno spojovat se specifickým typem zatížení. Současné poznatky ukazují, že lokální CWI může spouštět fyziologické mechanismy, které vedou ke zrychlenému odstranění únavy. CWI má pozitivní účinky na snížení svalové bolesti a některé studie ukázaly i zrychlené odstranění krevních ukazatelů svalového poškození. Hodnocení míry svalové regenerace motorickými testy ukázalo pozitivní vliv CWI v některých případech. Zrychlené zotavení při aplikaci CWI mezi opakovanými výkony bylo nalezeno především tam, kde zatížení probíhalo do vyčerpání. Účinky CWI je nutné ověřit nejprve v laboratorních podmínkách, protože do reálného výkonu vstupuje příliš mnoho faktorů a výkon je téměř nemožné standardizovat. Optimální teplota vody během CWI je stále předmětem výzkumu. Teplota vody ve studiích, které se zabývaly využitím CWI při opakovaném výkonu se pohybovala v rozsahu 8-15 °C. Některé studie naznačují, že nižší teplota může být efektivnější. Aby mohla být CWI vhodně využita v určitém sportovním odvětví, je nutné nejen ověřit její vliv na výkon, ale i identifikovat fyziologické procesy, které k tomu vedou. K tomuto účelu může dobře posloužit neinvazivní měření pomocí NIRS. Za pomoci této metody lze sledovat oxygenaci, de-oxygenaci a re-oxygenaci svalové tkáně a krevní objem. Sledování těchto parametrů může pomoci odhalit fyziologické mechanismy, které jsou spojeny během CWI s rychlejším odstraněním únavy. Ke sledování těchto mechanismů je vhodné využít izometrické kontrakce, protože způsobují krevní okluzi vysokým intramuskulárním tlakem, a to nám poskytuje příležitost studovat sval v relativní izolaci od zbylé části těla. Typickým sportem, při kterém dochází k intermitentním izometrickým kontrakcím flexorů prstů, je sportovní lezení.

3 Výzkumné otázky

- Jaký vliv má teplota CWI na standardizovaný izometrický výkon do vyčerpání?
- Jaký vliv má teplota CWI na fyziologické parametry posuzované pomocí NIRS během zotavení a následných izometrických kontrakcí?

4 Cíl práce

Cílem této práce bylo posoudit akutní účinky ponořování do studené vody na opakovaný izometrický výkon do vyčerpání u skupiny sportovních lezců.

5 Hypotézy

- Ponořování do studené vody bude mít významný pozitivní vliv na zrychlení zotavení po opakovaném izometrickém výkonu v porovnání s pasivním odpočinkem.
- Mezi opakovanými izometrickými výkony do vyčerpání bude při ponořování do studené vody teplota 8 °C významně efektivnější než teplota vody 15 °C.

6 Úkoly práce

- 1 Příprava výzkumného plánu
- 2 Výběr a kontaktování výzkumného souboru
- 3 Realizace studie
- 4 Zpracování dat
- 5 Vyhodnocení reliability intermitentního výkonu do vyčerpání a NIRS
- 6 Vyhodnocení akutního efektu CWI 8 a CWI 15 na intermitentní výkon

7 Metodika

7.1 Design výzkumu

Ke splnění cílů práce byl tento výzkumný projekt rozdělen na dvě samostatné studie. První studie se zabývala reliabilitou intermitentního výkonu do vyčerpání a NIRS, kde byly stanoveny minimální rozdíly ve sledovaných parametrech, které je možné považovat za významné v experimentálním designu. Druhá studie zkoumala akutní efekt zotavení (pasivní odpočinek (PAS), ponořování do 8 °C vody (CWI 8) a ponořování do 15 °C vody (CWI 15)) na intermitentní výkon do vyčerpání. Jednalo se o vnitroskupinový experiment. Závisle proměnou představoval intermitentní výkon do vyčerpání a parametry NIRS. Nezávisle proměnou se třemi hladinami faktoru představovalo zotavení (PAS, CWI 8 a CWI 15).

7.2 Soubor

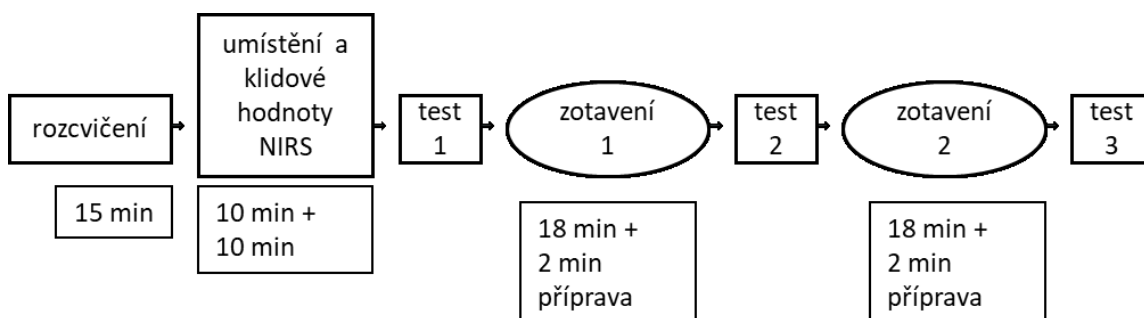
Výzkumný soubor tvořilo **32** účastníků (**15 mužů**: věk $27,7 \pm 10,2$ let; tělesná hmotnost $71,0 \pm 9,3$ kg; výška $178,3 \pm 9,7$ cm; tuk $7,7 \pm 2$ %; obvod předloktí $28,1 \pm 2,1$ cm; **17 žen**: věk $26,3 \pm 4,6$ let; tělesná hmotnost $57,7 \pm 5,6$ kg; výška $166,4 \pm 5,7$ cm; tuk $16,4 \pm 3,2$ %; obvod předloktí $24,2 \pm 1,2$ cm). Účastníci studie byly vybráni z řad studentů UK FTVS a lokálních lezeckých klubů kriteriálním výběrem. Kritéria výběru: lezecká výkonnost RP ≥ 6 dle stupnice UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme), minimální lezecká zkušenost dva roky, absence chladové hypersenzitivity, tělesný tuk muži max. 14%, ženy max. 28%, kaliperace v místě přiložení NIRS - max. 4,5 mm. Absence chladové hypersenzitivity byla nutná, aby mohlo dojít k podchlazování předloktí. Tělesný a podkožní tuk byl sledován z důvodu správné funkce NIRS. Kožní řasa v místě přiložení NIRS nepřekročila doporučené limity ($1,7 \pm 0,5$ and $2,0 \pm 0,5$ mm pro muže a ženy) (van Beekvelt et al., 2001). Studie byla schválena etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem 150/2015. Všichni účastníci potvrdili svou dobrovolnou účast ve studii svým podpisem.

7.3 Realizace měření

Měření proběhlo během tří týdnů. V těchto třech týdnech nevykonávali účastníci žádné cvičení, které by vedlo k vyčerpání organismu nebo využívalo flexory prstů. Účastníci navštívili laboratoř celkem čtyřikrát. V laboratoři byla udržovaná stabilní teplota $20 \pm 0,5$ °C.

Během první návštěvy byli účastníci seznámeni se studií a byla provedena základní antropometrická měření (věk, hmotnost, výška, kaliperace v místě umístění NIRS, tělesné složení, obvod předloktí) a byl vyplněn dotazník k lezecké výkonnosti a zkušenosti. Dále následovalo standardizované rozcvičení, test maximální síly a zácvik v intermitentním vytrvalostním testu. Na konci první návštěvy si účastník studie náhodně vylosoval pořadí aplikace tří zotavných procedur (PAS, CWI 8 a CWI 15; pro každý den odlišné, v rámci jednoho dne stejné) pro následující měření. Další návštěva laboratoře následovala minimálně za 48 hodin.

Další tři návštěvy byla odděleny vždy minimálně 72 h. Tato měření měla shodný průběh. Při příchodu následovalo standardizované rozcvičení, umístění NIRS a odebrání klidových hodnot TSI a tHb ve stejné poloze, v jaké probíhalo zotavení. Poté následoval třikrát intermitentní vytrvalostní test do selhání, který byl oddělen dvakrát zotavením (Obrázek 4).



Obrázek 4. Schéma měření pro druhou, třetí a čtvrtou návštěvu, test - intermitentní výkon do vyčerpání, zotavení (jedna ze tří zotavných procedur), příprava - vysušení paže, dehydratace prstů magnéziem

Rozcvičení

Před měřením na dynamometru vždy proběhlo stejné rozcvičení skládající se z 5 min chůze do schodů, 5 min traverzování na lezecké stěně a 5 min individuálních visů na 23-30 mm hlubokých dřevěných lištách.

Úchop a poloha paže

Poloha prstů na chytu se nazývá úchopem. Ze zdravotního hlediska se doporučuje využívání otevřeného úchopu, protože síly působící na šlachová poutka na prstech jsou při tomto úchopu minimální a riziko zranění je sníženo (Schöffl et al., 2009). Otevřený úchop je charakteristický tím, že interphalangeální kloub svírá úhel menší než 25° a distální interphalangeální kloub je ve flexi přibližně 50° (Schweizer & Hudek, 2011). Při flexi prstů se zapojují dva hlavní flexory m. flexor digitorum profundus a m. flexor digitorum superficialis. Bylo shledáno, že při otevřeném úchopu a hloubce lišty, která dosahuje k distálnímu interphalangeálnímu kloubu se zapojuje především m. flexor digitorum profundus do svalové kontrakce (Schweizer & Hudek, 2011). Při testování lezců je vhodné využít polohu, kde je rameno v 180° flexi a loket v úplné extenzi, protože tato poloha vykazuje nejvyšší kriteriální validitu vzhledem k lezeckému výkonu (Baláš, Panáčková, Kodejška, Cochrane, & Martin, 2014) ve srovnání s ostatními polohami, kde byl loket pokrčen.

Test maximální síly flexorů prstů

Test maximální síly byl vykonán pouze při první návštěvě na dominantní paži. K testování byl využit dynamometr 3D-SAC (Obrázek 7) s dřevěnou lištou hlubokou 23 mm. Test se skládal ze dvou pokusů a byl oddělen dvouminutovým odpočinkem. Testování probíhalo ve stoji s ramenem ve 180° flexi a loktem v úplné extenzi s otevřeným úchopem (Obrázek 7, Obrázek 8c), aby byly simulovány sportovně specifické podmínky. Po zaznění zvukového signálu byl účastník vyzván, aby postupně přenesl co největší část své hmotnosti na testovanou paži po dobu pěti sekund. Účastníci byly verbálně povzbuzováni, aby bylo jejich úsilí maximální. Vyšší hodnota ze dvou pokusů představovala maximální volní kontrakci (MVC).

Intermitentní vytrvalostní test

Intermitentní vytrvalostní test probíhal na stejném dynamometru a ve stejné pozici jako test maximální síly. Intenzita testu byla nastavena na 60 % MVC s 8 s kontrakce a 2 s relaxace. Test byl zahájen na zvukový signál a účastník musel pomocí zrakové kontroly udržovat správnou úroveň síly na chytu (Obrázek 7). Pokud úroveň síly poklesla o 10 % nastavené úrovně síly na dobu delší jak jedna sekunda, byl test automaticky ukončen. Průběh testu byl zobrazován na monitoru a začátek a konec jednoho opakování byl zřetelně ohlášen zvukovým signálem. Účastníci studie byli instruováni, aby se do požadované zóny dostali vždy nejrychleji, jak je to možné.

Zotavení

Mezi zotavení patřil pasivní odpočinek (PAS), ponořování do 8 °C vody (CWI 8) a ponořování do 15 °C (CWI 15). V rámci jedné návštěvy byl využíván pouze jeden druh zotavení. Pořadí zotavení v jednotlivých dnech bylo náhodné.

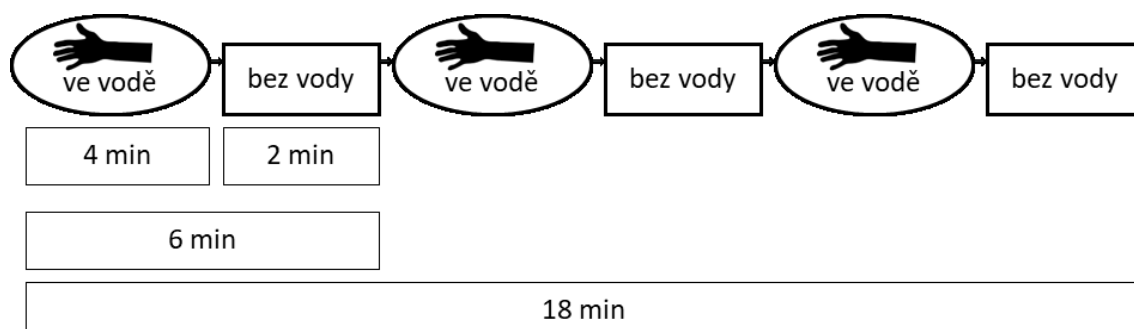
Pasivní odpočinek představoval kontrolní proceduru, při které účastník studie seděl 18 min v klidu bez pohybu a komunikace.

Ponořování do studené vody (CWI 8 a CWI 15) trvalo celkově stejnou dobu jako pasivní odpočinek (18 min). Teplota vody 8 °C a 15 °C byla udržována ± 1 °C pomocí nasekaného ledu. Procedura začala umístěním paže do vody do předem připravené polohy (ta se již během celé procedury neměnila) tak, že předloktí bylo celé zanořeno ve vodě, ale prsty zůstaly suché. Procedura se skládala z šestiminutových (4 min voda + 2 min bez vody) úseků, které se třikrát opakovaly (Obrázek 6).

Zotavení probíhalo vsedě. Účastník byl opřen o opěradlo nastavitelné židle tak, aby trup byl vertikálně rovně a dolní končetiny svíraly v kolenním a kyčelním kloubu pravý úhel. Ramenní kloub testované paže byl v abdukci 20°, flexi 15°, loketní kloub byl ve flexi 80° a dlaň byla v pronačním postavení. Loket byl opřen o nastavitelný popruh tak, aby se nedotýkal NIRS. Prsty byly opřeny o opěradlo, které bylo 15 cm nad úroveň popruhu a zápěstí bylo v dorzální flexi 10°. Paže byla během aplikace zotavení stále ve stejné poloze (Obrázek 5). Při dokončování poslední procedury CWI byl účastník studie dotázán, zda mu je tato procedura, příjemná, neutrální nebo nepříjemná. Dále byl účastník studie dotázán, aby zhodnotil pocitovou teplotu paže na sedmi stupňové škále (zima - 3 až + 3 teplo).



Obrázek 5. Poloha paže v klidu a při zotavných procedurách



Obrázek 6. Schéma procedury ponořování do studené vody (CWI)

Na konci procedury se účastník studie na 1 min postavil a pokud měl paži předtím ve vodě, byla mu vysušena. Poté si dehydratoval prsty magnéziem a na posledních 15 s zvednul paži, umístil ji na dynamometr a čekal na signál k zahájení testu.

7.4 Použité metodiky

Snímání teploty

Teplota vody a kůže byla snímána teplotním čidlem Pt1000GT2 E s třídou přesnosti $\pm (0,15 + 0,002 t)$ ve $^{\circ}\text{C}$ a zaznamenávána do dataloggeru S141 (Comet systém, Česká republika) (přesnost vstupu $0,2^{\circ}\text{C}$). Čidlo snímající kožní teplotu bylo umístěno distálně těsně vedle optod NIRS a izolováno izolační náplastí od vodního prostředí. Pro výpočet odvozené teploty svalů před druhým a třetím výkonem byla využita následující rovnice $T_{svalu} = 1,02 \times T_{kůže} + 0,89$ (De Ruyter, Jones, Sargeant, & De Haan, 1999).

Dynamometr 3D-SAC

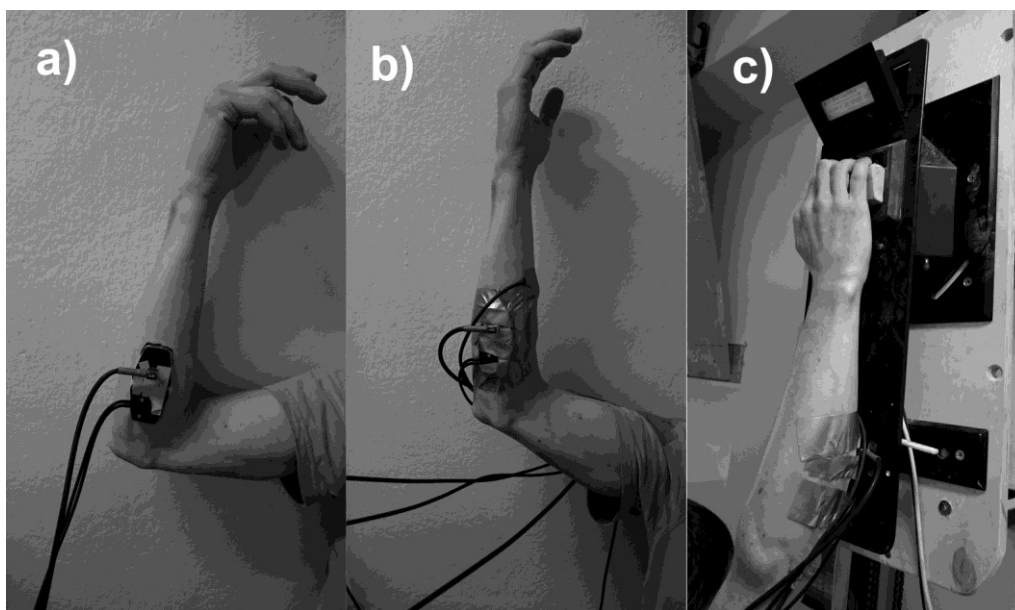
Pro realizaci maximální volní kontrakce a intermitentního testu byl využíván specifický dynamometr 3D-SAC (SpaceLab, Sofie, Bulharsko), (Obrázek 7). Dynamometr využívá k měření síly 3D senzor s měřícím rozsahem ± 2 kN, přesností 0,5 % a snímací frekvencí 125 Hz. Dynamometr umožňuje kontrolovat intenzitu, trvání zatížení a relaxaci pomocí vizuálního (Obrázek 7) a zvukového signálu. Součástí dynamometru je dřevěná lišta hluboká 23 mm zaoblená s poloměrem zakřivení 12 mm. Lišta je připevněna na silový 3D senzor. Dynamometr je navržen tak, aby došlo k zapojení m. flexor digitorum profundus (FDP) a superficialis bez aktivace palce. Dynamometr byl kalibrován pro dřevěnou lištu hlubokou 23 mm, která zajišťuje maximální aktivaci FDP (Schweizer & Hudek, 2011).



