

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

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

Autoreferát disertační práce

**Autor:** Mgr. Jan Kodejška

**Vědní obor:** kinantropologie

**Školící pracoviště:** Laboratoř sportovní motoriky

**Školitel:** doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Praha, duben 2018

## Obsah

1	Úvod.....	3
2	Shrnutí teoretické části.....	4
3	Výzkumné otázky.....	5
4	Cíl práce.....	5
5	Hypotézy.....	5
6	Úkoly práce.....	5
7	Metodika.....	6
7.1	Design výzkumu.....	6
7.2	Soubor.....	6
7.3	Realizace měření.....	7
7.4	Použité metodiky.....	10
7.5	Vyhodnocení výsledků.....	12
8	Výsledky.....	13
8.1	Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS.....	13
8.2	Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody.....	16
9	Diskuze.....	22
9.1	Studie 1 - Reliabilita intermitentního výkonu a NIRS.....	22
9.2	Studie 2 - Akutní efekt ponořování do studené vody.....	26
10	Závěr.....	32
11	Vybrané bibliografické citace.....	33

# 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 Shrnutí teoretické části

Vlivem vyčerpávající pohybové aktivity vzniká únava, kterou je nutno spojovat se specifickým typem zatížení. Současné poznatky ukazují, že lokální ponořování do studené vody (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 blízké-infračervené spektroskopie (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 o teplotě 8 °C a CWI o teplotě 15 °C 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).

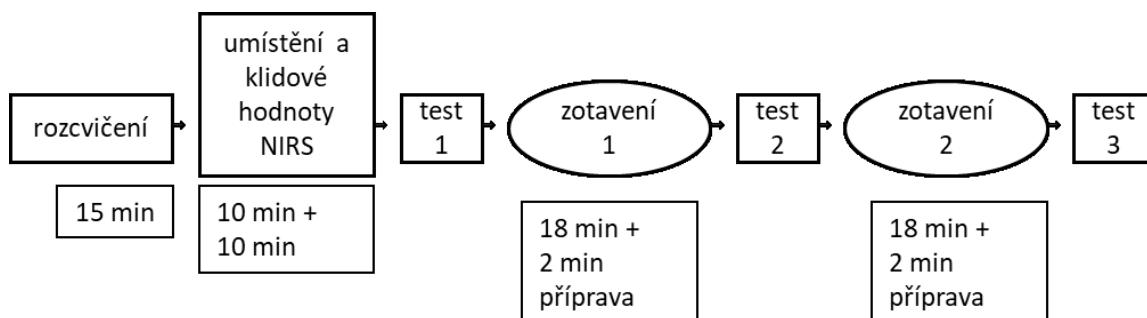
### 7.2 Soubor

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  $\geq 6$  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, Borghuis, van Engelen, Wevers, & Colier, 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 1).



**Obrázek 1. 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.

### **Test maximální síly flexorů prstů**

Test maximální síly byl vykonán pouze při první návštěvě na dominantní paži. K testování byl využit dynamometr 3D-SAC 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, 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. 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  $\pm 1$  °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.

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 úrovní popruhu a zápěstí bylo v dorzální flexi 10°. Paže byla během aplikace zotavení stále ve stejné poloze. 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).

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  $T_{\text{svalu}} = 1,02 \times T_{\text{kůže}} + 0,89$  (De Rooter, Jones, Sargeant, & De Haan, 1999).