Obrázek 7. Poloha prstů na liště a displej dynamometru s vyznačenou stupnicí

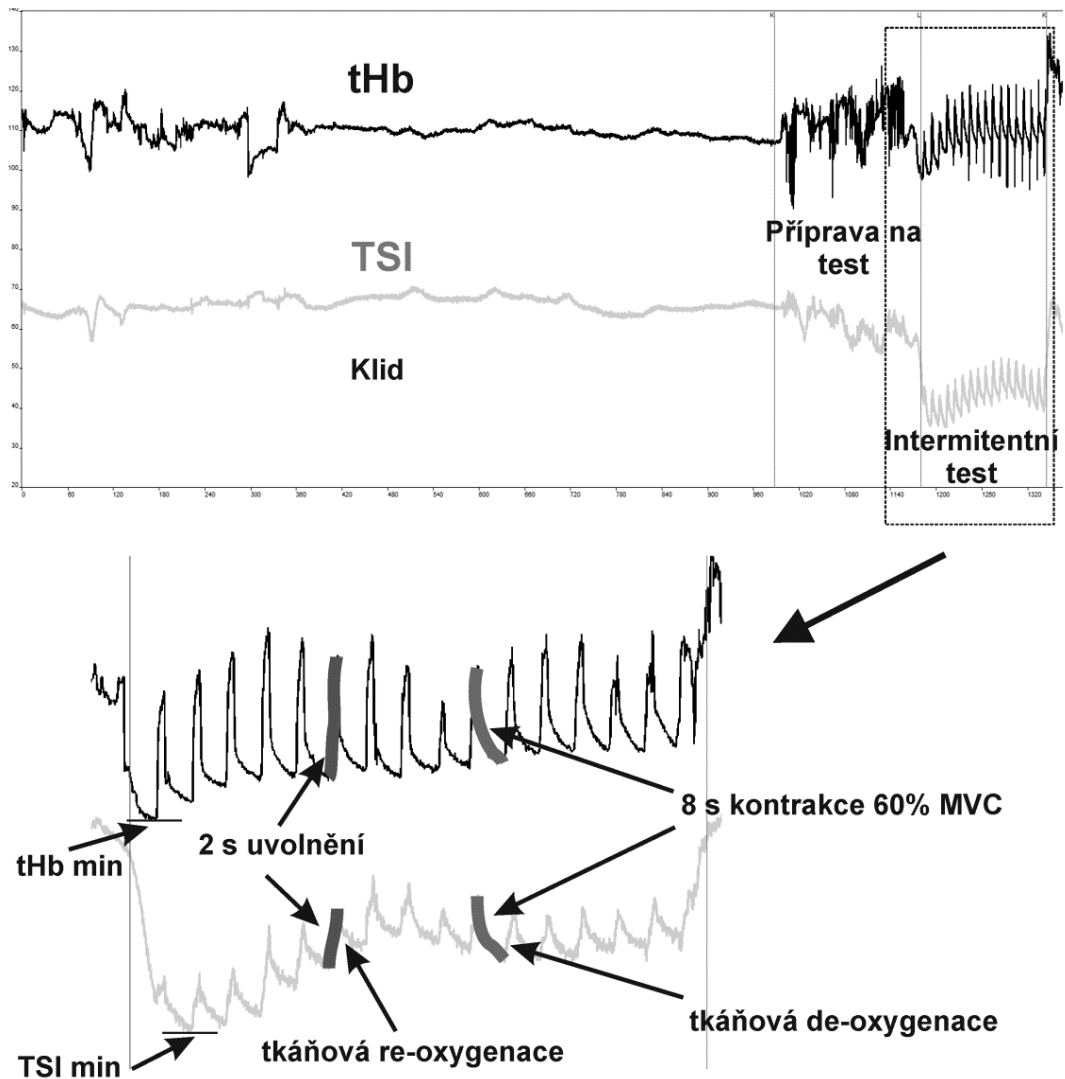
Blízká infračervená spektroskopie (NIRS)

Pro hodnocení oxygenace a tHb změn v FDP byla využita cw-NIRS (Oxymon, Artinis Medical System, BV, Nizozemí). Dva vysílače vzdálené 4 a 3,6 cm od přijímače byly umístěny do speciálního držáku. Přesné umístění FDP bylo vyhledáno a označeno pomocí techniky, kterou publikovali Schweizer a Hudek (2011). Při této technice účastník studie stlačí palec a ukazováček k sobě a pomocí palpáce lze nalézt střed svalového břicha FDP přibližně v 1/3 proximální vzdálenosti mezi mediálním epikondylem humeru a karpu. Držák s optodami byl ke kůži připevněn oboustrannou lepicí páskou a přelepen tmavou lepicí páskou, aby nedocházelo ke zkreslení signálu venkovním světlem. Umístění držáku bylo obkresleno na kůži, aby bylo zajištěné stále stejné umístění NIRS. Kabely byly lepicí páskou přichyceny k ramenu, aby nezpůsobovaly nežádoucí pohyb optod.



Obrázek 8. a) umístění optod přes břicho m. flexor digitorum profundus; b) fixace optod náplastí; c) pozice paže při testech na dynamometru

Oxymon využívá dvě vlnové délky infračerveného záření (765 a 855 nm) a SRS metodu. Absorpční změny vlnových délek jsou převáděny na koncentrační změny O_2Hb a HHb za použití Lambert-Beerova zákona. DPF (different path-length factor) byl nastaven, aby se opravilo rozptýlení světla ve tkáních. Ve svalech předloktí u člověka leží DPF mezi 3,59 a 4,57 a v naší studii byl nastaven na 4,0 dle doporučení Beekveltové et al. (2002). Vzorkovací frekvence byla nastavena na 10 Hz a data byla online ukládána do programu Oxysoft (Artinis Medical System, BV, Nizozemí). Do analýzy bylo zahrnuto pouze tHb a TSI. TSI je stanoveno jako $O_2Hb/(HHb+O_2Hb)$, a proto je nezávislé na aktuálním objemu tHb pod optodami. TSI a tHb bylo zaznamenáváno během 10 min klidu (TSI_{klid} , tHb_{klid}) a během celého intermitentního testu (TSI_{test} , tHb_{test}), včetně všech 8 s kontrakcí a 2 s uvolnění (Obrázek 9). Minimální a průměrné minimální hodnoty tHb (tHb_{min} , $tHb_{průměr\ min}$) a TSI (TSI_{min} , $TSI_{průměr\ min}$) z jednotlivých kontrakcí byly zařazeny do analýzy (Obrázek 9). Pro možnost srovnání s ostatními studiemi byly vypočteny hodnoty de-oxygenace (ΔTSI během kontrakce) a re-oxygenace (ΔTSI během uvolnění) ze tří prvních a posledních kontrakcí a uvolnění. Signál NIRS může být ovlivněn tloušťkou tukové tkáně, z toho důvodu byla kožní řasa v místě umístění NIRS měřena pomocí kaliperu (Harpenden, Spojené království).



Obrázek 9. Typický příklad testového protokolu, klid, příprava na test a intermitentní test. Celkový hemoglobin (tHb) a index tkáňové saturace (TSI) jsou znázorněny ve dvou křivkách. TSI_{min} and tHb_{min} ukazují nejnižší hodnotu během kontrakce při intermitentním testu. Tkáňová re-oxygenace a de-oxygenace udává procentuální změnu TSI během fáze uvolnění a kontrakce

7.5 Vyhodnocení výsledků

Deskriptivní statistika (průměr $\pm s$) byla využita pro zobrazení času, FTI (integrálu síly podle času), času kontrakce, silového gradientu (RFD), TSI a tHb během intermitentního testu.

Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS

Rozdíl mezi prvními intermitentními testy (během 2 - 4 měření) byl hodnocen pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) s opakovaným měřením. K hodnocení reliability ve smyslu stability byla využita řada koeficientů, které doporučují Hopkins (2000) a Weir (2005).

Vnitrotřídní korelační koeficient (ICC) byl vypočítán z rovnice $ICC = \frac{MSB-MSW}{MSB+(k-1)MSW}$,

kde MSB a MSW jsou průměrné čtverce mezi skupinami a uvnitř skupin z ANOVY s opakovaným měřením a k je počet pokusů. Tato rovnice zahrnuje jak variabilitu způsobenou systematickými změnami mezi pokusy, tak variabilitu náhodných chyb.

Koeficient variace (CV) byl vypočítán jako $CV = \frac{\sqrt{MSW}}{\mu}$, kde μ je průměr ze tří pokusů.

Standardní chybu měření (SEM) byla vypočítána z rovnice $SEM = \sqrt{MSW}$. Tato rovnice byla preferována, protože není závislá na typu ICC (Weir, 2005). ICC bylo vyjádřeno v 95% konfidenčním intervalu a statistická významnost byla nastavena na hladinu 0,05. Minimální věcný rozdíl (MDC) byl vypočítán z rovnice $MDC = SEM \times 1,96 \times \sqrt{2}$. MDC byl využit k hodnocení věcné významnosti.

Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody

Vliv tří typů zotavení (PAS, CWI 8 a CWI 15) a jeho dvojího opakování na tři opakované intermitentní výkony do vyčerpání, odvozené parametry NIRS a teplotu kůže během zotavení byl hodnocen pomocí ANOVY s opakovaným měřením (typ zotavení \times opakování zotavení \times opakování testu) ($3 \times 2 \times 3$). Při pozitivním nálezu ve výsledcích ANOVY byla data podrobena párovému srovnávání s Bonferroniho korekcí. Pro analýzu dat během zotavných procedur s trojím opakováním testu museli být vyřazeni dva účastníci studie, jejichž data byla díky technické chybě poškozena. Statistické výpočty byly provedeny pomocí softwaru IBM SPSS pro Windows (verze 22, Chicago, Il., USA). Hladina statistické významnosti byla stanovena na $P < 0,05$. Věcná významnost byla hodnocena pomocí MDC získané z první studie.

8 Výsledky

8.1 Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS

Nebyly nalezeny žádné rozdíly v čase, FTI, času průměrné kontrakce ani RFD (gradient síly) mezi opakováním intermitentního testu, což indikuje nepřítomnost systematické chyby při opakování testu (Tabulka IV).

Tabulka IV. Průměrná skóre ($\pm s$) času do selhání, integrálu síly podle času (FTI), času průměrné kontrakce v zóně 60 % \pm 10 % MVC a silového gradientu (RFD) pro opakovaná měření v intermitentním testu a významnost jejich rozdílů (*P*)

	1. měření	2. měření	3. měření	<i>P</i>
Čas do selhání (s)	91,3 \pm 23,7	91,3 \pm 23,3	92,9 \pm 25,2	0,706
FTI (Ns)	23081 \pm 6072	23050 \pm 6023	23450 \pm 6756	0,743
Čas kontrakce (s)	7,3 \pm 0,2	7,3 \pm 0,2	7,3 \pm 0,2	0,251
RFD (Ns ⁻¹)	518,4 \pm 159,7	505,7 \pm 178,4	483,14 \pm 145,0	0,335

U času do selhání a FTI byl nalezena vysoká reliabilita. ICC se pohybovalo v rozsahu 0,759-0,928 s CV kolem 10 % (Tabulka V).

Tabulka V. Ukazatele pro hodnocení reliability: Vnitrotřídní korelační koeficient (ICC), koeficient variace (CV), standardní chyba měření (SEM) a minimální věcný rozdíl (MDC) pro čas do selhání, integrál síly podle času (FTI), čas průměrné kontrakce v zóně 60 % \pm 10 % MVC a silový gradient (RFD)

	ICC	95% ICC	CV (%)	SEM	MDC
Čas do selhání (s)	0,855	0,759-0,921	10,0	9,2	25,5
FTI (Ns)	0,868	0,780-0,928	9,8	2281	6322,6
Čas kontrakce (s)	0,362	0,146-0,582	36,2	0,1	0,3
RFD (Ns ⁻¹)	0,639	0,458-0,787	19,4	90,2	250,0

U parametrů odvozených z NIRS nebyly nalezeny žádné významné rozdíly ($P > 0,05$) při opakování intermitentního testu do vyčerpání (Tabulka VI).

Tabulka VI. Průměrná skóre ($\pm s$) indexu tkáňové saturace (TSI) a celkového hemoglobinu (tHb), během klidu, kontrakce a uvolnění pro opakovaná měření v intermitentním testu

	1. měření	2. měření	3. měření	<i>P</i>
TSI _{test} (%)	40,9 ± 7,6	39,87 ± 9,47	41,34 ± 9,43	0,686
tHb _{test} (μmol)	102,3 ± 17,5	96,2 ± 14,6	100,1 ± 16,5	0,096
<i>Klid</i>				
TSI _{klid} (%)	59,2 ± 5,5	58,9 ± 6,6	58,6 ± 7,3	0,914
tHb _{klid} (μmol)	109,4 ± 19,1	112,8 ± 27,8	110,2 ± 25,5	0,626
<i>Kontrakce</i>				
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	-8,9 ± 2,9	-8,8 ± 2,7	-8,4 ± 2,6	0,487
Δ TSI - první tři kontrakce (%)	-9,2 ± 2,7	-9,1 ± 2,9	-8,6 ± 2,3	0,383
Δ TSI - tři poslední kontrakce (%)	-9,2 ± 3,9	-8,9 ± 3,2	-8,8 ± 3,5	0,746
Δ tHb - všechny kontrakce (μmol)	-17,4 ± 9,8	-15,0 ± 7,0	-15,4 ± 6,5	0,307
TSI _{min} (%)	32,5 ± 9,7	31,6 ± 10,9	33,5 ± 10,0	0,605
TSI _{průměr min} (%)	36,9 ± 8,3	36,0 ± 10,6	37,6 ± 9,8	0,676
tHb _{min} (μmol)	89,5 ± 14,4	84,9 ± 14,1	88,8 ± 15,6	0,153
tHb _{průměr min} (μmol)	95,8 ± 15,7	90,9 ± 14,2	94,6 ± 15,9	0,163
<i>Uvolnění</i>				
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	9,0 ± 3,1	8,8 ± 2,9	8,5 ± 2,7	0,547
Δ TSI - první tři uvolnění (%)	8,2 ± 2,9	8,4 ± 3,1	7,8 ± 2,4	0,398
Δ TSI - tři poslední uvolnění (%)	9,6 ± 3,9	9,1 ± 3,4	9,1 ± 3,5	0,620
Δ tHb - všechna uvolnění (μmol)	18,7 ± 10,1	16,3 ± 7,3	16,8 ± 6,6	0,337

Parametry odvozené z NIRS měly ICC v rozsahu 0,078-0,874 a CV od 41,8 % do 8,4 % (Tabulka VII). Vysoké ICC bylo nalezeno pro průměrné parametry TSI (0,672-0,692) ze všech kontrakcí a uvolnění. Parametry TSI ze tří prvních nebo posledních kontrakcí nedosahovaly tak vysokých hodnot ICC. Nejnižší hodnoty ICC byly nalezeny u průměrných tHb ze všech kontrakcí a uvolnění.

Tabulka VII. Vnitrotřídní korelační koeficient (ICC), koeficient variace (CV), standardní chyba měření (SEM) a minimální věcný rozdíl (MDC) pro index tkáňové saturace (TSI), celkový hemoglobin (tHb) a změny během celého testu, klidu, kontrakce a uvolnění, nejvyšší hodnoty ICC jsou zvýrazněny

	ICC	95 % ICC	CV (%)	SEM	MDC
TSI _{test} (%)	0,399	0,183-0,612	16,6	6,9	19,1
tHb _{test} (μmol)	0,513	0,306-0,698	11,4	11,4	31,6
<i>Klid</i>					
TSI _{klid} (%)	0,420	0,205-0,629	8,4	4,9	13,6
tHb _{klid} (μmol)	0,656	0,478-0,798	12,9	14,3	39,6
<i>Kontrakce</i>					
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	0,692	0,526-0,822	17,2	1,5	4,2
Δ TSI - první tři kontrakce (%)	0,480	0,269-0,674	21,5	1,9	5,3
Δ TSI - tři poslední kontrakce (%)	0,652	0,473-0,795	23,5	2,1	5,8
Δ tHb - všechny kontrakce (μmol)	0,294	0,078-0,524	41,8	6,6	18,3
TSI _{min} (%)	0,437	0,223-0,642	23,5	7,6	21,1
TSI _{průměr min} (%)	0,432	0,217-0,638	19,6	7,2	20,0
tHb _{min} (μmol)	0,522	0,316-0,705	11,6	10,2	28,3
tHb _{průměr min} (μmol)	0,502	0,293-0,690	11,5	10,8	29,9
<i>Uvolnění</i>					
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	0,672	0,499-0,808	19,0	1,7	4,7
Δ TSI - první tři uvolnění (%)	0,545	0,342-0,722	23,6	1,9	5,3
Δ TSI - tři poslední uvolnění (%)	0,612	0,423-0,769	24,3	2,2	6,1
Δ tHb - všechna uvolnění (μmol)	0,304	0,088-0,533	39,4	6,8	18,8

8.2 Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody

Typ zotavení měl významný vliv na FTI a na čas do selhání (Tabulka VIII). U CWI 8 se s každým opakováním testu snižoval RFD, nicméně toto snižování nebylo statisticky ani věcně významné.

Rozdíl v FTI a času do selhání mezi ženami, muži a výkonnostními skupinami byl vyhodnocován pomocí ANOVY a nebyl nalezen žádný významný rozdíl mezi těmito skupinami a závisle proměnnými. Z toho vyplývá, že závisle proměnné nejsou ve vztahu s pohlavím účastníka studie ani výkonnostní skupinou.

Tabulka VIII. Průměrná skóre ($\pm s$) času do selhání, integrálu síly podle času relativně vzhledem k hmotnosti (FTI rel), času kontrakce a silového gradientu (RFD) pro opakovaná měření v intermitentním testu během tří zotavných procedur (PAS, CWI 8 a CWI 15)

	1. test	2. test	3. test
PAS			
Čas do selhání (s)	91,3 \pm 23,7	81,7 \pm 22,6 #&	70,7 \pm 17,1 #&
FTI rel (Ns \cdot kg ⁻¹)	361,2 \pm 95,0	325,5 \pm 109,7 #&	283,1 \pm 90,3 #&
Čas kontrakce (s)	7,3 \pm 0,2	7,3 \pm 0,2	7,3 \pm 0,2
RFD (N \cdot s ⁻¹)	518,4 \pm 160,0	524,0 \pm 173,0	505,3 \pm 151,6
CWI 8			
Čas do selhání (s)	91,3 \pm 23,3	119,8 \pm 44,9 *#	87,5 \pm 34,6 *#
FTI rel (Ns \cdot kg ⁻¹)	360,7 \pm 94,3	476,4 \pm 185,7 *#	346,9 \pm 149,6 *#
Čas kontrakce (s)	7,3 \pm 0,2	7,4 \pm 0,2	7,4 \pm 0,2
RFD (N \cdot s ⁻¹)	505,8 \pm 178,7	492,7 \pm 136,4	454,4 \pm 152,7
CWI 15			
Čas do selhání (s)	92,9 \pm 25,2	126,8 \pm 40,4 *#	117,5 \pm 39,6 *#&
FTI rel (Ns \cdot kg ⁻¹)	367,0 \pm 105,7	507,6 \pm 198,2 *#	467,7 \pm 180,1 *#&
Čas kontrakce (s)	7,3 \pm 0,2	7,4 \pm 0,2	7,4 \pm 0,2
RFD (N \cdot s ⁻¹)	482,7 \pm 145,0	487,9 \pm 138,7	479,0 \pm 140,3

* ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k předchozímu testu v rámci stejného zotavení

& ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s CWI 8 v dané úrovni opakování

Statisticky významné změny času do selhání během CWI 8 a CWI 15 (Tabulka VIII) překročily při využití CWI 8 a CWI 15 MDC nalezené v první studii (Tabulka I)

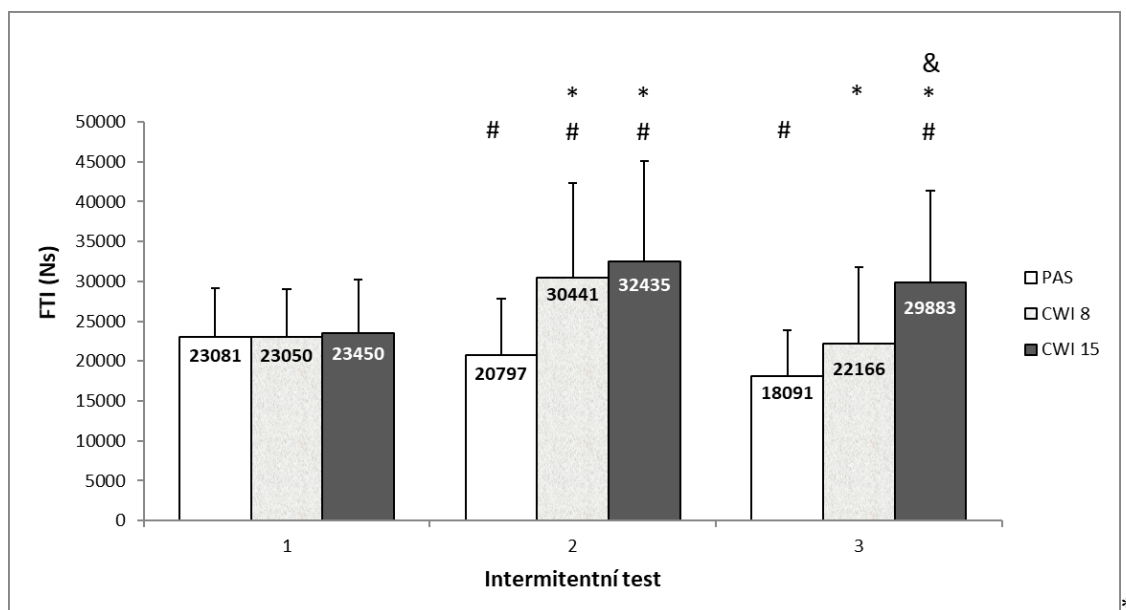
Při druhém opakování testu s PAS došlo k významnému poklesu FTI o 10 % a při třetím opakování testu o 22 % vzhledem k prvnímu testu.

Opakování testu s CWI 8 ukázalo při druhém testu významné zvýšení FTI o 32 % oproti prvnímu testu a při třetím testu nevýznamné snížení výkonu pod úroveň prvního testu o 4 %.

Využití CWI 15 mezi opakováním testu vedlo při druhém opakování testu k významnému zvýšení FTI o 38 % a při třetím testu k významnému poklesu FTI, nicméně FTI zůstalo významně navýšeno nad úroveň prvního testu o 27 %.

CWI urychlilo zotavení vždy významně lépe než PAS. Významný rozdíl mezi CWI 8 a CWI 15 byl nalezen u FTI třetího výkonu. Všechny statisticky významné změny FTI v Grafu 1 jsou významné též věcně (posuzováno pomocí MDC), (Tabulka I).

Graf 1. Vliv pasivního odpočinku (PAS), ponořování do 8 °C (CWI 8) a 15 °C (CWI 15) vody na integrál síly podle času (FTI) (průměr + s) při intermitentním výkonu



($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k předchozímu testu v rámci stejného zotavení

& ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s CWI 8 v dané úrovni opakování

Nebyl nalezen žádný významný vztah ($P > 0,05$) mezi nárůstem nebo poklesem výkonu při CWI 8 a kožní teplotou, odvozenou teplotou svalu, obvodem předloktí, tloušťkou kožní řasy, či tělesným tukem. Dále nebyl nalezen také žádný vztah mezi kožní nebo odvozenou teplotou svalu a obvodem předloktí a tloušťkou kožní řasy. Další parametry odvozené z NIRS jsou zobrazeny v samostatné tabulce (Tabulka IX).

Významný pokles TSI_{\min} ($P < 0,05$) vzhledem k prvnímu testu byl nalezen u druhého a třetího opakování při CWI 8 a CWI 15. Nicméně ani jeden z těchto parametrů nepřekročil MDC nalezené v první studii (Tabulka VII).

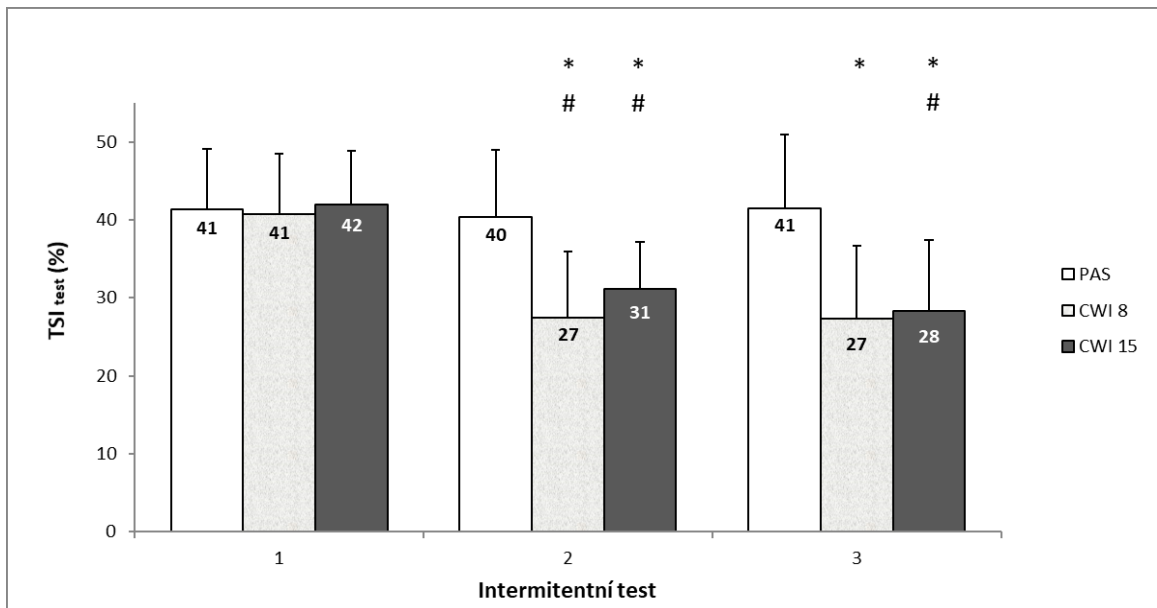
Tabulka IX. Průměrná skóre ($\pm s$) indexu tkáňové saturace (TSI) a celkového hemoglobinu (tHb), změny během celého testu, kontrakce a uvolnění pro opakovaná měření v intermitentním testu během tří zotavných procedur (PAS, CWI 8 a CWI 15)

	1. test	2. test	3. test
PAS			
tHb _{test} (μmol)	103,1 ± 17,8	102,4 ± 16,3	99,9 ± 19,4
<i>Kontrakce</i>			
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	8,4 ± 2,2	8,9 ± 2,6	9,3 ± 2,5
Δ TSI - první tři kontrakce (%)	8,9 ± 2,6	8,7 ± 2,0	9,4 ± 2,3
Δ TSI - tři poslední kontrakce (%)	7,9 ± 2,7	8,7 ± 3,0	8,7 ± 3,0
Δ tHb - všechny kontrakce (μmol)	17,7 ± 10,1	18,4 ± 10,9	17,0 ± 8,4
TSI _{min} (%)	32,2 ± 9,5	32,7 ± 8,4	33,9 ± 11,6
tHb _{min} (μmol)	90,4 ± 14,4	91,7 ± 14,7	89,1 ± 18,4
tHb _{průměr min} (μmol)	96,7 ± 15,8	95,9 ± 14,4	93,6 ± 18,5
<i>Uvolnění</i>			
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	8,5 ± 2,5	9,0 ± 2,8	9,5 ± 2,8
Δ TSI - první tři uvolnění (%)	8,5 ± 2,7	9,1 ± 3,3	9,6 ± 3,1
Δ TSI - tři poslední uvolnění (%)	8,8 ± 2,7	9,6 ± 3,3	10,1 ± 3,1
Δ tHb - všechna uvolnění (μmol)	19,9 ± 10,4	19,6 ± 10,6	18,5 ± 8,5
CWI 8			
tHb _{test} (μmol)	97,1 ± 14,5	95,8 ± 14,5	102,4 ± 16,3
<i>Kontrakce</i>			
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	8,4 ± 2,4	9,1 ± 2,2	9,1 ± 2,2
Δ TSI - první tři kontrakce (%)	8,8 ± 2,8	9,7 ± 2,5	10,0 ± 1,9
Δ TSI - tři poslední kontrakce (%)	8,6 ± 3,0	9,1 ± 2,4	8,7 ± 3,1
Δ tHb - všechny kontrakce (μmol)	14,6 ± 6,9	12,3 ± 4,8	12,5 ± 8,7
TSI _{min} (%)	32,5 ± 10,2	21,0 ± 5,9*	20,5 ± 7,1*
tHb _{min} (μmol)	86,1 ± 13,5	87,0 ± 13,4	83,4 ± 12,1
tHb _{průměr min} (μmol)	91,8 ± 14,1	91,0 ± 13,4	88 ± 12,5
<i>Uvolnění</i>			
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	8,5 ± 2,7	8,6 ± 2,1	8,0 ± 2,6
Δ TSI - první tři uvolnění (%)	8,2 ± 3,0	7,6 ± 2,9	7,2 ± 2,5
Δ TSI - tři poslední uvolnění (%)	8,8 ± 3,2	9,5 ± 2,3	8,8 ± 3,2
Δ tHb - všechna uvolnění (μmol)	15,9 ± 7,1	13,2 ± 5,0	13,2 ± 8,8
CWI 15			
tHb _{test} (μmol)	100,5 ± 16,9	100,8 ± 16,2	98,4 ± 14,9
<i>Kontrakce</i>			
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	8,1 ± 2,2	8,8 ± 2,2	8,8 ± 2,3
Δ TSI - první tři kontrakce (%)	8,4 ± 2,1	9,4 ± 2,1	9,5 ± 2,1
Δ TSI - tři poslední kontrakce (%)	8,3 ± 3,1	8,8 ± 3,2	8,9 ± 3,1
Δ tHb - všechny kontrakce (μmol)	14,4 ± 5,4	12,6 ± 4,4	12,3 ± 4,9
TSI _{min} (%)	34,1 ± 9,9	24,5 ± 8,6*	21,7 ± 6,8*
tHb _{min} (μmol)	89,6 ± 15,6	90,8 ± 14,5	89,0 ± 13,0
tHb _{průměr min} (μmol)	95,2 ± 16,1	95,3 ± 14,8	92,9 ± 13,1
<i>Uvolnění</i>			
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	8,6 ± 2,2	8,5 ± 2,1	8,5 ± 2,4
Δ TSI - první tři uvolnění (%)	7,4 ± 2,0	7,6 ± 1,8	7,8 ± 2,1
Δ TSI - tři poslední uvolnění (%)	8,6 ± 3,1	9,3 ± 2,9	9,2 ± 3,0
Δ tHb - všechna uvolnění (μmol)	15,8 ± 5,6	13,5 ± 4,6	13 ± 5,0

* ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k prvnímu testu v rámci jednoho zotavení

Při opakovaném výkonu s PAS se TSI_{test} nemění (Graf 2). Po aplikaci CWI 8 došlo u druhého a třetího výkonu k významnému poklesu TSI_{test} oproti prvnímu testu o 34 %. Vzhledem k prvnímu výkonu došlo při CWI 15 u druhého výkonu k významnému poklesu TSI_{test} o 26 % a při třetím výkonu o 33 %. Nicméně žádný z významných poklesů nepřekročil MDC nalezené v první studii (Tabulka VII).

Graf 2. Vliv pasivního odpočinku (PAS), ponořování do 8 °C (CWI 8) a 15 °C (CWI 15) vody na průměrné TSI_{test} (průměr + s) při intermitentním výkonu

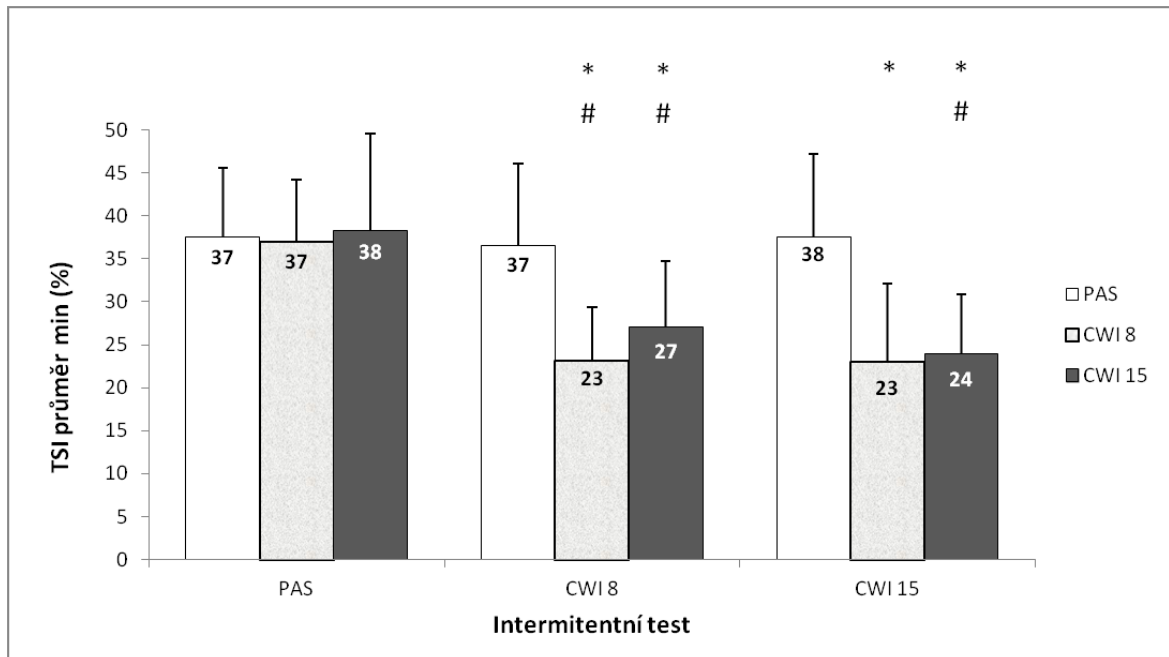


* ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k předchozímu testu v rámci stejného zotavení

T_{SI průměr min} se nelišil při opakování výkonu s PAS. Po aplikaci CWI 8 došlo u druhého a třetího výkonu k významnému poklesu T_{SI průměr min} oproti prvnímu testu o 38 %. Vzhledem k prvnímu výkonu došlo při CWI 15 u druhého výkonu k významnému poklesu T_{SI průměr min} o 29 % a při třetím výkonu o 37 %. Nicméně žádný z významných poklesů nepřekročil MDC nalezené v první studii (Tabulka VII).