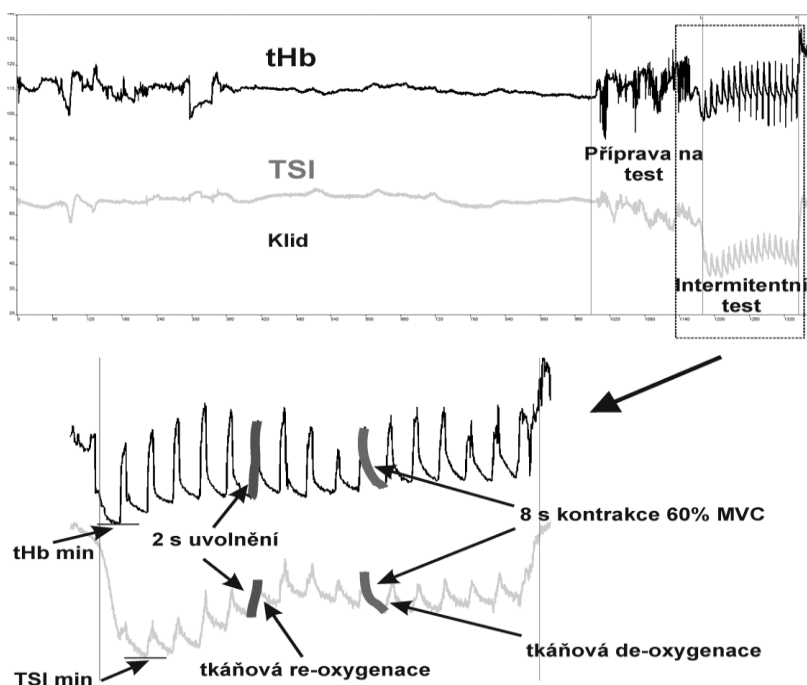
### Dynamometr 3D-SAC

Pro realizaci maximální volní kontrakce a intermitentního testu byl využíván specifický dynamometr 3D-SAC (SpaceLab, Sofie, Bulharsko). Dynamometr využívá k měření síly 3D senzor s měřícím rozsahem  $\pm 2$  kN, přesností 0,5 % a snímací frekvencí 125 Hz. Dynamometr umožňuje kontrolovat intenzitu, trvání zatížení a relaxaci pomocí vizuálního 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).

### 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 palpace 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.

Oxymon využívá dvě vlnové délky infračerveného záření (765 a 855 nm) a SRS metodu. Absorpční změny vlnových délek jsou převáděny na koncentrační změny O<sub>2</sub>Hb 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<sub>2</sub>Hb/(HHb+O<sub>2</sub>Hb), a proto je nezávislé na aktuálním objemu tHb pod optodami. TSI a tHb bylo zaznamenáváno během 10 min klidu (TSI<sub>klid</sub>, tHb<sub>klid</sub>) a během celého intermitentního testu (TSI<sub>test</sub>, tHb<sub>test</sub>), včetně všech 8 s kontrakcí a 2 s uvolnění (Obrázek 2). Minimální a průměrné minimální hodnoty tHb (tHb<sub>min</sub>, tHb<sub>průměr min</sub>) a TSI (TSI<sub>min</sub>, TSI<sub>průměr min</sub>) z jednotlivých kontrakcí byly zařazeny do analýzy (Obrázek 2). Pro možnost srovnání s ostatními studiemi byly vypočteny hodnoty de-oxygenace ( $\Delta$  TSI během kontrakce) a re-oxygenace ( $\Delta$  TSI 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 2.** 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<sub>min</sub> and tHb<sub>min</sub> ukazují nejnížší 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  $\mu$  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 I).

**Tabulka I. 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 <sup>-1</sup> )	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 II).

**Tabulka II. 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 <sup>-1</sup> )	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 III).