Graf 3. Vliv pasivního odpočinku (PAS), ponořování do 8 °C (CWI 8) a 15 °C (CWI 15) vody na T_{SI průměr min} (průměr + s) při intermitentním výkonu

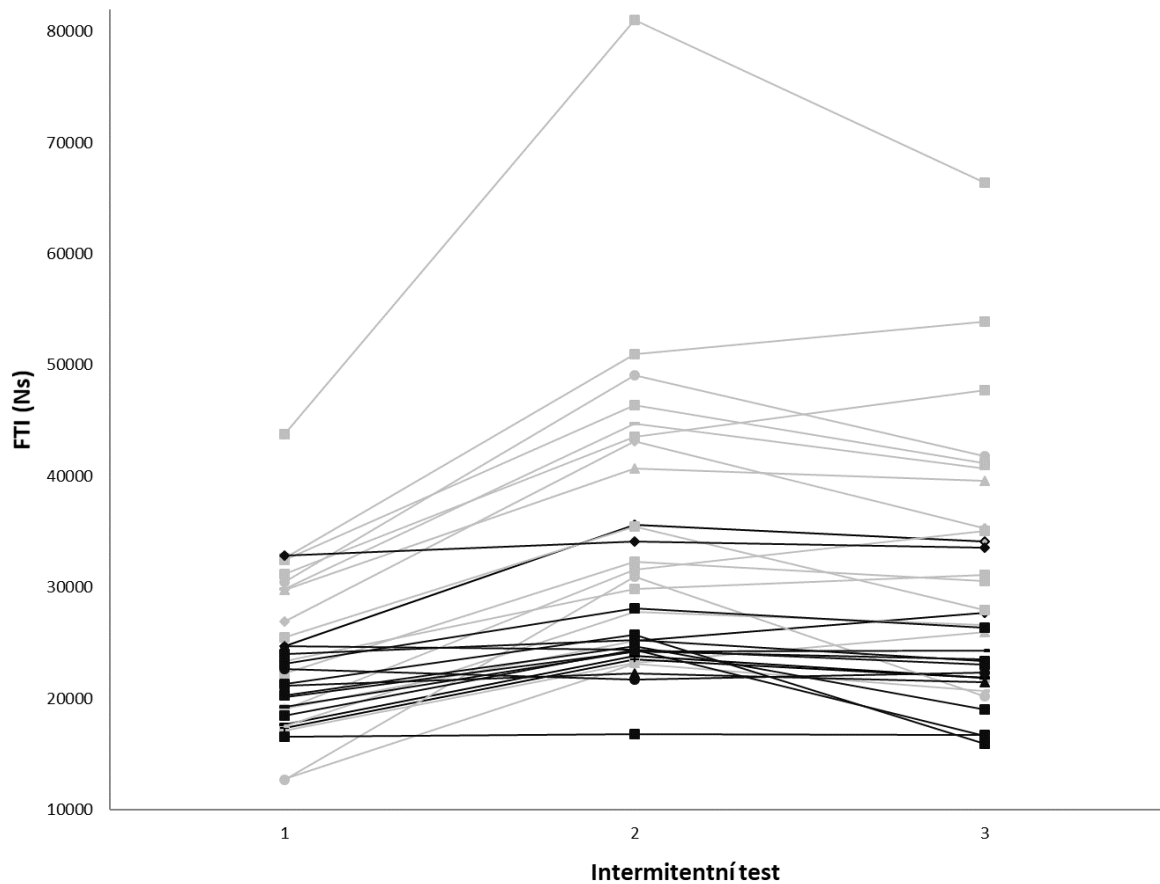


* ($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

($P < 0,05$) statisticky významný rozdíl vzhledem k předchozímu testu v rámci stejného zotavení

Individuální vliv CWI 15 na FTI během intermitentních testů do vyčerpání ukazuje, že 17 účastníků (šedé křivky) studie zvýšilo FTI nad MDC a 15 účastníků studie zůstalo uvnitř limitu definovaného pomocí MDC (MDC = 6323 Ns), (Graf 4).

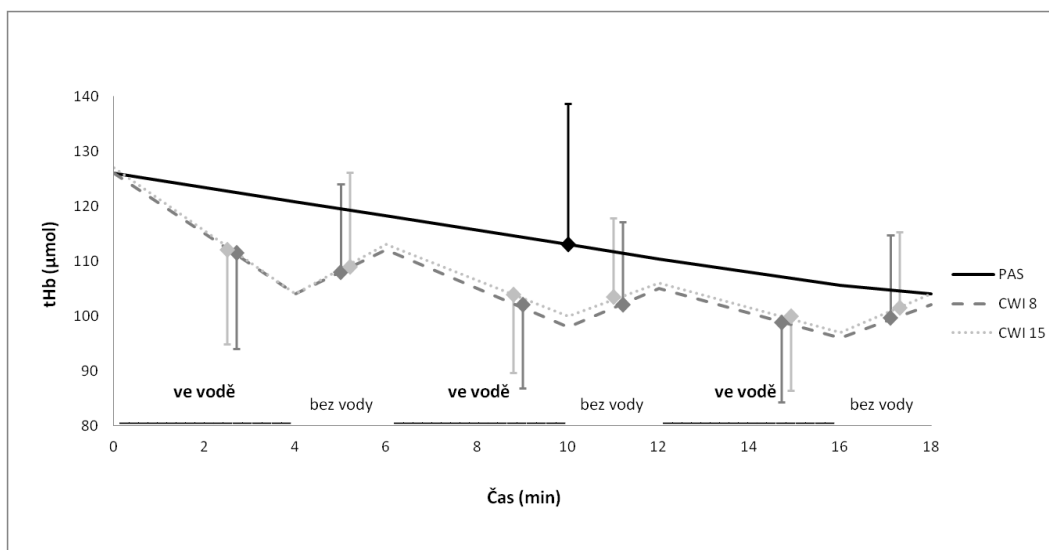
Graf 4. Individuální vliv CWI 15 na FTI během intermitentních výkonu



Šedé a černé křivky reprezentují účastníky nad/pod minimálním věcným rozdílem (MDC = 6323 Ns)

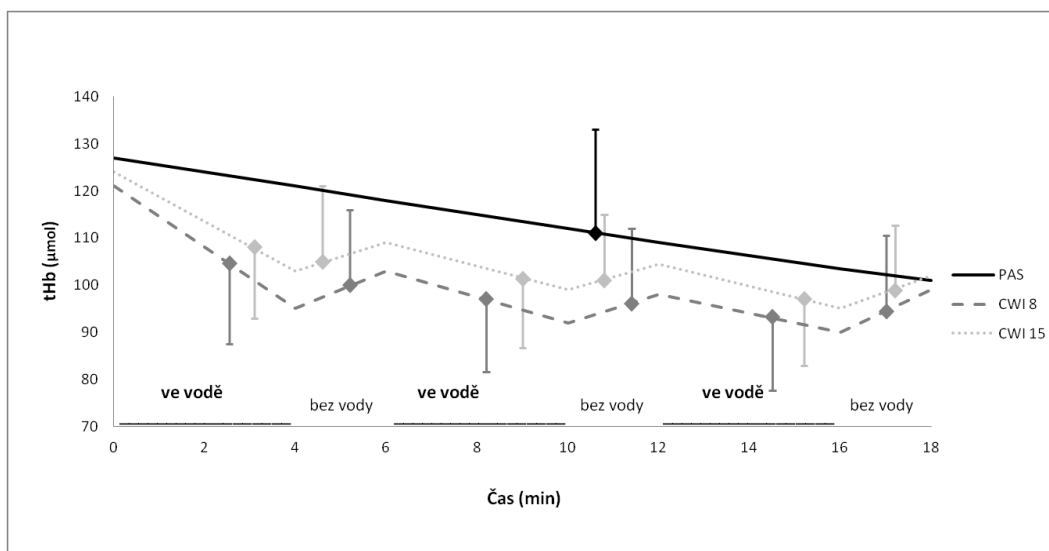
Při prvním a druhém zotavení je patrné, že tHb měl při ponoření paže do vody (CWI 8 a CWI 15) tendenci nevýznamně klesat a při vynoření paže z vody se zase zvyšovat (Graf 5 a Graf 6). Při prvním ani druhém zotavení nebyl rozdíl v trendu průběhu tHb mezi CWI 8 a CWI 15 (Graf 5 a Graf 6).

Graf 5. Zobrazení trendu rozdílů průměrných maxim a minim tHb pro jednotlivé intervaly prvního zotavení, průměry intervalů jsou vyznačeny body a směrodatné odchylky úsečkami



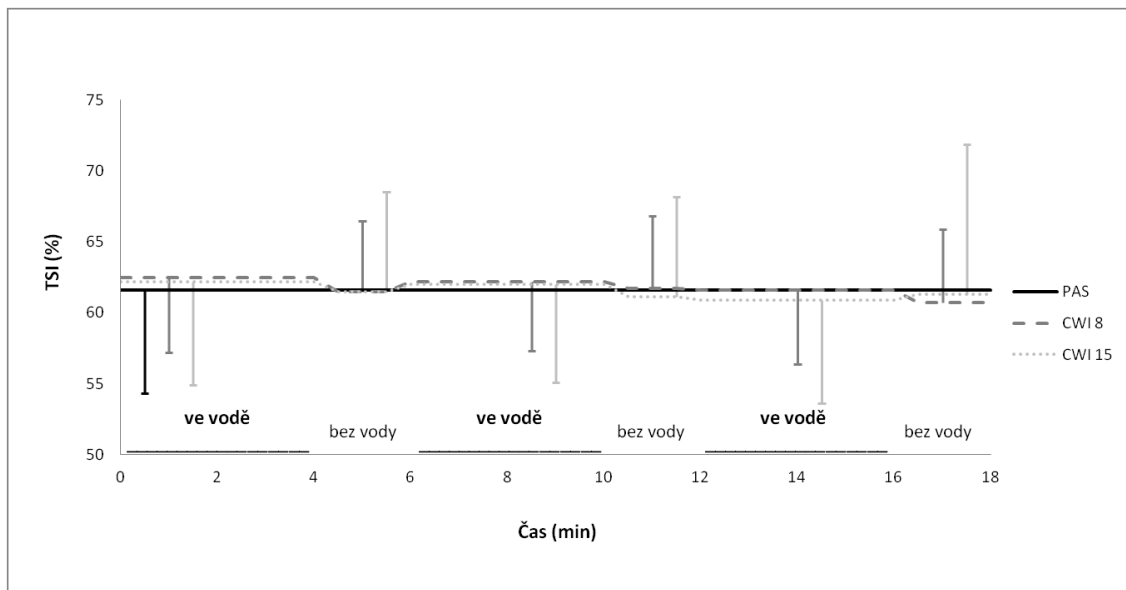
Při druhém zotavení začínal průběh tHb po aplikaci CWI 8 z nevýznamně nižších výchozích hodnot, než při CWI 15, nicméně tHb mělo u CWI 8 tendenci více poklesnout než CWI 15 (Graf 6).

Graf 6. Zobrazení trendu rozdílů průměrných minim a maxim pro jednotlivé intervaly druhého zotavení, průměry intervalů jsou vyznačeny body a směrodatné odchylky úsečkami



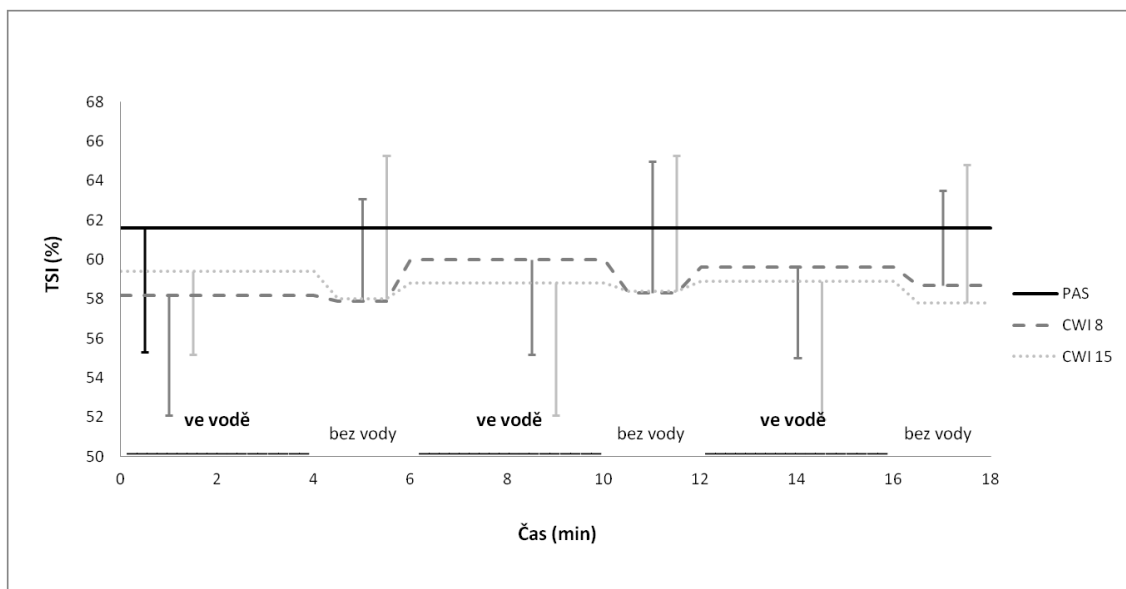
Nebyly nalezeny rozdíly v průběhu TSI mezi intervaly prvního zotavení (Graf 7).

Graf 7. Zobrazení průměrů ($\pm s$) TSI pro jednotlivé intervaly prvního zotavení



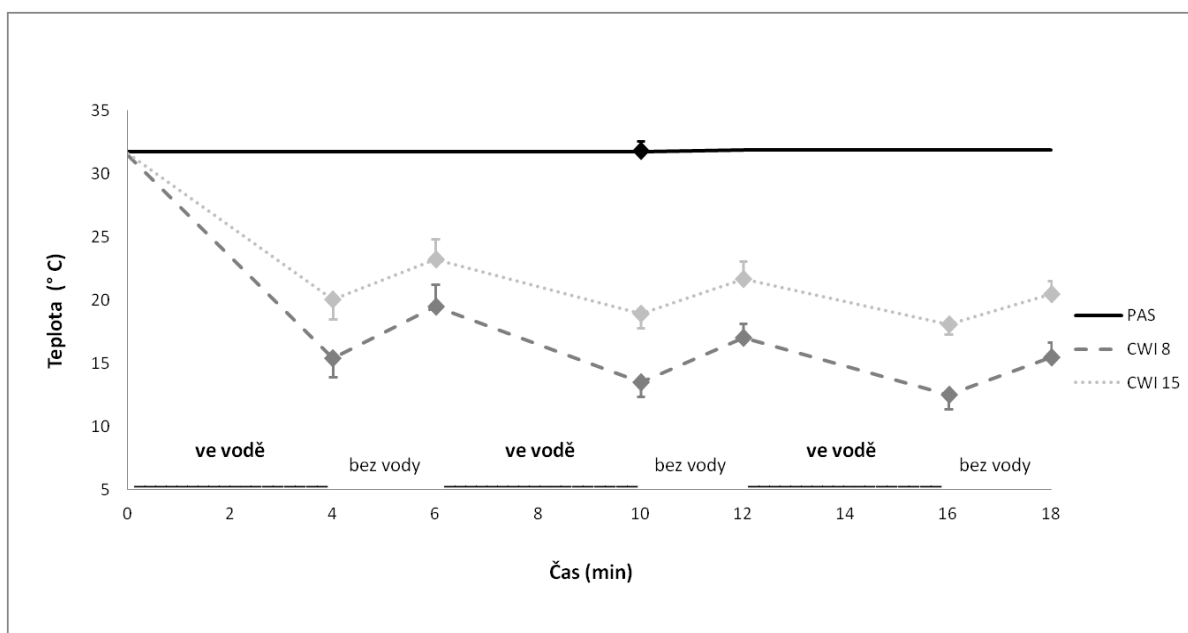
Během druhého zotavení se TSI pro CWI 8 a CWI 15 nevýznamně snížilo pod úroveň PAS (Graf 8). Průběh grafu 8 ukazuje tendenci, při které TSI stoupá během ponořování paže do vody a během vynoření paže z vody klesá. Tato tendence není významná.

Graf 8. Zobrazení průměrů ($\pm s$) TSI pro jednotlivé intervaly druhého zotavení (PAS, CWI 8 a CWI 15)



Graf 9 ukazuje, že po prvním výkonu byly průměrné teploty kůže na stejné úrovni. Po aplikaci zotavení je vidět významně vyšší ($P < 0,05$) pokles teploty kůže po CWI 8 než po CWI 15 a to ve všech intervalech zotavení. Teplota kůže se významně ($P < 0,05$) měnila v závislosti na tom, zda byla paže ve vodě, nebo mimo vodu. Při opakování ponoření se teplota kůže významně ($P < 0,05$) snižovala.

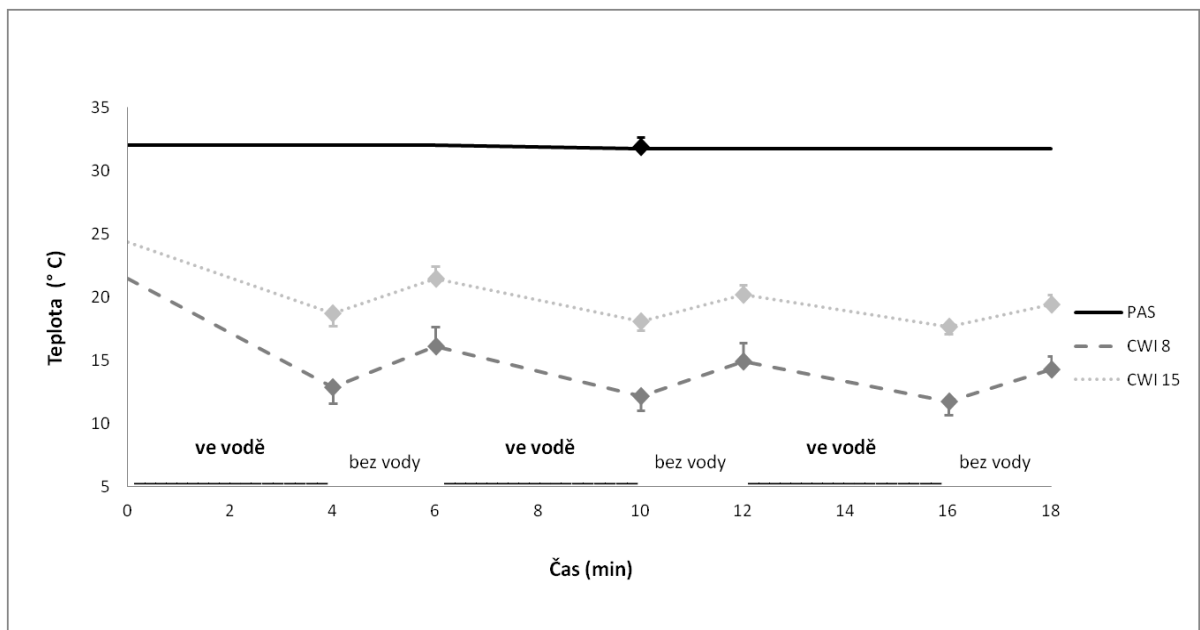
Graf 9. Zobrazení průměrů ($\pm s$) teploty kůže měřené na konci jednotlivých intervalů prvního zotavení (PAS, CWI 8 a CWI 15)



Vlivem dvouminutové přípravy před dalším výkonem stoupla ještě teplota kůže. Kožní teplota tak byla těsně před druhým výkonem u CWI 8 $18,5 \pm 1,4$ °C a $22,2 \pm 1,0$ °C u CWI 15. Odhadnutá teplota svalu byla u CWI 8 $19,8$ °C a $23,5$ °C pro CWI 15.