**Tabulka III. 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 <sub>test</sub> (%)	40,9 $\pm$ 7,6	39,87 $\pm$ 9,47	41,34 $\pm$ 9,43	0,686
tHb <sub>test</sub> ( $\mu$ mol)	102,3 $\pm$ 17,5	96,2 $\pm$ 14,6	100,1 $\pm$ 16,5	0,096
<i>Klid</i>				
TSI <sub>klid</sub> (%)	59,2 $\pm$ 5,5	58,9 $\pm$ 6,6	58,6 $\pm$ 7,3	0,914
tHb <sub>klid</sub> ( $\mu$ mol)	109,4 $\pm$ 19,1	112,8 $\pm$ 27,8	110,2 $\pm$ 25,5	0,626
<i>Kontrakce</i>				
$\Delta$ TSI - všechny kontrakce (%)	-8,9 $\pm$ 2,9	-8,8 $\pm$ 2,7	-8,4 $\pm$ 2,6	0,487
$\Delta$ TSI - první tři kontrakce (%)	-9,2 $\pm$ 2,7	-9,1 $\pm$ 2,9	-8,6 $\pm$ 2,3	0,383
$\Delta$ TSI - tři poslední kontrakce (%)	-9,2 $\pm$ 3,9	-8,9 $\pm$ 3,2	-8,8 $\pm$ 3,5	0,746
$\Delta$ tHb - všechny kontrakce ( $\mu$ mol)	-17,4 $\pm$ 9,8	-15,0 $\pm$ 7,0	-15,4 $\pm$ 6,5	0,307
TSI <sub>min</sub> (%)	32,5 $\pm$ 9,7	31,6 $\pm$ 10,9	33,5 $\pm$ 10,0	0,605
TSI <sub>průměr min</sub> (%)	36,9 $\pm$ 8,3	36,0 $\pm$ 10,6	37,6 $\pm$ 9,8	0,676
tHb <sub>min</sub> ( $\mu$ mol)	89,5 $\pm$ 14,4	84,9 $\pm$ 14,1	88,8 $\pm$ 15,6	0,153
tHb <sub>průměr min</sub> ( $\mu$ mol)	95,8 $\pm$ 15,7	90,9 $\pm$ 14,2	94,6 $\pm$ 15,9	0,163
<i>Uvolnění</i>				
$\Delta$ TSI - všechna uvolnění (%)	9,0 $\pm$ 3,1	8,8 $\pm$ 2,9	8,5 $\pm$ 2,7	0,547
$\Delta$ TSI - první tři uvolnění (%)	8,2 $\pm$ 2,9	8,4 $\pm$ 3,1	7,8 $\pm$ 2,4	0,398
$\Delta$ TSI - tři poslední uvolnění (%)	9,6 $\pm$ 3,9	9,1 $\pm$ 3,4	9,1 $\pm$ 3,5	0,620
$\Delta$ tHb - všechna uvolnění ( $\mu$ mol)	18,7 $\pm$ 10,1	16,3 $\pm$ 7,3	16,8 $\pm$ 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 IV). 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 IV. 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 <sub>test</sub> (%)	0,399	0,183-0,612	16,6	6,9	19,1
tHb <sub>test</sub> (μmol)	0,513	0,306-0,698	11,4	11,4	31,6
<i>Klid</i>					
TSI <sub>klid</sub> (%)	0,420	0,205-0,629	8,4	4,9	13,6
tHb <sub>klid</sub> (μmol)	<b>0,656</b>	0,478-0,798	12,9	14,3	39,6
<i>Kontrakce</i>					
Δ TSI - všechny kontrakce (%)	<b>0,692</b>	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 (%)	<b>0,652</b>	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 <sub>min</sub> (%)	0,437	0,223-0,642	23,5	7,6	21,1
TSI <sub>průměr min</sub> (%)	0,432	0,217-0,638	19,6	7,2	20,0
tHb <sub>min</sub> (μmol)	0,522	0,316-0,705	11,6	10,2	28,3
tHb <sub>průměr min</sub> (μmol)	0,502	0,293-0,690	11,5	10,8	29,9
<i>Uvolnění</i>					
Δ TSI - všechna uvolnění (%)	<b>0,672</b>	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 (%)	<b>0,612</b>	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 V). 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 V. 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
<b>PAS</b>			
Čas do selhání (s)	91,3 $\pm$ 23,7	<b>81,7 <math>\pm</math> 22,6 #&amp;</b>	<b>70,7 <math>\pm</math> 17,1 #&amp;</b>
FTI rel (Ns $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	361,2 $\pm$ 95,0	<b>325,5 <math>\pm</math> 109,7 #&amp;</b>	<b>283,1 <math>\pm</math> 90,3 #&amp;</b>
Čas kontrakce (s)	7,3 $\pm$ 0,2	7,3 $\pm$ 0,2	7,3 $\pm$ 0,2
RFD (N $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	518,4 $\pm$ 160,0	524,0 $\pm$ 173,0	505,3 $\pm$ 151,6
<b>CWI 8</b>			
Čas do selhání (s)	91,3 $\pm$ 23,3	<b>119,8 <math>\pm</math> 44,9 *#</b>	<b>87,5 <math>\pm</math> 34,6 *#</b>
FTI rel (Ns $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	360,7 $\pm$ 94,3	<b>476,4 <math>\pm</math> 185,7 *#</b>	<b>346,9 <math>\pm</math> 149,6 *#</b>
Čas kontrakce (s)	7,3 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2
RFD (N $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	505,8 $\pm$ 178,7	492,7 $\pm$ 136,4	454,4 $\pm$ 152,7
<b>CWI 15</b>			
Čas do selhání (s)	92,9 $\pm$ 25,2	<b>126,8 <math>\pm</math> 40,4 *#</b>	<b>117,5 <math>\pm</math> 39,6 *#&amp;</b>
FTI rel (Ns $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	367,0 $\pm$ 105,7	<b>507,6 <math>\pm</math> 198,2 *#</b>	<b>467,7 <math>\pm</math> 180,1 *#&amp;</b>
Čas kontrakce (s)	7,3 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2
RFD (N $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	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 V) překročily při využití CWI 8 a CWI 15 MDC nalezené v první studii (Tabulka II)

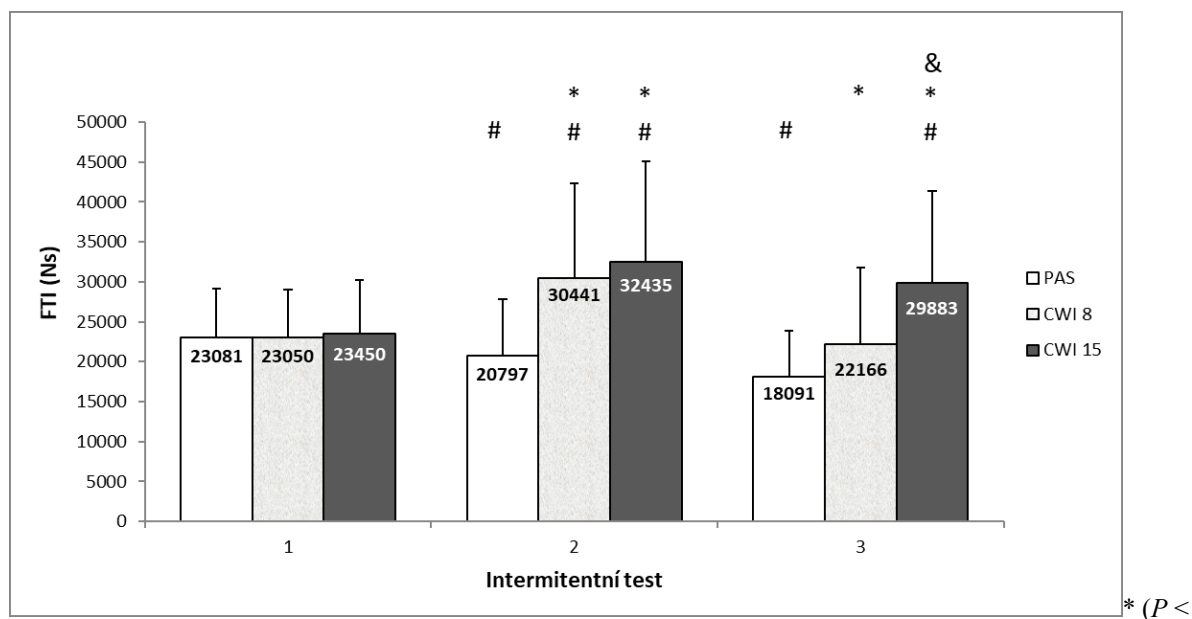
Při druhém opakování testu s PAS došlo k významnému poklesu FTI o 10 % a při třetím opakování testu o 22 % vzhledem k prvnímu testu.

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 (Graf 1) jsou významné též věcně (posuzováno pomocí MDC), (Tabulka II).