V Graf 10 je možné si všimnout významně ($P < 0,05$) rozdílné teploty kůže před ponořením paže do vody, který byl dán již aplikací předchozího zotavení. Po aplikaci zotavení je vidět významně vyšší ($P < 0,05$) pokles teploty kůže po CWI 8, než po CWI 15 a to ve všech intervalech zotavení. Teplota kůže se významně ($P < 0,05$) měnila v závislosti na tom, zda byla paže ve vodě, nebo mimo vodu. Při opakování ponoření se teplota kůže významně ($P < 0,05$) snižovala.

Graf 10. Zobrazení průměrů ($\pm s$) teploty kůže měřené na konci jednotlivých intervalů druhého zotavení (PAS, CWI 8 a CWI 15)



Následkem dvouminutové přípravy před dalším výkonem stoupla ještě teplota kůže. Kožní teplota tak byla těsně před třetím výkonem u CWI 8 $17,2 \pm 1,7$ °C a $21,2 \pm 0,8$ °C u CWI 15. Odhadnutá teplota svalu byla u CWI 8 $18,4$ °C a $22,5$ °C pro CWI 15.

Dotazování na konci první procedury CWI 8 ukázalo, že 27 účastníkům je tato procedura nepříjemná a 5 účastníků ji hodnotilo jako neutrální. Druhou proceduru CWI 8 shledalo 21 účastníků nepříjemnou a 11 účastníků neutrální. První proceduru CWI 15 hodnotili 3 účastníci jako nepříjemnou, 16 jako neutrální a 13 jako příjemnou. Druhé CWI 15 hodnotilo 7 účastníků jako nepříjemnou, 14 jako neutrální a 11 jako příjemnou.

Dotazování na pocitovou hodnotu paže (zima - 3 až + 3 teplo) ukázalo, že medián této hodnoty na konci první a druhé procedury CWI 8 byl -2. Na konci první procedury CWI 15 byl tento medián 0 a na konci druhé procedury CWI 15 byl -1.

9 Diskuze

9.1 Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS

V současnosti není známá žádná studie, která by posuzovala reliabilitu sportovně specifického vysoce intenzivního intermitentního výkonu do vyčerpání. Také není známa studie, která by posuzovala reliabilitu cw-NIRS při vysoce intenzivním intermitentním výkonu do vyčerpání v ekologicky validních podmínkách pro sportovní výkon. Z toho důvodu bylo hlavním cílem této studie posoudit reliabilitu a stanovit minimální věcné rozdíly sportovně specifického výkonu a TSI a tHb získaných pomocí cw-NIRS během intermitentního výkonu do vyčerpání pro populaci sportovních lezců. Naše výsledky ukázaly, že intermitentní výkon má dostatečnou reliabilitu a cw-NIRS v klidu i během testu, nicméně interpretace intermitentního výkonu, TSI a tHb by měla být založena také na MDC. Výsledky této studie tvoří důležitý podklad, který ukázal, jaké jsou minimální věcné rozdíly pro sledované parametry druhé studie (Tabulka V, Tabulka VII).

Reliabilita v této studii nebyla posuzována jako vysoká, střední nebo nízká, jak je doporučováno (Weir, 2005). Bylo popsáno, že ICC hodnoty jsou ovlivněny variabilitou mezi účastníky, a z toho důvodu vyšší hodnoty ICC mohou být nalezeny v heterogenním vzorku i když je reliabilita nízká a naopak (Weir, 2005). Navíc CV je často kritizován, protože jeho chybová variabilita je spojena s běžným průměrem a pokud se průměr blíží k nule, hodnota CV vzrůstá pro nízké směrodatné odchylky. SEM je odhadem absolutní reliability a je popisován jako střední chyba měření (Hopkins, 2000). SEM je nezávislá na variabilitě mezi účastníky a tvoří základ k výpočtu minimálních "reálných" rozdílů nebo také MDC, což kryje 95 % konfidenční interval, kde se může pravá hodnota nalézat (Weir, 2005). Z předchozího textu je patrné, že každý ukazatel reliability má svoje limitace, z toho důvodu bylo využito několik ukazatelů, aby čtenář lépe porozuměl reprodukovatelnosti výsledků.

V minulosti byla prezentována řada studií využívajících intermitentní výkon jako typickou zátěž napodobující specifické podmínky sportovního lezení (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012). Baláš et al. (2016) používali naprosto shodný protokol výkonu (60 % MVC 8 s kontrakce + 2 s relaxace) jako naše studie a dospěli k velmi

podobným průměrným výsledkům FTI (24850 Ns). Ostatní studie došly k rozdílným hodnotám FTI (kolem 51 kNs pro elitní lezce), protože využívaly odlišný protokol (40 % MVC 10 s + 3 s). Kinematická analýza pohybu ve sportovním lezení ukázala, že fáze, kdy dochází k držení chytu a fáze kdy dochází k přesunu ruky, jsou v poměru: ~ 4 – 5 : 1 (Donath et al., 2013; Schädle-Schardt, 1998); ~ 7 – 8 : 2 (Arbulu, Usabiaga, & Castellano, 2015). Tento poměr by měl být podle našeho názoru zachován i v modelovém výkonu. Moderní sportovní cesty se staví často v převislých terénech, kde dochází k používání špiček a pat nohou a visech na jedné ruce, z toho důvodu se domníváme, že využití intenzity 40 % MVC není dostatečnou intenzitou napodobující výkon ve sportovním lezení. Další studie, které budou chtít využívat intermitentní výkon do vyčerpání ve sportovním lezení, by měly dát přednost našemu protokolu modelového zatížení, protože vychází z kinematických analýz a využívá vyšší intenzitu blízkou se zatížení v převislých moderních cestách (Arbulu et al., 2015). V žádné studii využívající intermitentní výkon ve sportovním lezení, nebyla prezentována reliabilita tohoto intermitentního výkonu.

Baláš et al. (2016) upozorňují na výrazné kolísání času kontrakce během intermitentního testu, což je v souladu s naší studií a dokazuje to i CV 36,2 %. Domníváme se, že je to způsobeno poměrně dlouhým opakováním testu a rozdílnou reakcí probandů na zvukový signál a rychlostí zaujetí požadované intenzity MVC, o čemž svědčí i vysoká rozkolísanost RFD s CV 19,4 %.

Reliabilitu NIRS na svalech předloktí hodnotili u flexorů prstů pouze Celie et al. (2012) a Van Beekveltová et al. (2002) a pro extenzory zápěstí pouze Crenshaw et al. (2012). Během stupňovaného cvičení s ručním dynamometrem našli Beekveltová et al. (2002) CV pro spotřebu O₂ v rozsahu 13,3-23,2 % v různých intenzitách. Při stejném zatížení našli Celie et al. (2012) ICC v rozsahu 0,025-0,873 pro HHb a 0,220-0,774 pro TSI. Tato studie, ale používala fd-NIRS. Pouze tyto studie posuzovaly reliabilitu NIRS na svalech předloktí. Můžeme se pouze domnívat, že vysoká variabilita ICC je důvodem nízké reprodukovatelnosti měření, nebo je způsobena nízkou variabilitou mezi účastníky. Navzdory našim domněnkám autoři navrhuje, že jejich protokol byl vysoce reliabilní pro měření HHb a TSI. Naše výsledky nemohou být srovnávány s výsledky Celieho et al. (2012) a Beekveltové et al. (2002), protože náš protokol se zaměřoval na náhlé změny během 8 s kontrakce a 2 s uvolnění. Parametry NIRS zvolené pro náš výzkum byly zvoleny na základě studií, které se zabývaly využitím NIRS ve sportovním

lezení (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012). V těchto studiích, ale nebyla známa reliabilita parametrů NIRS. Crenshaw et al. (2012) představili studii, která měla odlišný protokol, ale domníváme se, že porovnání reliability parametrů NIRS je možné. Autoři hodnotili změnu TSI (Δ TSI) v extenzorech zápěstí během izometrických kontrakcí mezi 10-70 % MVC. Crenshaw et al. (2012) našli ICC 0,65 pro klidové hodnoty, což je v souladu s našimi výsledky. Dále ukázali, že Δ TSI během kontrakce patří k nejvíce reliabilním parametrům a Δ tHb k nejméně reliabilním parametrům. Tyto výsledky jsou konzistentní s naší studií (Tabulka VII).

Baláš et al. (2016) ukazují významný rozdíl mezi intermitentním výkonem s aktivním uvolněním paže a bez uvolnění a navrhuji, že uvolnění paže během výkonu vede k prodloužení výkonu. Nicméně rozdíl mezi těmito dvěma výkony (průměrně pro všechny skupiny) byl u FTI $97,4 \text{ Ns}\cdot\text{kg}^{-1}$ a času do selhání 22 s, což spadá do hodnoty námi nalezené MDC (FTI $98,9 \text{ Ns}\cdot\text{kg}^{-1}$; čas do selhání 25,5 s) Tyto výsledky je tedy nutné interpretovat s opatrností. K podobné interpretaci výsledků došlo i během intermitentního výkonu flexorů prstů při intenzitě 40 % MVC, kde byl nalezen významný rozdíl Δ TSI (3 - 9,4 %) mezi lezci a nelezci (Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012) a domníváme se, že to způsobují vaskulární změny ve svalech předloktí způsobené adaptací trénovaných sportovců. Nicméně velikost změn TSI během intermitentního výkonu nepřekročila 3,8 % mezi středně pokročilými, pokročilými a elitními lezci (Δ TSI 11,9 %, 12,4 %, 15,7 %). Naše studie našla MDC pro Δ TSI 4,2 %, což překračuje rozdíly mezi jednotlivými skupinami. Domníváme se, že změny mezi skupinami menší než 4,2 % mohou být způsobeny chybovou variabilitou nebo nízkou reprodukovatelností měření, a proto by měly být takové výsledky interpretovány s opatrností. Je možné, že výkonnostní úroveň ve sportovním lezení není přímo spojená s hemodynamickými změnami, jak bylo prezentováno (Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015), ale s ostatními faktory, jako je typ svalových vláken, tréninkové zaměření nebo všeobecná zdatnost (Baláš et al., 2016; Fryer et al., 2017).

TSI_{min} bylo spojováno s vyššími vytrvalostními předpoklady a využitím kyslíku ve svalu (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015). MDC pro TSI_{min} byla 21,1 %. Tato vysoká hodnota mohla být způsobena hodnotou TSI_{klid}, která ukázala vysoký vnitrotřídní rozptyl hodnot (ICC = 0,420; SEM = 4,9 %; CV = 8,3 %). Z tohoto důvodu

může být velká část chybové variability TSI_{\min} způsobená TSI_{klid} . Navíc TSI_{klid} možná nepředstavuje opravdové klidové hodnoty, protože i když došlo k ustálení TSI a tHb, 10 min nemusí být dostatečná doba. Z technických a bezpečnostních důvodů bylo rozcvičení provedeno před měřením klidových hodnot. Předpokládáme, že pro zvýšení reliability by bylo vhodné: 1) prodloužit čas klidových hodnot 2) vztáhnout hodnoty TSI_{\min} ke klidovým hodnotám TSI.

Domníváme se, že pro lepší interpretaci studie je nezbytné vyzdvihnout její silné stránky a uvést její limitace. Tato studie jako první posuzovala reliabilitu vysoce intenzivního intermitentního testu ve sportovně specifických podmínkách, a tím zvýšila ekologickou validitu výsledků. Předpokládáme, že hemodynamické změny během intermitentních testů se mohou lišit podle polohy paží a celkové polohy těla. Z toho důvodu je nutné tyto testy zkoumat ve sportovně specifických podmínkách. Využití sportovních lezců jako výzkumného souboru zamezilo ovlivňování výsledků efektem zaučení, protože sportovní lezci tento druh kontrakce běžně používají. Tato studie měla poměrně velký výzkumný soubor, který byl téměř rovnoměrně rozdělen na ženy a muže. Naše studie nenašla žádné systematické rozdíly mezi ženami a muži v oxygenaci svalů předloktí. Tyto výsledky jsou v souladu se studií Crenshawa et al. (2012), který nenašel rozdíly mezi pohlavím v oxygenaci extenzoru prstů během žilních okluzí.

9.2 Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody

Toto je první známá studie, která zkoumala vliv CWI na opakovaný intermitentní výkon do vyčerpání ve specificky sportovních a standardizovaných podmínkách u sportovních lezců. Tato studie je také první, která porovnává vliv dvou teplot při CWI na opakovaný intermitentní výkon a odvozené parametry NIRS u sportovních lezců. Mezi hlavní závěry této studie patří: 1) CWI významně zvýšila rychlost zotavení ve srovnání s PAS; 2) CWI významně zvýšila intermitentní izometrický výkon během druhého (CWI 8, CWI 15) a třetího opakování (CWI 15); 3) CWI 15 významně zvýšila intermitentní izometrický výkon během třetího opakování ve srovnání s CWI 8.

Tyto výsledky jsou v souladu s předchozím lezeckým výzkumem, který demonstroval CWI jako efektivní proceduru pro urychlení regenerace mezi opakovanými lezeckými výkony (Baláš et al., 2010; Heyman et al., 2009). Naše studie ukázala významný pozitivní vliv CWI na opakovaný výkon v intermitentním izometrickém testu do vyčerpání, který je typický pro sportovní lezení na obtížnost. Hlavní rozdíl ve srovnání s předchozím výzkumem byl v tom, že naše studie využívala standardizovaný laboratorní protokol a Baláš et al. (2010) a Heymanová et al. (2009) realizovali výkon přímo na lezecké stěně s využitím "reálného" výkonu. Ve studii Heymanové et al. (2009) účastníci opakovaně lezli lezeckou cestu do vyčerpání. Mezi jednotlivými cestami ale byli lezci spouštěni dolů, což lze jen těžko standardizovat, a navíc neexistuje žádná zmínka o rychlosti lezení. Ve studii Baláše et al. (2010) byl výkon realizován kruhovým lezením na malé lezecké stěně bez udané rychlosti. Domníváme se, že toto není také zcela specifický lezecký pohyb, protože ve sportovních cestách se lezci pohybují převážně směrem vzhůru. Naše studie ukázala významný vliv CWI na opakovaný intermitentní výkon v laboratorních podmínkách a vytvořila tak základ pro další studie v oblasti preskripce CWI.

Výsledky naší studie ukázaly, že po aplikaci CWI nedošlo pouze k udržení opakovaného intermitentního výkonu na stejné úrovni, ale také k jeho významnému navýšení. Stejně výsledky našli Vaile et al. (2011) u opakování cyklistického 35 min trvajícího výkonu do vyčerpání. Studie, které se nezabývaly opakováním výkonu, ale předchlazením svalů a zkoumáním následného výkonu, našly také významné

zvýšení svalové vytrvalosti u jednoduchých pohybů (Kimura et al., 1997; Thornley, Maxwell, & Cheung, 2003). Zajímavou studii představili Phillips et al. (2017), kteří testovali vliv pobytu (30 min) v chladném (10 °C) a neutrálním (24 °C) prostředí na následný lezecký výkon (40 % MVC 10 s kontrakce + 3 s uvolnění) a našli významné prodloužení tohoto výkonu po pobytu v chladnějších podmínkách. U všech těchto studií se lze domnívat, že došlo k poklesu teploty zatěžovaného svalu. Svalová vytrvalost je závislá na teplotě svalu a usuzuje se, že kopíruje tvar Gausovy křivky (Wakabayashi, Oksa, & Tipton, 2015). Vrchol této křivky se pravděpodobně nachází někde mezi 25-29 °C, protože sval v tomto rozmezí vykazuje nejvyšší vytrvalost (Clarke, Hellon, & R., 1958; Segal, Faulkner, & White, 1986). Těsně před druhým opakováním výkonu v naší studii se pohybovala odvozená teplota svalu u CWI 8 kolem 19,8 °C a 23,5 °C pro CWI 15 a při třetím výkonu u CWI 8 kolem 18,4 °C a 22,5 °C pro CWI 15. Je zřejmé, že teplota svalu se pohybovala pod doporučeným teplotním pásmem (Clarke et al., 1958). Nicméně rovnice pro výpočet kožní teploty byla odvozena ze studie, kde byl měřen m. adductor pollicis, který je umístěn velmi povrchově ve srovnání s m. flexor digitorum profundus. Z tohoto důvodu se domníváme, že teplota flexoru digitorum profundus v naší studii byla pravděpodobně vyšší. Tento fakt je podpořen i studií, která ukázala, že teplota svalu v hloubce 1 cm klesá rychleji, než teplota svalu v hloubce 3 cm (Myrer et al., 2001). Teplota svalu v naší studii se mohla nacházet v optimální teplotní vytrvalostní zóně vzhledem k hlubšímu umístění flexoru digitorum profundus, a to mohlo způsobit navýšení výkonu nad původní hodnoty. Další vysvětlení pro prodloužení výkonu lze nalézt ve studiích zabývajících se EMG (elektromyografie). Frekvence stimulů pro udržení dané úrovně síly se s podchlazováním tkáně snižuje (Segal et al., 1986). Tato změna může vést ke snížené utilizaci ATP, snížené tvorbě metabolitů a prodloužení vytrvalostního izometrického výkonu (Thornley et al., 2003), což vypovídá o vyšší efektivitě svalových kontrakcí.

Při třetím intermitentním výkonu v naší studii došlo k významnému rozdílu mezi CWI 8 a CWI 15. Výkon, před kterým bylo aplikováno CWI 8 významně poklesl ve srovnání s CWI 15 (Graf 1). To mohlo být způsobeno příliš nízkou teplotou (odhadnutá teplota svalu 18,4 °C), při které se sval dostal z optimální teplotní zóny. Je také možné, že příliš nízká teplota ovlivnila nervosvalové vedení a způsobila pokles výkonu (Wakabayashi et al., 2015). Nicméně v naší studii nebyl nalezen významný vztah mezi poklesem výkonu a kožní ani odvozenou teplotou svalu.

Pokles teploty svalu a optimální teplotní zóna svalové vytrvalosti ale nevysvětlují jednu důležitou část naší studie. Intermittentní výkon na 60 % MVC do vyčerpání v naší studii musel způsobit lokální pokles pH a akumulaci laktátu a dalších metabolitů. Dle poklesu a vzrůstu tHb během CWI je možné usuzovat, že CWI způsobuje okamžitou lokální vazokonstrikci, a tím zrychlené odstranění nahromaděných metabolitů do míst, kde jsou lépe odbourávány (Thornley et al., 2003). Tomu nasvědčuje i střídavý pokles a vzestup teploty během CWI v naší studii (Graf 9, Graf 10). Navíc se ukázalo, že CWI může pomoci ke zrychlenému návratu pH ve svalu do výchozích hodnot (Yanagisawa et al., 2007).