**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 VI). 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 IV).

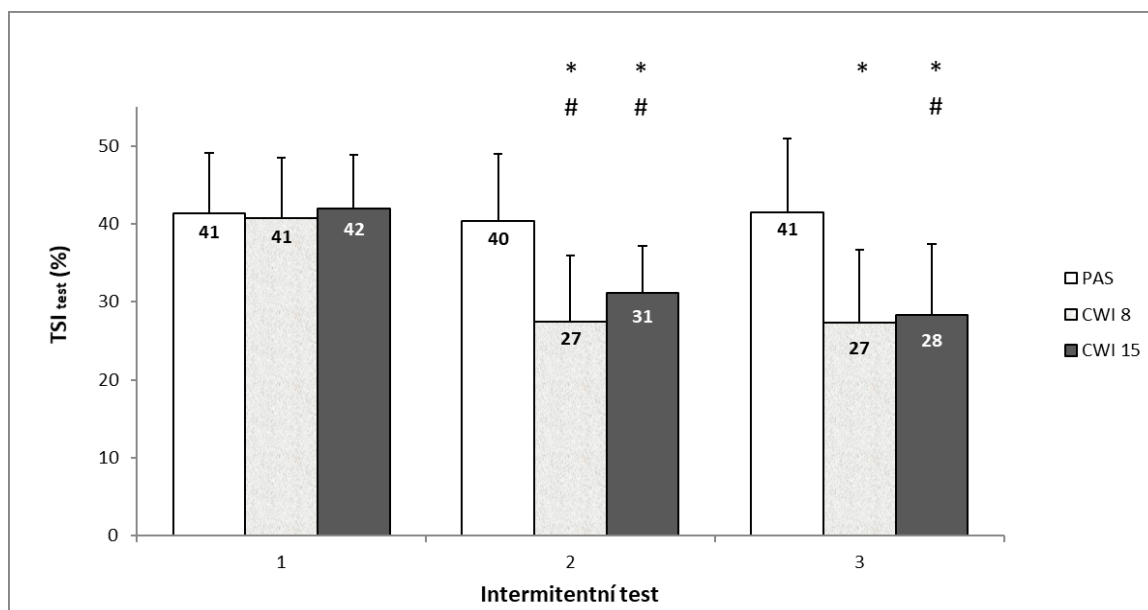
**Tabulka VI. Průměrná skóre ( $\pm s$ ) indexu tkáňové saturace (TSI) a celkového hemoglobinu (tHb), změny během celého testu, kontrakce a uvolnění pro opakovaná měření v intermitentním testu během tří zotavných procedur (PAS, CWI 8 a CWI 15)**

	1. test	2. test	3. test
<b>PAS</b>			
tHb <sub>test</sub> (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 <sub>min</sub> (%)	32,2 ± 9,5	32,7 ± 8,4	33,9 ± 11,6
tHb <sub>min</sub> (μmol)	90,4 ± 14,4	91,7 ± 14,7	89,1 ± 18,4
tHb <sub>průměr min</sub> (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
<b>CWI 8</b>			
tHb <sub>test</sub> (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 <sub>min</sub> (%)	32,5 ± 10,2	<b>21,0 ± 5,9*</b>	<b>20,5 ± 7,1*</b>
tHb <sub>min</sub> (μmol)	86,1 ± 13,5	87,0 ± 13,4	83,4 ± 12,1
tHb <sub>průměr min</sub> (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
<b>CWI 15</b>			
tHb <sub>test</sub> (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 <sub>min</sub> (%)	34,1 ± 9,9	<b>24,5 ± 8,6*</b>	<b>21,7 ± 6,8*</b>
tHb <sub>min</sub> (μmol)	89,6 ± 15,6	90,8 ± 14,5	89,0 ± 13,0
tHb <sub>průměr min</sub> (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 IV).