Prodloužení výkonu lze také připisovat snížené citlivosti svalů, která mohla být způsobena analgetickým efektem CWI (Herrera et al., 2011; Thornley et al., 2003). Lze se domnívat, že účastníci v následujícím opakování výkonu necítili bolest, která je spojena s lokální acidózou předloktí, a to mohlo vést k navýšení výkonu.

Nárůst opakovaného výkonu v naší studii po aplikaci CWI by mohl být způsoben kombinací několika dějů: 1) podchlazení svalu do optimální zóny - vyšší efektivita; 2) rychlejší návrat pH do výchozích hodnot; 3) analgetické působení studené vody; 4) snížení metabolismu svalové tkáně - snížená tvorba metabolitů (laktát a H^+) během následujícího výkonu.

Ačkoliv naše studie našla významně pozitivní vliv CWI 15 na opakovaný intermitentní výkon do vyčerpání, je zřejmé, že individuální odezva na tento typ zotavné procedury může být velmi odlišná (Graf 4). Ukázalo se, že individuální rozdíly při lokálním CWI mohou být způsobeny podkožní tukovou vrstvou (Myrer et al., 2001), hloubkou chlazeného svalu (Mawhinney et al., 2013) a pravděpodobně i dalšími parametry jako je nutriční stav, psychika, hydratace a aktuální stav únavy.... Domníváme se, že v tomto případě může hrát roli i celkový povrch ochlazované části těla a velikost svalu. Nicméně v naší studii nebyl nalezen žádný vztah mezi sledovanými parametry a individuální odezvou organismu na CWI. Domníváme se, že příčinou individuální odezvy může být i rozdílná chladová senzitivita účastníků, a z toho vyplývající rozdílné zapojení fyziologických mechanismů po aplikaci CWI. Na základě naší studie se domníváme, že i když byl nalezen pozitivní vliv CWI je nutné k aplikaci CWI přistupovat individuálně, protože jeden typ protokolu CWI nemusí mít stejné účinky pro všechny účastníky studie (Stephens, Halson, Miller, Slater, & Askew, 2017).

Předchozí studie využívající NIRS u lezců (Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012) poukázaly na významné rozdíly v Δ TSI během svalové kontrakce a uvolnění mezi lezci a nelezci. V naší studii nebyl nalezen žádný vliv CWI na Δ TSI (Tabulka IX). To ukazuje, že Δ saturace kyslíku ve vyšetřovaném svalu byla stále stejná. Změny v Δ TSI během kontrakce a relaxace mohou být pravděpodobně ovlivněny hlavně dlouhodobou adaptací svalů na intermitentní výkon (Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015). Podle naší studie CWI tyto změny neovlivňuje.

Významný pokles během intermitentního výkonu po CWI byl nalezen u TSI_{test} a $TSI_{\text{průměr min}}$ (Graf 2 a Graf 3). Pokud vezmeme v úvahu, že nedošlo ke změně tHb_{test} a Δ TSI (Tabulka IX), můžeme se domnívat, že celý průběh oxygenace byl během výkonu významně posunut směrem dolů. To ukazuje, že během výkonu bylo možné svalovou tkáň více de-oxygenovat. Domníváme se, že vyšší de-oxygenace tkání může umožňovat vyšší využití kyslíkových rezerv ve svalu a k prodloužení výkonu v naší studii. Nicméně tyto výsledky je nutné interpretovat s opatrností, protože pokles TSI_{test} a $TSI_{\text{průměr min}}$ není větší než MDC nalezený v naší první studii (Tabulka VII).

Pouze několik studií využívalo NIRS k hodnocení oxygenace a hemodynamických změn při CWI (Ihsan, Watson, Lipski, & Abbiss, 2013; Roberts, Muthalib, et al., 2015; Stanley et al., 2014; Yeung et al., 2016). Ihsan et al. (2016) sledovali vliv 15 min lokálního CWI o teplotě 10 °C po 40 min intenzivním běhu. Autoři sledovali průběh TSI a tHb na quadricepsu a našli významné snížení tHb (20 %) a TSI (2,5 %) na konci CWI. Domníváme se, že v naší studii nedošlo k těmto změnám díky odlišnému protokolu CWI a vysoké rozptýlenosti dat. Nicméně data měla podobný trend (Graf 5, Graf 8). Předpokládá se, že snižující se tHb během ochlazování ukazuje na vazokonstrikci tkání a snížené TSI by mohlo ukazovat na snížení metabolismu svalové tkáně. Na druhou stranu Roberts et al. (2015) zkoumali vliv 10 min lokálního CWI o teplotě 10 °C po 10 sériích 20 maximálních opakování extenzí kolene s 2 min pauzami a sledali při chlazení nárůst tHb nad hodnoty naměřené po zátěži a jeho následný pokles. To mohlo být způsobeno vysokým intramuskulárním tlakem během tohoto typu zatížení, který mohl omezovat krevní oběh v zatěžované končetině a po uvolnění tohoto tlaku došlo k opětovnému prokrvení končetiny i během CWI.

Stanley et al. (2015) sledovali vliv 5 min CWI o teplotě (10 °C) na opakovaný cyklistický intermitentní výkon (18 min) a nenašli žádné významné změny TSI a tHb během následujícího výkonu. Nicméně domnívají se, že jejich data ukazují trend snižujícího se tHb, což by mohlo značit snížený krevní průtok v zatěžovaných svalech

během následujícího výkonu. Yeung et al. (2016) sledovali vliv 10 min CWI (~ 13 °C) na flexi a extenzi kolene do selhání. Autoři našli významné zvýšení TSI během opakovaného výkonu po CWI. Na základě toho se autoři domnívají, že CWI způsobuje zmírnění poklesu oxygenace během následujícího výkonu. Závěry této studie jsou v rozporu s naší studií. V naší studii jsme našli vyšší de-oxygenaci svalové tkáně během následujícího výkonu. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny odlišným typem svalové kontrakce při zatížení. Domníváme se, že koncentrické a excentrické kontrakce mohou pomáhat v "pumpování" krve do zatěžovaných svalů, ale izometrické kontrakce budou spíše způsobovat krevní okluzi. Důležitý je také fakt, že Yeung et al. (2016) nenašli v jejich studii po aplikaci CWI žádný vliv na následný výkon stejně jako studie Strejcové et al. (2012). To nasvědčuje tomu, že CWI může být vhodná pro urychlení zotavení především při opakované izometrické kontrakci, protože všechny studie, které využívaly tento typ kontrakce, našly pozitivní vliv CWI (Baláš et al., 2010; Heyman et al., 2009).

Hodnocení pocitové teploty paže po CWI v naší studii ukázalo, že účastníci hodnotí efekt CWI 8 jako pocitově chladnější a také jako méně příjemný. To svědčí o diskomfortu účastníků během aplikace CWI 8 ve srovnání s CWI 15.

Vzhledem k tomu, že mechanismus působení CWI je stále neobjasněn, je nutná opatrnost při pravidelném využívání CWI. Dlouhodobá aplikace CWI může zpomalit nebo narušit adaptační mechanismy tréninkového procesu (Froehlich et al., 2014; Roberts, Raastad, et al., 2015; Yamane et al., 2006). Předpokládá se, že trénink vyvolává molekulární a humorální změny spojené se zvýšením svalové teploty. Zvýšení teploty je považováno za nezbytné pro pozitivní vliv tréninku a CWI může tento proces snižováním teploty svalu narušovat (Yamane et al., 2006). Na základě těchto studií by mělo být zvaženo využívání CWI jako pravidelného zotavení po sportovním tréninku.

Domníváme se, že CWI je procedurou, kterou je možné využívat v soutěžích sportovního lezení nikoliv však opakovaně během tréninku. Nicméně aby bylo možné plně doporučit CWI v soutěžních podmínkách sportovního lezení, je nutné vyřešit tyto problémy: a) individuální vliv CWI na výkon; b) vliv CWI na koordinaci v reálných soutěžních podmínkách sportovního lezení na obtížnost; c) doba ponoru a teplota vody vedoucí k optimální teplotě svalu.

Silné stránky studie a její limitace

Mezi silné stránky této studie patří velikost výzkumného souboru a využití NIRS, která pomáhá při vhledu do složitých fyziologických mechanismů. Tato experimentální studie kvantifikovala změny v TSI a tHb během CWI a PAS, a tím přispěla značně do neprobádané oblasti výzkumu. Využití specifického lezeckého dynamometru v naší studii zvyšuje ekologickou validitu. K hlavním limitacím studie patří to, že výzkumný soubor byl složen pouze ze sportovních lezců, a proto výsledky lze zobecňovat pouze pro tuto specifickou skupinu. Navíc v reálných lezeckých podmínkách je nutná koordinace svalů celého těla a do výkonu vstupují mentální, technické a taktické aspekty. Z toho důvodu je nárůst reálného lezeckého výkonu pouze spekulativní. Do studie byly zahrnuty pouze dvě teploty vody a jeden časový protokol. Odlišná kombinace teplot a časových protokolů může vést k rozdílným výsledkům. Další limitace jsou spojené s využitím technologie NIRS (umístění a pohyb optod, změna teploty svalu a prokrvení podkoží, ...), u níž jsou některé oblasti stále zdrojem diskuzí. Další limitace spočívají v provádění opakovaného výkonu do vyčerpání, protože tento výkon je ovlivněn do značné míry i motivací a volnými vlastnostmi. Další výzkum by se měl zaměřit na objasnění fyziologických jevů, které přispívají ke zrychlení zotavení během CWI a optimalizaci protokolu CWI ve sportovním lezení.

10 Závěr

Naše studie ukázala, že testování intermitentních izometrických kontrakcí flexorů prstů do vyčerpání s použitím 3D-SAC dynamometru a *cw*-NIRS v klidu i během testu je reliabilní metodou. Nicméně interpretace výsledků intermitentního testu a parametrů odvozených z NIRS by měla být založena také na minimálních věcných rozdílech (intermitentní test FTI: 6322 Ns; TSI_{test} : 19,1 %; TSI_{klid} : 13,6 %; ΔTSI - všechny kontrakce: 4,2 %; ΔTSI - všechna uvolnění: 4,7 %). Na základě těchto poznatků by měly být předcházející lezecké studie zabývající se oxygenačními změnami interpretovány s opatrností.

Tato studie našla významně pozitivní vliv CWI 15 na opakovaný intermitentní výkon do vyčerpání pro skupinu sportovních lezců. CWI s vodou o teplotě 15 °C bylo efektivnější procedurou především při třetím opakování výkonu, než CWI s teplotou 8 °C. Pro urychlení zotavení mezi intermitentními izometrickými výkony do vyčerpání byl nalezen efektivní protokol CWI: 3 × (4 min ponoření + 2 min pauza) s teplotou vody 15 °C. Při sledování parametrů NIRS byl nalezen statisticky významný pokles pro TSI_{test} , TSI_{min} a $TSI_{průměr\ min}$ během druhého a třetího intermitentního výkonu po aplikaci CWI. Tyto změny vypovídají pravděpodobně o možnosti vyšší de-oxygenace podchlazené svalové tkáně během izometrických kontrakcí, a tedy o lepším využití kapilárního kyslíku. Při aplikaci zotavných procedur nebyly nalezeny žádné významné rozdíly v TSI nebo tHb mezi jednotlivými procedurami, které by identifikovaly zapojení odlišných fyziologických mechanismů během zotavení.

11 Použitá literatura

- Abaidia, A. E., Lamblin, J., Delecroix, B., Leduc, C., McCall, A., Nedelec, M., . . . Dupont, G. (2017). Recovery From Exercise-Induced Muscle Damage: Cold-Water Immersion Versus Whole-Body Cryotherapy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 402-409. doi:10.1123/ijsp.2016-0186
- Ahmadi, S., Sinclair, P. J., Foroughi, N., & Davis, G. M. (2008). Monitoring muscle oxygenation after eccentric exercise-induced muscle damage using near-infrared spectroscopy. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme*, 33(4), 743-752. doi:10.1139/h08-048
- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Lemaitre, F., Ahmadi, S., & Buchheit, M. (2010). Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Autonomic Neuroscience-Basic & Clinical*, 156(1-2), 111-116. doi:10.1016/j.autneu.2010.03.017
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008a). Impaired calcium release during fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 296-305.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008b). Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007
- Allen, D. G., & Westerblad, H. (2001). Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *Journal of Physiology-London*, 536(3), 657-665. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00657.x
- Arbulu, A., Usabiaga, O., & Castellano, J. (2015). A time motion analysis of lead climbing in the 2012 men's and women's world championship finals. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 924-934. doi:10.1080/24748668.2015.11868841
- Ascensao, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhaes, S., & Magalhaes, J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 217-225. doi:10.1080/02640414.2010.526132
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 25(11), 1163-1170.
- Baláš, J., Giles, D., Chrastinová, L., Kárníková, K., Kodejška, J., Hlaváčková, A., . . . Draper, N. (2017). The effect of potential fall distance on hormonal response in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, 35(10), 989-994. doi:10.1080/02640414.2016.1206667
- Baláš, J., Chovan, P., & Martin, A. J. (2010). Effect of hydrotherapy, active and passive recovery on repeated maximal climbing performance. *Acta Universitatis Carolinae, Kinanthropologica*, 46(2), 66-73.
- Baláš, J., Michailov, M., Giles, D., Kodejška, J., Panáčková, M., & Fryer, S. (2016). Active recovery of finger flexor enhances intermittent handgrip performance in rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 1-9.
- Baláš, J., Panáčková, M., Kodejška, J., Cochrane, D., & Martin, A. J. (2014). The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 345-354.

- Baláš, J., Panáčková, M., Strejcová, B., Martin, A. J., Cochrane, D., Kaláb, M., . . . Draper, N. (2014). The relationship between climbing ability and physiological responses to rock climbing. *Scientific World Journal*. doi:10.1155/2014/678387
- Baláš, J., Pecha, O., Martin, A. J., & Cochrane, D. (2012). Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16-25. doi:10.1080/17461391.2010.546431
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes - Does it help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796.
- Bastos, F. N., Vanderlei, L. C. M., Nakamura, F. Y., Bertollo, M., Godoy, M. F., Hoshi, R. A., . . . Pastre, C. M. (2012). Effects of Cold Water Immersion and Active Recovery on Post-Exercise Heart Rate Variability. *International Journal of Sports Medicine*, 33(11), 873-879. doi:10.1055/s-0032-1301905
- Bertuzzi, R., Franchini, E., Kokubun, E., & Peduti Dal Molin Kiss, M. A. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 293-300. doi:10.1007/s00421-007-0501-0
- Bieuzen, F., Bleakley, C. M., & Costello, J. T. (2013). Contrast Water Therapy and Exercise Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One*, 8(4). doi:10.1371/journal.pone.0062356
- Billat, V., Palleja, P., Charlaix, T., Rizzardo, P., & Janel, N. (1995). Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(1), 20-24.
- Billman, G. E. (2002). Aerobic exercise conditioning: a nonpharmacological antiarrhythmic intervention. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 446-454.
- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 1015-1024. doi:10.1519/JSC.0b013e31816eb518
- Bleakley, C. M., McDonough, S., Gardner, E., Baxter, G. D., Hopkins, J. T., & Davison, G. W. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(2). doi:10.1002/14651858.CD008262.pub2
- Booth, J., Marino, F., Hill, C., & Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine*, 33, 14-18.
- Born, D. P., Sperlich, B., & Holmberg, H. C. (2013). Bringing Light Into the Dark: Effects of Compression Clothing on Performance and Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 4-18. doi:10.1123/ijsp.8.1.4
- Bottinelli, R., & Reggiani, C. (2000). Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 73(2-4), 195-262. doi:10.1016/s0079-6107(00)00006-7
- Boushel, R. (2010). Muscle metaboreflex control of the circulation during exercise. *Acta Physiologica*, 199(4), 367-383. doi:10.1111/j.1748-1716.2010.02133.x
- Brizendine, J. T., Ryan, T. E., Larson, R. D., & McCully, K. K. (2013). Skeletal Muscle Metabolism in Endurance Athletes with Near-Infrared Spectroscopy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(5), 869-875. doi:10.1249/MSS.0b013e31827e0eb6
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2014). Postexercise Cold Water Immersion Benefits Are Not Greater than the Placebo Effect. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(11), 2139-2147. doi:10.1249/mss.0000000000000348

- Buchheit, M., Al Haddad, H., Chivot, A., Lepretre, P., Ahmaidi, S., & Laursen, P. (2010). Effect of in- versus out-of-water recovery on repeated swimming sprint performance. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(2), 321-327. doi:10.1007/s00421-009-1212-5
- Buchheit, M., Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *296*(2), H421-H427. doi:10.1152/ajpheart.01017.2008
- Cairns, S., P. (2006). Lactic acid and exercise performance - Culprit or friend ? *Sports Medicine*, *36*(4), 279 - 271.
- Caldwell, J. T., Wardlow, G. C., Branch, P. A., Ramos, M., Black, C. D., & Ade, C. J. (2016). Effect of exercise-induced muscle damage on vascular function and skeletal muscle microvascular deoxygenation. *Physiological Reports*, *4*(22). doi:10.14814/phy2.13032
- Celie, B., Boone, J., Van Coster, R., & Bourgois, J. (2012). Reliability of near infrared spectroscopy (NIRS) for measuring forearm oxygenation during incremental handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(6), 2369-2374. doi:10.1007/s00421-011-2183-x
- Chance, B., Dait, M. T., Zhang, C. D., Hamaoka, T., & Hagerman, F. (1992). Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *American Journal of Physiology*, *262*(3), C766-C775.
- Chatzinikolaou, A., Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Avloniti, A., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., . . . Taxildaris, K. (2010). Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(5), 1389-1398. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d1d318
- Christensen, P. M., & Bangsbo, J. (2016). Influence of Prior Intense Exercise and Cold Water Immersion in Recovery for Performance and Physiological Response during Subsequent Exercise. *Frontiers in Physiology*, *7*. doi:10.3389/fphys.2016.00269
- Clarke, R. S., Hellon, R. F., & R., L. A. (1958). The duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures. *The Journal of Physiology*, *143*(3), 454-473.
- Clarkson, P. M., & Sayers, S. P. (1999). Etiology of exercise-induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, *24*(3), 234-248.
- Cochrane, D. J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport*, *5*(1), 26-32.
- Cooke, R. (2007). Modulation of the actomyosin interaction during fatigue of skeletal muscle. *Muscle & Nerve*, *36*(6), 756-777. doi:10.1002/mus.20891
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power Part 1-Biological Basis of Maximal Power Production. *Sports Medicine*, *41*(1), 17-38. doi:10.2165/11537690-000000000-00000
- Crampton, D., Donne, B., Warmington, S., & Egana, M. (2013). Cycling time to failure is better maintained by cold than contrast or thermoneutral lower-body water immersion in normothermia. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(12), 3059-3067. doi:10.1007/s00421-013-2737-1
- Crampton, D., Egana, M., Donne, B., & Warmington, S. A. (2014). Including arm exercise during a cold water immersion recovery better assists restoration of