**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**

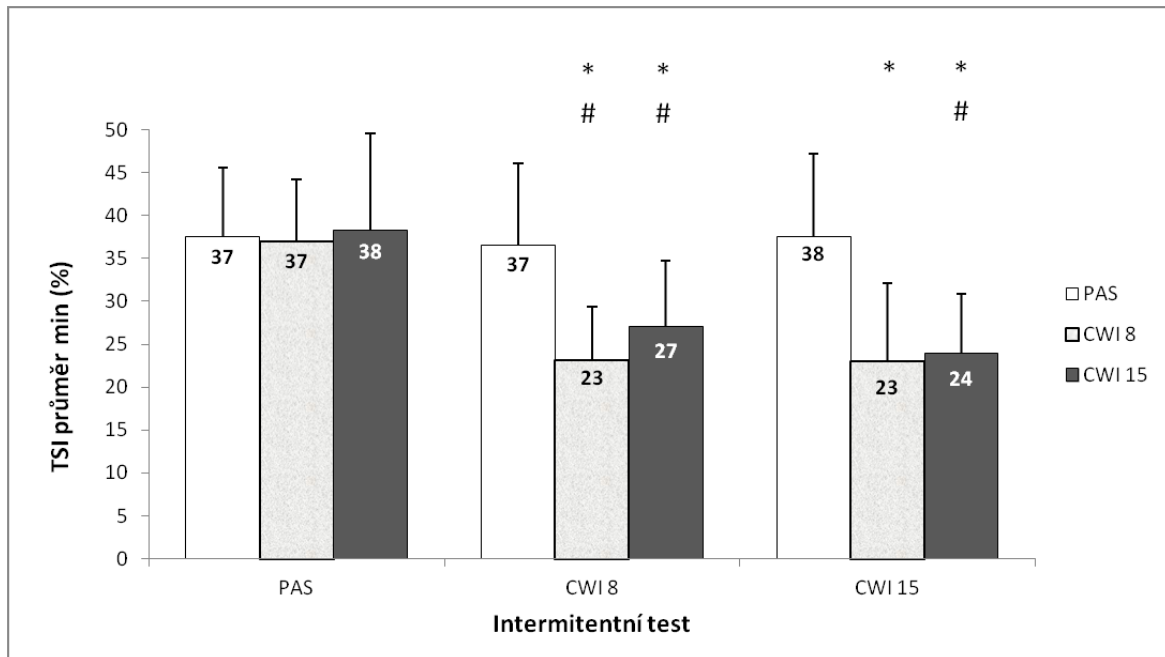


\* ( $P < 0,05$ ) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

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

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

**Graf 3. Vliv pasivního odpočinku (PAS), ponořování do 8 °C (CWI 8) a 15 °C (CWI 15) vody na TSI<sub>průměr min</sub> (průměr + s) při intermitentním výkonu**

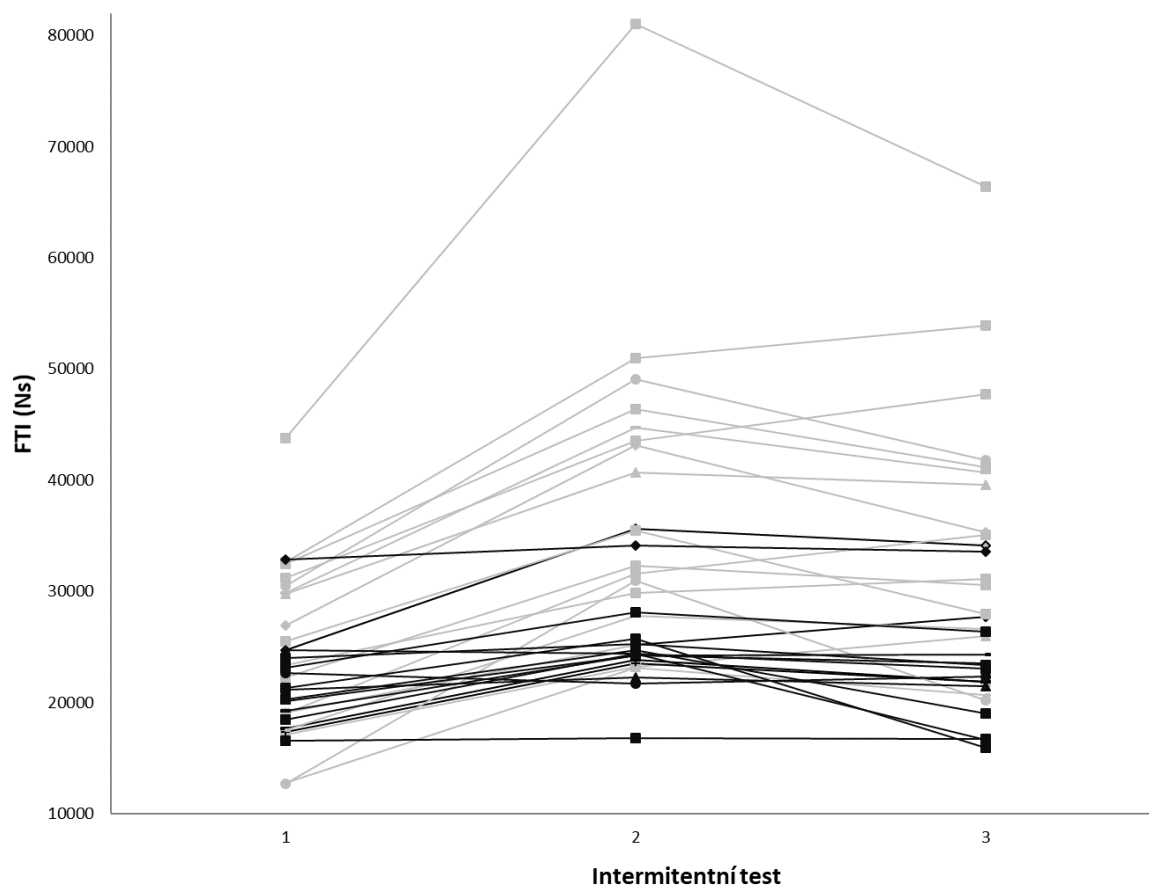


\* ( $P < 0,05$ ) statisticky významný rozdíl vzhledem k testu s PAS v dané úrovni opakování

# ( $P < 0,05$ ) 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)

## 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 II, Tabulka IV).

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, Wegst, Muller, Raschner, & Burtcher, 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:  $\sim 4 - 5 : 1$  (Donath, Roesner, Schöffl, & Gabriel, 2013; Schädle-Schardt, 1998);  $\sim 7 - 8 : 2$  (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 blíží 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 O<sub>2</sub> 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 navrhuji, 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 ( $\Delta$ 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  $\Delta$ TSI během kontrakce patří k nejvíce reliabilním parametrům a  $\Delta$ tHb k nejméně reliabilním parametrům. Tyto výsledky jsou konzistentní s naší studií (Tabulka IV).

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  $\Delta$ 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 ( $\Delta$  TSI 11,9 %, 12,4 %, 15,7 %). Naše studie našla MDC pro  $\Delta$  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).

$\text{TSI}_{\text{min}}$  bylo spojováno s vyššími vytrvalostními předpoklady a využitím kyslíku ve svalu (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015). MDC pro  $\text{TSI}_{\text{min}}$  byla 21,1 %. Tato vysoká hodnota mohla být způsobena hodnotou  $\text{TSI}_{\text{klid}}$ , která ukázala vysoký vnitrotřídní rozptyl hodnot (ICC = 0,420; SEM = 4,9 %; CV = 8,3 %). Z tohoto důvodu může být velká část chybové variability  $\text{TSI}_{\text{min}}$  způsobena  $\text{TSI}_{\text{klid}}$ . Navíc  $\text{TSI}_{\text{klid}}$  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  $\text{TSI}_{\text{min}}$  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, Chovan, & Martin, 2010; Heyman, De Geus, Mertens, & Meeusen, 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, Gulick, & Thompson, 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, Myrer, Measom, Fellingham, & Evers, 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. Intermitentní 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. Navíc se ukázalo, že CWI může pomoci ke zrychlenému návratu pH ve svalu do výchozích hodnot (Yanagisawa, Homma, Okuwaki, Shima, & Takahashi, 2007).

Prodloužení výkonu lze také připisovat snížené citlivosti svalů, která mohla být způsobena analgetickým efektem CWI (Herrera, Sandoval, Camargo, & Salvini, 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 svalů 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 svalů (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 svalů. 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  $\Delta TSI$  během svalové kontrakce a uvolnění mezi lezci a nelezci. V naší studii nebyl nalezen žádný vliv CWI na  $\Delta TSI$  (Tabulka VI). To ukazuje, že  $\Delta$  saturace kyslíku ve vyšetřovaném svalu byla stále stejná. Změny v  $\Delta TSI$  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  $TSI_{\text{test}}$  a  $TSI_{\text{průměr min}}$  (Graf 2 a Graf 3). Pokud vezmeme v úvahu, že nedošlo ke změně  $tHb_{\text{test}}$  a  $\Delta TSI$  (Tabulka VI), 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  $TSI_{\text{test}}$  a  $TSI_{\text{průměr min}}$  není větší než MDC nalezený v naší první studii (Tabulka IV).

Pouze několik studií využívalo NIRS k hodnocení oxygenace a hemodynamických změn při CWI (Ihsan, Watson, Lipski, & Abbiss, 2013; Roberts, Muthalib, et al., 2015; Stanley, Peake, Coombes, & Buchheit, 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. 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 zváženo 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;  $TSI_{\text{test}}$ : 19,1 %;  $TSI_{\text{klid}}$ : 13,6 %;  $\Delta TSI$  - všechny kontrakce: 4,2 %;  $\Delta TSI$  - 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  $TSI_{\text{test}}$ ,  $TSI_{\text{min}}$  a  $TSI_{\text{průměr min}}$  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 Vybrané bibliografické citace

- 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
- 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.
- 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
- 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.
- 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
- 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
- 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
- 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., 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
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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
- 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
- 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.
- Segal, S., Faulkner, J., & White, T. (1986). Skeletal muscle fatigue in vitro is temperature dependent. *Journal of applied physiology*, *61*, 660-665.
- 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

- 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
- 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.
- 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., 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/bjsm.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
- 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.
- 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.
- 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