- sprint cycling performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), E290-E298. doi:10.1111/sms.12169
- Crenshaw, A. G., Elcadi, G. H., Hellstrom, F., & Mathiassen, S. E. (2012). Reliability of near-infrared spectroscopy for measuring forearm and shoulder oxygenation in healthy males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2703-2715. doi:10.1007/s00421-011-2244-1
- Crystal, N. J., Townson, D. H., Cook, S. B., & LaRoche, D. P. (2013). Effect of cryotherapy on muscle recovery and inflammation following a bout of damaging exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2577-2586. doi:10.1007/s00421-013-2693-9
- De Blasi, R. A., Ferrari, M., Natali, A., Conti, G., Mega, A., & Gasparetto, A. (1994). Noninvasive measurement of forearm blood-flow and oxygen-consumption by near-infrared spectroscopy. *Journal of Applied Physiology*, 76(3), 1388-1393.
- De Ruiter, C. J., Jones, D. A., Sargeant, A. J., & De Haan, A. (1999). Temperature effect on the rates of isometric force development and relaxation in the fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *Experimental Physiology*, 84(6), 1137-1150. doi:10.1017/s0958067099018953
- Delextrat, A., Calleja-Gonzalez, J., Hippocrate, A., & Clarke, N. D. (2013). Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 31(1), 11-19. doi:10.1080/02640414.2012.719241
- Dickson, T., Fryer, S., Blackwell, G., Draper, N., & Stoner, L. (2012). Effect of style of ascent on the psychophysiological demands of rock climbing in elite level climbers. *Sports Technology*, 5(3-4), 111-119. doi:10.1080/19346182.2012.686504
- Donath, L., Roesner, K., Schöffl, V., & Gabriel, H. H. W. (2013). Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: Another link to overuse-induced injuries? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(4), 406-414. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x
- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C., & Blackwell, G. (2008). Effect of an on-sight lead on the physiological and psychological responses to rock climbing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(4), 492-498.
- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C. I., & Blackwell, G. (2010). Physiological and psychological responses to lead and top rope climbing for intermediate rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 10(1), 13-20. doi:10.1080/17461390903108125
- Draper, N., & Marshall, H. (2013). *Exercise physiology : for health and sports performance*. Harlow: Pearson.
- Dunne, A., Crampton, D., & Egana, M. (2013). Effect of post-exercise hydrotherapy water temperature on subsequent exhaustive running performance in normothermic conditions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 466-471. doi:10.1016/j.jsams.2012.11.884
- Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2003). Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Medicine*, 33(13), 973-991. doi:10.2165/00007256-200333130-00003
- Edwards, R. H. T., Harris, R. C., Hultman, E., Kaijser, L., Koh, D., & Nordesjo, L. (1972). Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions, sustained to fatigue, of the quadriceps muscle in man. *Journal of Physiology*, 220, 335-352.

- Elias, G. P., Varley, M. C., Wyckelsma, V. L., McKenna, M. J., Minahan, C. L., & Aughey, R. J. (2012). Effects of Water Immersion on Posttraining Recovery in Australian Footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(4), 357-366.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of human movement*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *Journal of Physiology-London*, 586(1), 11-23. doi:10.1113/jphysiol.2007.139477
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2228-2238. doi:10.1249/mss.0000000000000929
- Enwemeka, C. S., Allen, C., Avila, P., Bina, J., Konrade, J., & Munns, S. (2002). Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 45-50. doi:10.1097/00005768-200201000-00008
- España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Jimenez-Pavon, D., Gutierrez, A., Castillo, M. J., & Ruiz, J. R. (2009). Physiology of Sport Climbing. *Revista Internacional De Medicina Y Ciencias De La Actividad Fisica Y Del Deporte*, 9(35), 264-298.
- Essen, B., Jansson, E., Henriksson, J., Taylor, A. W., & Saltin, B. (1975). Metabolic characteristics of fiber types in human skeletal-muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 95(2), 153-165. doi:10.1111/j.1748-1716.1975.tb10038.x
- Fairchild, T. J., Armstrong, A. A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S., & Fournier, P. A. (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 595-602. doi:10.1249/01.mss.0000058436.46584.8e
- Ferguson, R. A., & Brown, M. D. (1997). Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 76(2), 174-180.
- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4577-4590. doi:10.1098/rsta.2011.0230
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49-94.
- Froehlich, M., Faude, O., Klein, M., Pieter, A., Emrich, E., & Meyer, T. (2014). Strength training adaptations after cold - water immersion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2628-2633.
- Fryer, S., Dickson, T., Draper, N., Blackwell, G., & Stoner, L. (2012). The Effect of Ability and Technique on VO2 and Heart Rate Drift in Rock Climbers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44, 781-781.
- Fryer, S., Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Winter, D., & Ellis, G. (2011). Comparison of Lactate Sampling Sites for Rock Climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 32(6), 428-432. doi:10.1055/s-0031-1271712
- Fryer, S., Stone, K. J., Sveen, J., Dickson, T., Espana-Romero, V., Giles, D., . . . Draper, N. (2017). Differences in forearm strength, endurance, and hemodynamic kinetics between male boulderers and lead rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 17(9), 1177-1183. doi:10.1080/17461391.2017.1353135

- Fryer, S., Stoner, L., Lucero, A., Witter, T., Scarrott, C., Dickson, T., . . . Draper, N. (2015). Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 137-142. doi:10.1055/s-0034-1385887
- Fryer, S., Stoner, L., Scarrott, C., Lucero, A., Witter, T., Love, R., . . . Draper, N. (2015). Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 518-526. doi:10.1080/02640414.2014.949828
- Giles, D., Romero, V. E., Garrido, I., Puerta, A. D., Stone, K., & Fryer, S. (2017). Differences in Oxygenation Kinetics Between the Dominant and Nondominant Flexor Digitorum Profundus in Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 137-139. doi:10.1123/ijsp.2015-0651
- Glasgow, P. D., Ferris, R., & Bleakley, C. M. (2014). Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: Is dose important? A randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 15(4), 228-233. doi:10.1016/j.ptsp.2014.01.002
- Goodall, S., & Howatson, G. (2008). The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(2), 235-241.
- Grassi, B., & Quaresima, V. (2016). Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *Journal of Biomedical Optics*, 21(9). doi:10.1117/1.jbo.21.9.091313
- Gruet, M., Temesi, J., Rupp, T., Levy, P., Millet, G. Y., & Verges, S. (2013). Stimulation of the motor cortex and corticospinal tract to assess human muscle fatigue. *Neuroscience*, 231, 384-399. doi:10.1016/j.neuroscience.2012.10.058
- Hamaoka, T., Iwane, H., Shimomitsu, T., Katsumura, T., Murase, N., Nishio, S., . . . Chance, B. (1996). Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *Journal of Applied Physiology*, 81(3), 1410-1417.
- Hamaoka, T., McCully, K. K., Niwayama, M., & Chance, B. (2011). The use of muscle near-infrared spectroscopy in sport, health and medical sciences: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4591-4604. doi:10.1098/rsta.2011.0298
- Hatch, T. (2017). Rules 2017(2.1), 1-107. Retrieved from IFSC Rules 2017 website: http://www.ifscclimbing.org/images/World_competitions/Event_regulations/IFSC-Rules_2017_V2.1.pdf
- Herrera, E., Sandoval, M. C., Camargo, D. M., & Salvini, T. F. (2011). Effect of walking and resting after three cryotherapy modalities on the recovery of sensory and motor nerve conduction velocity in healthy subjects. *Revista Brasileira De Fisioterapia*, 15(3), 233-240.
- Heyman, E., De Geus, B., Mertens, I., & Meeusen, R. (2009). Effect of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(6), 1303-1310.
- Higgins, T. R., Heazlewood, I. T., & Climstein, M. (2011). A random control trial of contrast baths and ice baths for recovery during competition in u/20 rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1046-1051. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cc269f

- Hodgson, C. I., Draper, N., McMorris, T., Jones, G., Fryer, S., & Coleman, I. (2009). Perceived anxiety and plasma cortisol concentrations following rock climbing with differing safety rope protocols. *British Journal of Sports Medicine*, *43*(7), 531-535. doi:10.1136/bjism.2007.046011
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One*, *10*(9). doi:10.1371/journal.pone.0139028
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, *30*(1), 1-15.
- Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise? *Sports Medicine*, *46*(8), 1095-1109. doi:10.1007/s40279-016-0483-3
- Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M., & Abbiss, C. R. (2013). Influence of Postexercise Cooling on Muscle Oxygenation and Blood Volume Changes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(5), 876-882. doi:10.1249/MSS.0b013e31827e13a2
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K., & Beilby, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(3), 417-421.
- Janwantanakul, P. (2009). The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature. *Physiotherapy*, *95*(2), 120-125. doi:10.1016/j.physio.2009.01.004
- Jeffreys, I. (2005). A multidimensional approach to enhancing recovery. *Strength and Conditioning Journal*, *27*(5), 78-85.
- Jones, S., Chiesa, S. T., Chaturvedi, N., & Hughes, A. D. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery Research*, *16*, 25-33. doi:10.1016/j.artres.2016.09.001
- Kaciuba-Uscilko, H., & Gruzca, R. (2001). Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, *4*(6), 533-536. doi:10.1097/00075197-200111000-00012
- Kimura, I. F., Gulick, D. T., & Thompson, G. T. (1997). The effect of cryotherapy on eccentric plantar flexion peak torque and endurance. *Journal of Athletic Training*, *32*(2), 124-126.
- Kindermann, W., & Keul, J. (1977). Lactate acidosis with different forms of sports activities. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, *2*, 177 - 182.
- King, M., & Duffield, R. (2009). The effect of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(6), 1795-1802. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3f81f
- Kodejška, J., Michailov, L., & Baláš, J. (2015). Forearm muscle oxygenation during sustained isometric contractions in rock climbers. *Acta Universitatis Carolinae - Kinanthropologica*, *51*(2), 48-55.
- Koga, S., Poole, D. C., Ferreira, L. F., Whipp, B. J., Kondo, N., Saitoh, T., . . . Barstow, T. J. (2007). Spatial heterogeneity of quadriceps muscle deoxygenation kinetics during cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, *103*(6), 2049-2056. doi:10.1152/jappphysiol.00627.2007
- Lanza, I. R., Tevald, M. A., Befroy, D. E., & Kent-Braun, J. A. (2010). Intracellular energetics and critical PO₂ in resting ischemic human skeletal muscle in vivo.

- American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 299(5), R1415-R1422. doi:10.1152/ajpregu.00225.2010
- Leal Junior, E. C., de Godoi, V., Mancalossi, J. L., Rossi, R. P., De Marchi, T., Parente, M., . . . Brandao Lopes-Martins, R. A. (2011). Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes-preliminary results. *Lasers in Medical Science*, 26(4), 493-501. doi:10.1007/s10103-010-0866-x
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W., & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233-240. doi:10.1136/bjsports-2011-090061
- Leeder, J., Van Someren, K., Bell, P., Spence, J., Jewell, A., Gaze, D., & Howatson, G. (2015). Effects of seated and standing cold water immersion on recovery from repeated sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1544-1552. doi:10.1080/02640414.2014.996914
- Lin, L., Niwayama, M., Shiga, T., Kudo, N., Takahashi, M., & Yamamoto, K. (1998, Jan 28-30). *Two-layered phantom experiments for characterizing the influence of a fat layer on measurement of muscle oxygenation using NIRS*. Paper presented at the Conference on Infrared Spectroscopy - New Tool in Medicine, San Jose, Ca.
- Lombardi, G., Ziermann, E., & Banfi, G. (2017). Whole-Body Cryotherapy in Athletes: From Therapy to Simulation. An Updated Review of the Literature. *Frontiers in Physiology*, 8. doi:10.3389/fphys.2017.00258
- Lytton, J., Westlin, M., Burk, S. E., Shull, G. E., & MacLennan, D. H. (1992). Functional comparisons between isoforms of the sarcoplasmic or endoplasmic-reticulum family of calcium pumps. *Journal of Biological Chemistry*, 267(20), 14483-14489.
- Macleod, D., Sutherland, D. L., Buntin, L., Whitaker, A., Aitchison, T., Watt, I., . . . Grant, S. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, 25(12), 1433-1443.
- Magalhaes, J., Ferreira, R., Marques, F., Olivera, E., Soares, J., & Ascensao, A. (2007). Indoor Climbing Elicits Plasma Oxidative Stress. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(6), 955-963.
- Magiera, A., Rocznik, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J., & Kurek, P. (2013). The Structure of Performance of a Sport Rock Climber. *Journal of Human Kinetics*, 36, 107-117. doi:10.2478/hukin-2013-0011
- Mancini, D. M., Bolinger, L., Li, H., Kendrick, K., Chance, B., & Wilson, J. R. (1994). Validation of near-infrared spectroscopy in humans. *Journal of Applied Physiology*, 77(6), 2740-2747.
- Mawhinney, C., Jones, H., Joo, C. H., Low, D. A., Green, D. J., & Gregson, W. (2013). Influence of Cold-Water Immersion on Limb and Cutaneous Blood Flow after Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(12), 2277-2285. doi:10.1249/MSS.0b013e31829d8e2e
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology*: Lippincott Williams & Wilkins.
- McKay, B. R., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 107(1), 128-138. doi:10.1152/jappphysiol.90828.2008

- Mermier, C. M., Robergs, R. A., McMinn, S. M., & Heyward, V. H. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine, 31*, 224-228.
- Merrick, M., Knight, K., Ingersoll, C., & Pottleiger, J. (1993). The effects of ice and compression wraps on intramuscular temperatures at various depths. *Journal of athletic training, 28*, 236-245.
- Michailov, M. (2006). Study of some of the major factors of performance in climbing. *Sport and Science, special edition(2)*, 11-20.
- Michailov, M., Mladenov, L., & Schöffl, V. (2009). Anthropometric and strength characteristics of world-class boulderers. *Medicina Sportiva, 13(4)*, 231-238.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., Cox, A. J., Hopkins, W. G., Minahan, C. L., & Hunt, P. H. (2008). Muscle damage, inflammation, and recovery interventions during a 3-day basketball tournament. *European Journal of Sport Science, 8(5)*, 241-250. doi:10.1080/17461390802251844
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., Hopkins, W. G., Dorman, J. C., Cook, K., & Minahan, C. L. (2008). The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of Sports Sciences, 26(11)*, 1135-1145. doi:10.1080/02640410802104912
- Muthalib, M., Lee, H., Millet, G. Y., Ferrari, M., & Nosaka, K. (2010). Comparison between maximal lengthening and shortening contractions for biceps brachii muscle oxygenation and hemodynamics. *Journal of Applied Physiology, 109(3)*, 710-720. doi:10.1152/jappphysiol.01297.2009
- Myrer, J. W., Myrer, K. A., Measom, G. J., Fellingham, G. W., & Evers, S. L. (2001). Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *Journal of Athletic Training, 36(1)*, 32-36.
- Niemeijer, V. M., Spee, R. F., Jansen, J. P., Buskermolen, A. B. C., van Dijk, T., Wijn, P. F. F., & Kemps, H. M. C. (2017). Test-retest reliability of skeletal muscle oxygenation measurements during submaximal cycling exercise in patients with chronic heart failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 37(1)*, 68-78. doi:10.1111/cpf.12269
- Niwayama, M., Lin, L., Shao, J., Shiga, T., Kudo, N., & Yamamoto, K. (1999, Jan 24-28). *Quantitative measurement of muscle oxygenation by NIRS: Analysis of the influences of a subcutaneous fat layer and skin*. Paper presented at the Conference on Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue III, San Jose, Ca.
- Ortenblad, N., Westerblad, H., & Nielsen, J. (2013). Muscle glycogen stores and fatigue. *Journal of Physiology-London, 591(18)*, 4405-4413. doi:10.1113/jphysiol.2013.251629
- Ottone, V. O., Magalhaes, F., de Paula, F., Pereira A., N. C., Aguiar, P. F., da Matta Sampaio, P. F., . . . Rocha-Vieira, E. (2014). The Effect of Different Water Immersion Temperatures on Post-Exercise Parasympathetic Reactivation. *Plos One, 9(12)*. doi:10.1371/journal.pone.0113730
- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Lepretre, P. M., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2010). Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology, 109(3)*, 483-490. doi:10.1007/s00421-010-1381-2
- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Nosaka, K., Peake, J. M., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function, body temperatures, and vessel diameter. *Journal of Science and Medicine in Sport, 12(1)*, 91-96. doi:10.1016/j.jsams.2007.10.011

- Periard, J. D., Cramer, M. N., Chapman, P. G., Caillaud, C., & Thompson, M. W. (2011). Cardiovascular strain impairs prolonged self-paced exercise in the heat. *Experimental Physiology*, *96*(2), 134-144. doi:10.1113/expphysiol.2010.054213
- Philippe, M., Wegst, D., Muller, T., Raschner, C., & Burtscher, M. (2012). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(8), 2839-2847. doi:10.1007/s00421-011-2260-1
- Phillips, K., Noh, B., Gage, M., & Yoon, T. (2017). The effect of cold ambient temperatures on climbing-specific finger flexor performance. *European Journal of Sport Science*, *17*(7), 885-893. doi:10.1080/17461391.2017.1328707
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M., & Meyer, T. (2013). Cooling and Performance Recovery of Trained Athletes: A Meta-Analytical Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(3), 227-242.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Duffield, R., Lepretre, P.-M., Cozzolino, C., & Hausswirth, C. (2011). Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(7), 1287-1295. doi:10.1007/s00421-010-1754-6
- Prahl, S. (1999). Optical absorption of hemoglobin. Retrieved from <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/>
- Prieur, F., Berthoin, S., Marles, A., Blondel, N., & Mucci, P. (2010). Heterogeneity of muscle deoxygenation kinetics during two bouts of repeated heavy exercises. *European Journal of Applied Physiology*, *109*(6), 1047-1057. doi:10.1007/s00421-010-1446-2
- Procházka, V., Procházka, V. m., Rotman, I., & Novák, J. (1990). *Horolezectví*. Praha: Olympia.
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology-London*, *537*(2), 333-345. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x
- Pump, B., Shiraiishi, M., Gabrielsen, A., Bie, P., Christensen, N. J., & Norsk, P. (2001). Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *280*(6), H2607-H2615.
- Quaresima, V., Lepanto, R., & Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *43*(1), 1-13.
- Ranalli, G. F., DeMartini, J. K., Casa, D. J., McDermott, B. P., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2010). Effect of body cooling on subsequent aerobic and anaerobic exercise performance: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(12), 3488-3496. doi:10.1519/JSC.0b013e3181fb3e15
- Rhodes, M. E., & Rubin, R. T. (1999). Functional sex differences ('sexual diergism') of central nervous system cholinergic systems, vasopressin, and hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity in mammals: a selective review. *Brain Research Reviews*, *30*(2), 135-152. doi:10.1016/s0165-0173(99)00011-9
- Roberts, L. A., Muthalib, M., Stanley, J., Lichtwark, G., Nosaka, K., Coombes, J. S., & Peake, J. M. (2015). Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, *309*(4), R389-R398. doi:10.1152/ajpregu.00151.2015
- Roberts, L. A., Raastad, T., Markworth, J. F., Figueiredo, V. C., Egner, I. M., Shield, A., . . . Peake, J. M. (2015). Post-exercise cold water immersion attenuates acute

- anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *Journal of Physiology-London*, 593(18), 4285-4301. doi:10.1113/jp270570
- Rosponi, A., Schena, F., Leonardi, A., & Tosi, P. (2012). Influence of ascent speed on rock climbing economy. *Sport Sciences for Health*, 7(2-3), 71-80.
- Ross, M., Abbiss, C., Laursen, P., Martin, D., & Burke, L. (2013). Precooling Methods and Their Effects on Athletic Performance A Systematic Review and Practical Applications. *Sports Medicine*, 43(3), 207-225. doi:10.1007/s40279-012-0014-9
- Rowell, G. J., Coutts, A. J., Reaburn, P., & Hill-Haas, S. (2009). Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 565-573. doi:10.1080/02640410802603855
- Rowell, G. J., Coutts, A. J., Reaburn, P., & Hill-Haas, S. (2011). Effect of post-match cold-water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 1-6. doi:10.1080/02640414.2010.512640
- Sahlin, K. (1986). Muscle fatigue and lactic-acid accumulation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, 83-91.
- Sanchez-Ureña, B., Barrantes-Brais, K., Ureña-Bonilla, P., Calleja-González, J., & Ostojic, S. (2015). Effect of water immersion on recovery from fatigue: a meta-analysis. *European Journal of Human Movement* 34, 1-14.
- Sanchez-Ureña, B., Martinez-Guardado, I., Crespo, C., Timon, R., Calleja-Gonzalez, J., Ibanez, S. J., & Olcina, G. (2017). The use of continuous vs. intermittent cold water immersion as a recovery method in basketball players after training: a randomized controlled trial. *Physician and Sportsmedicine*, 45(2), 134-139. doi:10.1080/00913847.2017.1292832
- Schweizer, A., & Hudek, R. (2011). Kinetics of Crimp and Slope Grip in Rock Climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 116-121.
- Schädle-Schardt, W. (1998). Die zeitliche Gestaltung von Belastung und Entlastung im Wettkampfklettern als Element der Trainingssteuerung. *Leistungssport*, 28(1), 23-28.
- Schöffl, I., Oppelt, K., Juengert, J., Schweizer, A., Neuhuber, W., & Schöffl, V. (2009). The influence of the crimp and slope grip position on the finger pulley system. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2183-2187. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.04.049
- Segal, S., Faulkner, J., & White, T. (1986). Skeletal muscle fatigue in vitro is temperature dependent. *Journal of applied physiology*, 61, 660-665.
- Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 355-359.
- Sherk, V. D., Sherk, K. A., Kim, S., Young, K. C., & Bemben, D. A. (2011). Hormone responses to a continuous bout of rock climbing in men. *European Journal of Applied Physiology*, 111(4), 687-693. doi:10.1007/s00421-010-1685-2
- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14(5), 267-273. doi:10.1097/00042752-200409000-00004
- Smerdu, V., Karschmizrachi, I., Campione, M., Leinwand, L., & Schiaffino, S. (1994). Type-IIx myosin heavy-chain transcripts are expressed in type IIb fibers of human skeletal-muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 267(6), C1723-C1728.
- Sogaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T., & Taylor, J. L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human

- elbow flexor muscles. *Journal of Physiology-London*, 573(2), 511-523.
doi:10.1113/jphysiol.2005.103598
- Solianik, R., Skurvydas, A., Vitkauskienė, A., & Brazaitis, M. (2014). Gender-specific cold responses induce a similar body-cooling rate but different neuroendocrine and immune responses. *Cryobiology*, 69(1), 26-33.
doi:10.1016/j.cryobiol.2014.04.015
- Souglis, A., Bogdanis, G. C., Giannopoulou, I., Papadopoulos, C., & Apostolidis, N. (2015). Comparison of Inflammatory Responses and Muscle Damage Indices Following a Soccer, Basketball, Volleyball and Handball Game at an Elite Competitive Level. *Research in Sports Medicine*, 23(1), 59-72.
doi:10.1080/15438627.2014.975814
- Stanley, J., Buchheit, M., & Peake, J. M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 951-961. doi:10.1007/s00421-011-2052-7
- Stanley, J., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Buchheit, M. (2014). Central and peripheral adjustments during high-intensity exercise following cold water immersion. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 147-163. doi:10.1007/s00421-013-2755-z
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165.
doi:10.1055/s-2008-1034604
- Stenson, M. C., Stenson, M. R., Matthews, T. D., & Paolone, V. J. (2017). 5000 Meter Run Performance is not Enhanced 24 Hrs After an Intense Exercise Bout and Cold Water Immersion. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(2), 272-279.
- Stephens, J. M., Halson, S., Miller, J., Slater, G. J., & Askew, C. D. (2017). Cold-Water Immersion for Athletic Recovery: One Size Does Not Fit All. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 2-9.
doi:10.1123/ijsp.2016-0095
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer - An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.
- Stone, K. J., Fryer, S. M., Ryan, T., & Stoner, L. (2016). The validity and reliability of continuous-wave near-infrared spectroscopy for the assessment of leg blood volume during an orthostatic challenge. *Atherosclerosis*, 251, 234-239.
doi:10.1016/j.atherosclerosis.2016.06.030
- Strejcová, B., & Konopková, R. (2012). The effect of active recovery, cold water immersion and passive recovery on subsequent knee extension and flexion strength. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 42(2), 39-47.
- Takeda, M., Sato, T., Hasegawa, T., Shintaku, H., Kato, H., Yamaguchi, Y., & Radak, Z. (2014). The Effects of Cold Water Immersion after Rugby Training on Muscle Power and Biochemical Markers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(3), 616-623.
- Taylor, J. L., Amann, M., Duchateau, J., Meeusen, R., & Rice, C. L. (2016). Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2294-2306.
doi:10.1249/mss.0000000000000923
- Thacker, S. B., Gilchrist, J., Stroup, D. F., & Kimsey, C. D. (2004). The impact of stretching on sports injury risk: A systematic review of the literature. *Medicine*

- and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 371-378.
doi:10.1249/01.mss.0000117134.83018.f7
- Thornley, L. J., Maxwell, N. S., & Cheung, S. S. (2003). Local tissue temperature effects on peak torque and muscular endurance during isometric knee extension. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 588-594.
doi:10.1007/s00421-003-0927-y
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 447-455. doi:10.1007/s00421-007-0605-6
- Vaile, J., O'Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N., & Askew, C. D. (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *British Journal of Sports Medicine*, 45(10), 825-829.
doi:10.1136/bjism.2009.067272
- van Beekvelt, M. C. P., Borghuis, M. S., van Engelen, B. G. M., Wevers, R. A., & Colier, W. (2001). Adipose tissue thickness affects in vivo quantitative near-IR spectroscopy in human skeletal muscle. *Clinical Science*, 101(1), 21-28.
doi:10.1042/cs20000247
- van Beekvelt, M. C. P., van Engelen, B. G. M., Wevers, R. A., & Colier, W. (2002). In vivo quantitative near-infrared spectroscopy in skeletal muscle during incremental isometric handgrip exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(3), 210-217. doi:10.1046/j.1475-097X.2002.00420.x
- van der Zwaard, S., Jaspers, R. T., Blokland, I. J., Achterberg, C., Visser, J. M., den Uil, A. R., . . . de Ruiter, C. J. (2016). Oxygenation Threshold Derived from Near-Infrared Spectroscopy: Reliability and Its Relationship with the First Ventilatory Threshold. *Plos One*, 11(9). doi:10.1371/journal.pone.0162914
- Vieira, A., Siqueira, A. F., Ferreira, J. B., do Carmo, J., Durigan, J. L. Q., Blazevich, A., & Bottaro, M. (2016). The Effect of Water Temperature during Cold-Water Immersion on Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage. *International Journal of Sports Medicine*, 37(12), 937-943. doi:10.1055/s-0042-111438
- Wakabayashi, H., Oksa, J., & Tipton, M. J. (2015). Exercise performance in acute and chronic cold exposure. *The journal of physical fitness and sports medicine*, 4(2), 177-185.
- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 361-372.
- Weerapong, P., Hume, P. A., & Koht, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine*, 35(3), 235-256. doi:10.2165/00007256-200535030-00004
- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231-240.
- Weltman, A., Stamford, B. A., & Fulco, C. (1979). Recovery from maximal effort exercise - lactate disappearance and subsequent performance. *Journal of Applied Physiology*, 47(4), 677-682.
- Westerblad, H., Allen, D. G., & Lannergren, J. (2002). Muscle fatigue: Lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News in Physiological Sciences*, 17, 17-21.
- White, D. J., & Olsen, P. D. (2010). A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1356-1360.

- White, G. E., Rhind, S. G., & Wells, G. D. (2014). The effect of various cold-water immersion protocols on exercise-induced inflammatory response and functional recovery from high-intensity sprint exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(11), 2353-2367. doi:10.1007/s00421-014-2954-2
- White, G. E., & Wells, G. D. (2013). Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme Physiology & Medicine*, 2-26.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion - A method for sport recovery? *Sports Medicine*, *36*(9), 747-765. doi:10.2165/00007256-200636090-00003
- Xu, G. D., Mao, Z. Z., Ye, Y. J., & Lv, K. R. (2010, Nov 02-05). *Relationship between muscle oxygenation by NIRS and blood lactate*. Paper presented at the 9th International Conference on Photonics and Imaging in Biology and Medicine (PIBM)/3rd Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM), Wuhan, Peoples R China.
- Yamamoto, K., Niwayama, M., Lin, L., Shiga, T., Kudo, N., & Takahashi, M. (1998). Accurate NIRS measurement of muscle oxygenation by correcting the influence of a subcutaneous fat layer. In D. A. Benaron, B. Chance, M. Ferrari, & A. Katzir (Eds.), *Photon Propagation in Tissues Iii, Proceedings Of* (Vol. 3194, pp. 166-173).
- Yamane, M., Teruya, H., Nakano, M., Ogai, R., Ohnishi, N., & Kosaka, M. (2006). Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *European Journal of Applied Physiology*, *96*(5), 572-580. doi:10.1007/s00421-005-0095-3
- Yanagisawa, O., Homma, T., Okuwaki, T., Shimao, D., & Takahashi, H. (2007). Effects of cooling on human skin and skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, *100*(6), 737-745. doi:10.1007/s00421-007-0470-3
- Yeung, S. S., Ting, K. H., Hon, M., Fung, N. Y., Choi, M. M., Cheng, J. C., & Yeung, E. W. (2016). Effects of Cold Water Immersion on Muscle Oxygenation During Repeated Bouts of Fatiguing Exercise A Randomized Controlled Study. *Medicine*, *95*(1). doi:10.1097/md.0000000000002455
- Yoxall, C. W., & Weindling, A. M. (1997). Measurement of venous oxyhaemoglobin saturation in the adult human forearm by near infrared spectroscopy with venous occlusion. *Medical & Biological Engineering & Computing*, *35*(4), 331-336. doi:10.1007/bf02534086
- Zhang, Q., & Styf, J. (2004). Abnormally elevated intramuscular pressure impairs muscle blood flow at rest after exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *14*(4), 215-220. doi:10.1046/j.1600-0838.2003.00362.x
- Zorgati, H., Collomp, K., Boone, J., Guimard, A., Buttelli, O., Mucci, P., . . . Prieur, F. (2015). Effect of pedaling cadence on muscle oxygenation during high-intensity cycling until exhaustion: a comparison between untrained subjects and triathletes. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(12), 2681-2689. doi:10.1007/s00421-015-3235-4
- Åstrand, I., Guharay, A., & Wahren, J. (1968). Circulatory Responses to Arm Exercise with Different Arm Positions. *Journal of Applied Physiology*, *25*(5), 528-&.

12 Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1. Souhlas etické komise

Příloha 2. Informovaný souhlas

Příloha 1 – Souhlas etické komise

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce, zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Reaktivní a adaptační změny při lokálním zotavení studenou vodou po opakovaných izometrických kontrakcích.

Forma projektu: výzkumná práce

Období realizace: 2016 - 2018

Předkladatel: Mgr. Jan Kodejška

Hlavní řešitel: Mgr. Jan Kodejška

Spoluřešitel(é): Mgr. Jiří Baláš Ph.D.

Vedoucí práce (v případě studentské práce): Mgr. Jiří Baláš Ph.D.

Název grantu: GAUK

Popis projektu: Cílem tohoto projektu je determinovat reaktivní a adaptační změny svalů předloktí při ponořování do studené vody (8 a 14 °C) po opakovaném izometrickém výkonu. K naplnění cílů práce bude projekt rozdělen na tři dílčí studie. Dvě experimentální studie budou posuzovat vliv teploty vody (studie 1) a doby ponoru (studie 2) na délku opakovaných izometrických kontrakcí, tkáňovou saturaci O₂ a krevní průtok svalů předloktí. Experimentální studie 3 bude posuzovat dlouhodobou aplikaci studené vody na opakovaný izometrický výkon. Každý účastník bude na začátku vyšetření podroben antropometrickému měření (výška, hmotnost, rozpažení). Poté bude vyhodnoceno jeho tělesné složení pomocí přístroje TANITA. Po rozvíření bude účastníkovi studie připevněn hrudní pás a sportster Polar pro měření srdeční frekvence. Dále mu bude umístěn pomocí náplasti spektroskop MOXY na sval flexor digitorum profundus na pracující paži. Bude následovat test maximální volní kontrakce (MVC) na dynamometru 3D-SAC (dynamometr umožňující akustickou a zrakovou kontrolu). Poté provede účastník 3x izometrický výkon na dynamometru 3D-SAC do vyčerpání po kterém mu bude aplikováno 2x zotavení studenou vodou (ponoření předloktí do vody o teplotě 8 a 14 °C, přerušované 6 a 12min). V případě intervenční studie nebude prováděn izometrický výkon až do vyčerpání a bude využita již optimalizovaná procedura zotavení studenou vodou.

Zajištění bezpečnosti pro posouzení odborníky: Nebudou použity žádné invazivní metody. Při testování bude zajištěna maximální bezpečnost. Rizika zranění při měření maximální síly budou minimalizována standardizovaným rozvířením a specifickým dorozvířením pod vedením vedoucího práce.

Etické aspekty výzkumu: Účast v testování je dobrovolná. Osobní údaje nebudou zveřejněny. Všichni účastníci studie budou plnoletí a jejich věk se bude pohybovat v rozmezí 20 – 25 let. Všichni účastníci budou mít potvrzení o zdravotní způsobilosti.

Informovaný souhlas: příložen

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzují, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne 11.11.2015

Podpis předkladatele:

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: **Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

Členové: prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

doc. Ing. Monika Šorfová, Ph.D.

Mgr. Pavel Hráský, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 150/2015

dne: 11.11.2015

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro provádění výzkumu, zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise.

UNIVERZITA KARLOVA v Praze
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6

.....
podpis předsedkyně EK UK FTVS

Příloha 2 – Informovaný souhlas

Příloha Žádosti o vyjádření Etické komise UK FTVS: Informovaný souhlas

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (*jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné*), Vás žádám o souhlas k dobrovolné účasti na výzkumném projektu v rámci výzkumného projektu GAUK s názvem **reaktivní a adaptační změny při lokálním zotavení studenou vodou po opakovaných izometrických kontrakcích.**

Cíl: Cílem této studie je determinovat reaktivní a adaptační změny svalů předloktí při ponořování do studené vody po opakovaném izometrickém výkonu.

V této studii budou využity pouze neinvazivní metody a techniky. (Spektroskopie, lokální ponořování do studené vody, bioelektrická impedance).

Průběh měření:

Testování proběhne ve čtyřech dnech, 4x 60min. V úvodu měření budou provedena základní antropometrická měření a zaučení. V následujících dnech pak proběhne vždy standardizované rozcvičení (15min). Po rozcvičení bude připevněna tkáňová spektroskopie na flexory prstů, teploměr pro sledování teploty a budou odečteny klidové hodnoty. Poté účastník provede tři maximální izometrické kontrakce na dynamometru 3D-SAC pro určení maximální volní kontrakce. Po odpočinku bude účastník provádět opakovanou izometrickou kontrakci na dynamometru 3D-SAC na úrovni 60 % maximální volní kontrakce až do vyčerpání. Poté bude aplikováno vylosované zotavení studenou vodou (20min). A toto celé se bude opakovat: *Výkon + zotavení + výkon + zotavení + výkon*

Data

Data budou anonymně zpracována a publikována v indexovaných časopisech. Výsledky studie budou účastníkům individuálně rozeslány.

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím se svojí účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se mé účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu.

Místo, datumJméno a příjmení účastníka

Podpis: