

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Študijný program: Biológia
Študijný plán: Fyziologie živočichů – Fyziologie živočichů



Bc. Tomáš Javorský

Aplikácia reštrikcie krvného obehu v športovom tréningu lezcov – inovatívna metóda tréningu športovcov?

Diplomová práca

Školiteľ: doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Konzultant: Doc. RNDr. Jitka Žurmanová, Ph.D.

Poprad, 2021

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som záverečnú prácu spracoval samostatne, a že som uviedol všetky použité informačné zdroje a literatúru. Táto práca, ani jej podstatná časť, nebola použitá na získanie iného alebo rovnakého akademického titulu.

V Poprade, 20. 04. 2021

PodĎakovanie

Na začiatku patrí veľké poďakovanie každej osobe, ktorá sa zúčastnila výskumu. Či už sa jedná o celý tím ľudí, ktorí boli okolo mňa a boli nápomocní, až po každého participanta, ktorí sa zúčastnil výskumu. Veľká vďaka patrí účastníkom prvého výskumu, ktorý musel byť predčasne ukončený a obrovské ďakujem patrí každému účastníkovi druhého opakovania experimentu. Za podmienok v akých sme sa nachádzali, je obdivuhodné, že každý dochádzal niekedy aj cez pol mesta za mnou a trávil so mnou čas v laboratóriu. Ďakujem za všetky spoločné aktivity, ktoré sme po tréningoch absolvovali a som vďačný za cenné priateľstvá, ktoré sa počas experimentu vybudovali. Ďalej by som chcel poďakovať mojím mentorom, ktorí mi boli vždy nápomocní aj napriek ich obmedzenému času. Ďakujem doc. Jiří Baláš, Ph.D., ktorý mi vždy poradil keď som si nebol istý a rovnako som vďačný za všetky pripomienky mojej konzultantky doc. RNDr. Jitky Žurmanovej, Ph.D.. Samotné písanie práce bolo náročným obdobím a preto som vďačný za trpezlivosť ktorú so mnou mali moji rodičia a ďakujem mamičke, že si prečítala moju prácu a poskytla mi cenné rady. Taktiež ďakujem „*najúžasnejšej a najlepšej sestričke Deniske za jej revíziu celej mojej práce a strpenie mojej neschopnosti používať zvrtné slovesá! A Dominikovi D. za poskytnutie počítača s nainštalovaným Wordom po dobu celého jedného dňa.*“ Taktiež si cením schopnosť mojej sestry sama si napísať poďakovanie a ušetriť mi tým prácu. Spomedzi osôb, ktoré mi ďalej pomáhali pri písaní, ďakujem pani doktorke Kurincovej za jej cennú revíziu a odborné rady pri písaní práce a jej trpezlivosť s mojimi bipolárnymi náladami počas procesu písania práce. Ďalej by som sa chcel veľmi poďakovať Petrovi Urielovi Hámorovi, za jeho skúsenosti, ktoré ma nasmerovali do Prahy na PŘF UK a veľká vďaka patrí taktiež jeho cenným revíziám, ktoré mi pomohli zamerať sa na ten správny smer.

Rovnako ako v mojej bakalárskej práci je namieste poďakovať vývojárom internetu a jeho nástrojov ako je Google Scholar, PubMed, Science Direct a SciHub, vďaka ktorým som sa dostal k článkom, ktoré mi pomohli pochopiť podstatu fyziológie športového tréningu, metodiky prípravy športovcov a zjednodušili vyhľadávanie relevantných informácií.

Bez všetkých spomenutých ľudí by táto práca nemala formu akú má, a preto im patrí ešte raz moja veľká vďaka, že aj keď som váhal, tak oni mi pomohli, vybrať sa správnym smerom. Táto práca aj keď je písaná mojimi rukami, je tiež prácou každého, kto mi pomáhal a nasmerovával ma. A na záver veľká vďaka patrí MatĎkovi KiĎurovi, bez ktorého by som túto prácu ani neodovzdal!

Názov práce: Aplikácia reštrikcie krvného obehu v športovom tréningu lezcov – inovatívna metóda tréningu športovcov?

Autor: Bc. Tomáš Javorský

Katedra: Katedra fyziológie

Vedúci bakalárskej práce: doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Abstrakt: Medzi najčastejšie zranenia športových lezcov patria zranenia šliach ohýbáčov článkov prstov. Toto zranenie môže športovca vyradiť z tréningového programu na niekoľko mesiacov, čo môže mať rozhodujúci dopad na jeho vrcholovú sezónu. V práci bol porovnávaný tréning s vysokou intenzitou, ktorý prebieha na 70 % silového maxima s tréningom s reštrikciou krvného obehu, ktorý je vykonávaný pri 30% záťaži a ďalej fyziologické a funkčné aspekty tréningu.

Hypotézy: Predpokladáme, že kombinácia nízkej záťaže a ischémie bude dosahovať rovnaké výsledky ako tréning s vysokou intenzitou. Ďalej predpokladáme, že zmeny v oxygenácii svalu budú aj napriek rozdielnej vykonávanej práci rovnaké.

Metódy: trinásť participantov ukončilo experiment vykonaný formou prekríženej štúdie. Počas experimentu bola participantom odmeraná oxidačná kapacita svalu a miera deoxygenácie svalu pomocou spektroskopie. Maximálna sila, kritická sila, impulz sily a impulz sily nad hodnotou kritickej sily boli odmerané a určené pomocou využitia systému 1D-SAC

Výsledky: Po aplikovaní tréningového protokolu s vysokou intenzitou boli zaznamenané nasledovné zmeny: maximálna sila - $-2.6 \text{ N} \pm 54.8 \text{ N}$; kritická sila - $-4.5 \text{ N} \pm 27.9 \text{ N}$; impulz sily - $-99.6 \text{ Ns} \pm 424.3 \text{ Ns}$, impulz sily nad hodnotou kritickej sily - $-20.7 \text{ Ns} \pm 297.8 \text{ Ns}$; index oxygenácie svalu po oklúzii - $7.5 \text{ s} \pm 29.9 \text{ s}$; index oxygenácie svalu po teste „all-out“ - $0.3 \text{ s} \pm 6.5 \text{ s}$; miera deoxygenácie svalu počas „all-out“ testu - $-2.7 \text{ mMol} \pm 10 \text{ mMol}$

Po aplikovaní tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu boli zaznamenané nasledovné zmeny: maximálna sila - $-13 \text{ N} \pm 29.4 \text{ N}$; kritická sila - $-9.9 \text{ N} \pm 33.1 \text{ N}$; impulz sily - $-160.3 \text{ Ns} \pm 352.5 \text{ Ns}$, impulz sily nad hodnotou kritickej sily - $23.6 \text{ Ns} \pm 325.5 \text{ Ns}$; index oxygenácie svalu po oklúzii - $-4.5 \text{ s} \pm 23.6 \text{ s}$; index oxygenácie svalu po teste „all-out“ - $-0.6 \text{ s} \pm 5.3 \text{ s}$; miera deoxygenácie svalu počas „all-out“ testu - $2.3 \text{ mMol} \pm 10.9 \text{ mMol}$

Záver: Predpokladáme, že tréning, pri ktorom dochádza k vysokej záťaži na sval, ale nízkej metabolickej záťaži, je možné porovnať s tréningom s nízkou záťažou na sval, ale vysokou metabolickou záťažou spôsobenou neúplnou ischémiou zaťažovanej končatiny. Nakoľko pri zaznamenaných výsledkoch sa nepreukázala štatistická signifikantnosť ani zásadný vplyv veľkosti skupiny podľa Cohenovo d, je nutné k vytvoreniu úplného záveru ďalšie experimentálne skúmanie so zamedzením pôsobenia limitujúcich faktorov, ktoré mohli celkový výsledok ovplyvniť.

Kľúčové slová: HIT – tréning s vysokou intenzitou, oxygenace svalu, sval, svalové vlákno I a II typ, fyzická záťaž, neúplná ischémia

Title: Application of blood flow restriction by a sport training of climbers – an innovative training method for sportsmen?

Author: Tomáš Javorský BSc.

Department: Department of Physiology

Supervisor: doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Abstract: The most common injuries of performance climbers include tendon injuries of finger flexors. This kind of injury can leave a sportsman unable to follow his training programme for several months, which can have a crucial impact on his peak season. The thesis comprised a comparison of a high-intensity training performed at 70% of muscle strength maximum, with a blood flow restriction training performed at a 30% muscle load, and also the physiological and functional aspects of the training.

Objectives: The presumption is, that the combination of a low muscle load with an ischemy will achieve the same results as a high-intensity training. We also presume, that the alterations in muscle oxygenation remain the same despite different amounts of performed muscle work.

Methods: 13 participants finished the experiment performed in the form of a crossover study. During the experiment the muscle oxidative capacity and the extent of the muscle deoxygenation were measured by spectroscopy. The maximum force, critical force, impulse and the impulse above the critical force point were measured and stated using the 1D-SAC system.

Results: After the onset of the high-intensity training protocol, following changes were observed: maximum force - $-2.6 \text{ N} \pm 54.8 \text{ N}$; critical force - $-4.5 \text{ N} \pm 27.9 \text{ N}$; impulse - $-99.6 \text{ Ns} \pm 424.3 \text{ Ns}$, impulse above the critical force point - $20.7 \text{ Ns} \pm 297.8 \text{ Ns}$; muscle oxygenation index after an occlusion - $7.5 \text{ s} \pm 29.9 \text{ s}$; muscle oxygenation index after an "all-out" test - $0.3 \text{ s} \pm 6.5 \text{ s}$; muscle oxygenation index during an "all-out" test - $-2.7 \text{ mMol} \pm 10 \text{ mMol}$

After the onset of the blood-flow restriction training protocol, following changes were observed: maximum force - $-13 \text{ N} \pm 29.4 \text{ N}$; critical force - $-9.9 \text{ N} \pm 33.1 \text{ N}$; impulse - $-160.3 \text{ Ns} \pm 352.5 \text{ Ns}$, impulse above the critical force point - $23.6 \text{ Ns} \pm 325.5 \text{ Ns}$; muscle oxygenation index after an occlusion - $-4.5 \text{ s} \pm 23.6 \text{ s}$; muscle oxygenation index after an "all-out" test - $0.6 \text{ s} \pm 5.3 \text{ s}$; muscle oxygenation index during an "all-out" test - $2.3 \text{ mMol} \pm 10.9 \text{ mMol}$

Conclusion: We presume, that a high-intensity training, by which a high muscle load but a low metabolic load occur, is comparable with a low-intensity training, which is however accompanied by a high metabolic load caused by an incomplete ischemy of the exercised externity. However, to make a valid conclusion further experimental research which would eliminate the impact of limiting factors with the potential to influence the final results is necessary, since the stated results showed neither statistical singificance nor severe influence of the group size according to kohen D.

Keywords: HIT - high intensity training, muscle oxygenation, muscle, muscle fibre type I and II, physiological stress, incomplete ischemy

OBSAH

1. Úvod	1
2. Ciele práce.....	2
3. Literárny prehľad	3
3.1 Športové lezenie	3
Hodnotenie športového výkonu a požiadavky na štúdie podľa Medzinárodnej výskumnej asociácie športového lezenia.....	4
Riziko zranenia pri športovom lezení	5
3.2 Štruktúra lezeckého výkonu	6
Antropometrické vlastnosti.....	6
Ohybnosť.....	7
Psychologicko-sociologické determinanty.....	7
Svalová sila a vytrvalosť	7
3.3 Fyziologické aspekty lezeckého tréningu – adaptácie svalového systému	8
Molekulárna regulácia adaptácií kostrového svalstva.....	10
Hormonálna odpoveď na záťaž.....	15
Hemodynamická odozva organizmu na športovú záťaž	17
Špecifická záťaž pri športovom lezení	19
Porovnanie tréningu s vysokou intenzitou a tréningu s reštrikciou krvného obehu	20
4. Hypotéza	22
5. Metodika a dizajn štúdie	23
5.1 Typ výskumu.....	23
5.2 Výskumný súbor	24
5.3 Popri nezávislej premennej (popis tréningu testovaných).....	26

Tréning s vysokou intenzitou.....	27
Tréning s reštrikciou krvného obehu	28
5.4 Popis závislej premennej (popis testovania).....	29
Maximálna sila.....	29
Vytrvalosť a kritická sila	29
Infračervená Spektroskopia.....	31
5.5 Použité metódy vyhodnocovania výsledkov.....	33
6. Výsledky	35
7. Diskusia	43
8. Záver	46
9. Bibliografia	47
10. Prílohy	55
10.1 Príloha č. 1: Informovaný súhlas.....	55
10.2 Príloha č. 2: Dotazník	56
10.3 Príloha č. 3: Ukážka vypracovaných údajov po ukončení „all-out“ testu.....	57

Zoznam skratiek

1RM	1-repetičné maximum
FDP	Musculus flexor digitorum profundus
FDS	Musculus flexor digitorum superficialis
GH	Rastový hormón
Hb	Hemoglobín
HHb	Deoxyhemoglobín
HIF	Hypoxiou indukovaný faktor
HIT	Tréning s vysokou intenzitou (High intensity training)
IGF	Inzulínu podobný rastový faktor
IOS	Index oxidačnej kapacity svalu
IRCRA	International rock climbing research association
MDS	Miera deoxygénácie svalu
N	Počet participantov
NIRS	Near infrared spectroscopy (spektroskopia v oblasti infračerveného žiarenia)
NO(s)	Oxid dusný (syntáza)
O ₂ Hb	Oxyhemoglobín
PGC-1 α	Proliferáciu aktivovaný gamma koaktivátor alfa
RKO	Reštrikcia krvného obehu
ROS	Reactive oxygen species (reaktívne kyslíkové formy)
TOR (mTOR)	Z anglického (mammalian) target of rapamycin
TSI	Index saturácie tkaniva (tissue saturation index)
VEGF	Vaskulárne-endoteliálny rastový faktor

1. ÚVOD

Lezecký šport prešiel dlhým vývojom, ale stále je považovaný za pomerne moderný šport. Ako sa tento šport vyvíjal, začali sa objavovať rôzne disciplíny (bouldering, športové lezenie, ľadové lezenie...), ktoré sa postupne transformovali do modernej podoby lezenia ako olympijského športu (Baláš, 2016; Draper et al., 2016). S narastajúcou popularitou sa zvýšil dopyt po kvalitnej forme lezeckého tréningu a udržaní športovca vo vrcholovej kondícii aj v prípade zranenia. K najčastejším zraneniam patria pri lezení tvoria zranenia hornej končatiny, konkrétne ohýbačov svalov prstov (Lum & Park, 2019). Z toho dôvodu je potrebné nájsť spôsob, vďaka ktorému budú lezci trénovať aj napriek zraneniu. Ako vhodný kandidát vyzerá tréning s reštrikciou krvného obehu, pri ktorom dochádza pri relatívne nízkych intenzitách k zvýšeniu metabolickej záťaže na tkanivo, ktoré má obmedzený prívod krvi (Ferraz et al., 2018; Gómez et al., 2020). Táto práca sa na základe dostupnej literatúry zameriava na zhodnotenie adaptácie svalového vlákna na rôzne typy tréningu a vytvorí tak manuál k ďalšiemu štúdiu tréningu s reštrikciou krvného obehu. Pohľad, ktorý sme sa pokúsili v nasledujúcich stranách poskytnúť (kapitola 3.), je na rozmedzí metodického využitia tréningu a fyziologických mechanizmov, ktoré sú zodpovedné za adaptáciu svalového vlákna pri rôznych typoch tréningu. V druhej časti práce (kapitola 5.-6.) sa zameriavame na aplikovanie získaných teoretických poznatkov.

2. CIELE PRÁCE

- Cieľom tejto práce bolo posúdiť účinok tréningu s vaskulárnou oklúziou na izometrickú silu a oxidačnú kapacitu ohýbačov prstov a zmeny na svaľe pri tréningu s vysokou intenzitou v porovnaní s tréningom s nízkou intenzitou

3. LITERÁRNY PREHĽAD

V nasledujúcej kapitole sa budeme venovať priblíženiu problematiky lezeckého športu a postupne sa presunieme od všeobecných poznatkov o športovom lezení, ku konkrétnym fyziologickým mechanizmom, ktoré ovplyvňujú tréning s vysokou intenzitou a tréning s reštrikciou krvného obehu. Posledná časť tejto kapitoly sa bude venovať fyziologickým aspektom športového lezenia.

3.1 Športové lezenie

Pojem lezenie sa do druhej polovice 20. storočia v kontexte vertikálneho pohybu nevyužíval. Od toho obdobia nastal významový posun, ktorý v českej odbornej terminológii ešte nie je kodifikovaný. Z tohto dôvodu je v modernej literatúre tento termín považovaný za termín nadradený šplhu, rúčkovaniu, stúpaniu a všetkým ostatným formám športového a technického lezenia. Medzi takzvané ostatné formy športového a technického lezenia patrí:

Bouldering – bouldering je aktivita, pri ktorej lezec bez lana prekonáva krátky lezecký problém rôznej obťažnosti. Výška spravidla nepresahuje hranicu pre bezpečný doskok (<3m). Na zaistenie dopadového miesta sa využívajú dopadové matrace.

Lezenie s lanom – lezecký pohyb, pri ktorom je lezec naviazaný na lano a zapína postupové istenia a postupuje proti gravitácii na lezeckej ceste. V prípade pádu hrozí lezcovi voľný pád o dĺžke dvojnásobku vzdialenosti nad posledným postupovým istením.

Súťažné lezenie – lezenie, ktorého účelom je výkonnostne porovnať jednotlivých športovcov. Súťaže v lezení prebiehajú obvykle na umelej stene, kde je možné cielenou inštaláciou lezeckých úchytov dosiahnuť požadovanú obťažnosť lezeckej cesty.

Tradičné lezenie – lezenie s lanom, ktoré vyžaduje vedomosti o zakladaní postupového istenia.

Voľné lezenie – pri voľnom lezení sa istiace body využívajú spravidla na postupové istenie a nevyužívajú sa k postupu ani k odpočinku.

Technické lezenie – pri technickom lezení je možné využívať istiace body k postupu a odpočinku.

Ľadové lezenie – pohyb po ľadovom teréne s pomocou stúpacích želiez a cepínov. Táto disciplína patrí medzi súťažné disciplíny (Baláš, 2016).

Lezenie na rýchlosť – pohyb na ceste, kde je lezec istený z hora a súťaž vyhráva najrýchlejší lezec (Stien et al., 2019). Počas lezenia na rýchlosť sa lezie do výšky 15m na ceste, ktorej úchyty sú inštalované podľa predlohy medzinárodnej federácie športového lezenia z roku 2014 (Fuss et al., 2020) .

Lezenie sa stalo súčasťou olympijských hier, ktoré sa mali uskutočniť v Tokiu v roku 2020 (Sanchez, et al., 2019). Lezenie, ako olympijský šport, sa skladá z troch disciplín : lezenie s lanom zamerané na obťažnosť, bouldering a lezenie na rýchlosť (Stien et al., 2019). Vzhľadom na prevalenciu lezeckých štúdií zaoberajúcich sa športovým lezením bude ďalej v tejto práci používaný termín športové lezenie, ktorého náročnosť je určená športovým výkonom.

Hodnotenie športového výkonu a požiadavky na štúdie podľa Medzinárodnej výskumnej asociácie športového lezenia

Medzinárodná výskumná asociácia športového lezenia (The International Rock Climbing Research Association – IRCRA) vznikla v roku 2011 ako prostredie, v ktorom môžu lezci, tréneri, výskumníci a pracovníci v oblasti výskumu športového lezenia zdieľať svoje poznatky, skúsenosti a spolupracovať na výskume lezeckého športu a športovej prípravy. Ako športové lezenie naberalo na popularite, začalo sa postupne zvyšovať číslo zverejnených publikácií (v r. 2016 cca 550 publikácií). S vývojom pokročilejších metód, začalo byť nevyhnutné unifikovať využívané metódy výskumu spolu s jednotlivými stupnicami hodnotenia lezeckého výkonu. Ako bolo spomínané vyššie, existuje široké spektrum lezeckých disciplín a mnoho rôznych systémov na hodnotenie lezeckého výkonu, ktoré sú odlišné z geografických alebo disciplinárnych dôvodov. Medzi najznámejšie stupnice patrí francúzska stupnica, yosemitský decimálny systém, britská stupnica, UIAA (názov stupnice odvodený z Union Internationale des Associations d'Alpinisme) a ďalšie. Ako je zrejmé, z dôvodu rôznych klasifikácií bolo nutné zjednotiť stupnice a preto IRCRA roku 2016 vydala publikáciu, v ktorej navrhla na účely výskumu využiť IRCRA stupnicu. IRCRA stupnica tvorí číselný rad od 1 do 32. Na základe IRCRA sa dajú lezci rozdeliť do piatich skupín:

- nižšia úroveň (skupina je zhodná pre mužov a ženy **1-9**)
- stredná úroveň (muži: **10-17**, ženy: **10-14**)
- pokročilá úroveň (muži: **18-23**, ženy: **15-20**)

- elitná úroveň (muži: **24-27**, ženy: **21-26**)
- vyššia elitná úroveň (muži: **28-32**, ženy: **27-32**) (Draper et al., 2016).

Spomenuté stupnice hodnotenia náročnosti boli vytvorené na monitorovanie výkonu v rámci lezeckej komunity, a preto sú do značnej miery subjektívne. Faktory, ktoré ovplyvňujú lezecký výkon sú: sila a vytrvalosť potrebná na dokončenie lezenia, množstvo postupových istiacich bodov, technická náročnosť jednotlivých pohybov (Giles et al., 2006), veľkosť a tvar úchyto, náklon steny (Stien et al., 2019).

Ďalší aspekt na správne vyhodnotenie a replikovateľnosť odbornej publikácie zaoberajúcej sa problematikou lezeckého športu je zhodnotenie sebaidentifikácie lezca. Z tohto dôvodu je nutné získať odpovede na nasledujúce otázky:

- aká je predominantná športová disciplína? (tradičné lezenie, bouldering, športové lezenie), účastník percentuálne zhodnotí zastúpenie jednotlivých disciplín za posledných dvanásť mesiacov.
- aké je percentuálne rozdelenie času, ktorý účastník strávil lezením na umelej stene a v prírodných terénoch za posledných dvanásť mesiacov
- aký je priemerný čas (tréningov za týždeň a hodín za tréning), počas ktorých sa účastník venoval lezeckému športu za posledných dvanásť mesiacov
- aká je dĺžka trvania aktívnej lezeckej činnosti (na roky a mesiace)
- venuje sa účastník lezeniu na vrcholovej/závodnej úrovni? Ak áno, na ktorom stupni účastník závodí (medzinárodný, národný, lokálny alebo amatérsky stupeň) a v akej disciplíne?
- doplnkovo výskumník môže zistiť preferovaný štýl výstupu a lezecký terén. Tento údaj však nie je nevyhnutný na adekvátne zhodnotenie štúdie a ani v praxi nie je často využívaný (Draper et al., 2016; Fryer et al., 2020).

Riziko zranenia pri športovom lezení

Športové lezenie sa dá považovať za relatívne bezpečný šport. Priemerný počet zranení počas lezenia na 1000 hodín je 4,2 čo je v porovnaní s basketbalom (9,8/1000h) 2,3 násobne nižšie číslo. Riziko zranenia na umelej stene je ešte nižšie – 0,2 zranení na 1000h lezenia. Najčastejšie akútne

zranenia sú spojené s pádom na zem, s pádom kameňa alebo kolízne zranenia (Chang et al., 2016). Medzi najčastejšie patria zranenia ruky, zápästia, nohy a členku (Lum & Park, 2019) Približne 75% zranení lezcov (profesionálnych a rekreačných) zahŕňa akútne a chronické zranenia hornej končatiny. Z toho je približne 60% poranení v oblasti ruky a zápästia. Poškodenia šliach tvoria 52% všetkých zranení ruky a zápästia, ostatné zahŕňajú zlomeniny, dislokácie a tržné rany. Na ruke je najčastejšie miesto poranenia v oblasti proximálnych interfalangeálnych kĺbov (Chang et al., 2016). Pri rekreačnej forme športu trvá rekonvalescencia v prípade invazívnej nápravy zranenia 9,1 mesiacov a v prípade neinvazívneho liečenia rekonvalescencia trvá 3,9 mesiacov (Lum & Park, 2019). Prevalencia zranení za obdobie šiestich mesiacov je v prípade pokročilej (58%) a elitnej (56%) úrovne vyššia ako v prípade rekreačných lezcov (47%) (Grønhaug, 2018). Nakoľko je lezenie olympijským športom, je potrebné hľadať alternatívy k špecifickému lezeckému tréningu, ktorý nie je možné v období rekonvalescencie vykonávať. Práve preto je táto práca zameraná na fyziologické zmeny hlbokého ohýbača článkov prstov (musculus flexor digitorum profundus - FDP). FDP je sval využívaný pri každej forme športového a technického lezenia, ktorá bola spomenutá vyššie (Crowley, 2012).

3.2 Štruktúra lezeckého výkonu

Lezecký výkon sa skladá z piatich základných determinantov, ktoré určujú výkon športovca – antropometrické vlastnosti, ohybnosť, psychologicko-sociologické, svalová sila a vytrvalosť (Baláš, 2016; Draper et al., 2009; Giles et al., 2006). Ďalšie faktory ktoré ovplyvňujú lezecký výkon sú: zázemie športovca, kondícia a vonkajšie faktory, medzi ktoré patrí - počasie, charakter skaly a jej druh skaly. Lezec, ktorého cieľom je zdokonaľovanie sa, potrebuje pre zvýšenie výkonnosti upriamiť pozornosť na zlepšenie fyziologicko-psychologických determinantov. Medzi tieto determinanty patria:

Antropometrické vlastnosti

Determinujú možnosti lezca dosahovať športový výkon vzhľadom na stavbu jeho tela. Vo všeobecnosti pri aktivitách, ktoré zahŕňajú dvíhanie váhy tela proti gravitácii, sa tvorí nadbytočná hmotnostná záťaž, ktorá lezca znevýhodňuje (Giles et al., 2006). Preto nie je prekvapivý trend negatívnej korelácie medzi úrovňou a váhou. Elitní lezci majú málo podkožného tuku a nízku váhu. Medzi ďalšie antropometrické vlastnosti, ktoré určujú športový výkon, patrí výška (elitní športovní

lezci majú výšku približne 180 cm a ženy približne 165 cm) (Watts et al., 1993) a pozitívny „ape index“ (porovnanie výšky a rozpätia rúk). Telesná váha, ape index a výška poskytujú lezcovi výhodu, ale nie sú nevyhnutné na dosiahnutie elitnej úrovne (Giles et al., 2006).

Ohybnosť

Ohybnosť je tvorená hodnotou rozsahu pohybu jednotlivých kĺbov alebo skupiny kĺbov. Profesionálni lezci identifikovali flexibilitu ako jeden z kľúčových komponentov lezeckého výkonu. Hlavný dôraz sa kladie na flexibilitu dolných končatín – flexia/abdukcia bedrového kĺbu, vonkajšia rotácia na vysoký krok a prepojovacie pohyby. Draper s kolektívom zistili, že miera flexibility úzko súvisí s úrovňou lezenia a vyššia úroveň flexibility je spojená s vyšším výkonom (Draper et al., 2009).

Psychologicko-sociologické determinanty

Psychologicko-sociologické determinanty športového výkonu tvoria subjektívnu časť športového výkonu. Do tejto skupiny patria: dobré plánovanie lezeckých pohybov, technika, koordinácia pohybu, akceptácia rizika, správne zvolená taktika výstupu, mentálna rovnováha a komunikácia s lezeckými partnermi (Sanchez et al., 2019). Ďalej sem patrí zázemie športovca, ktoré determinuje samotnú možnosť zapojiť sa do lezeckých aktivít (Baláš, 2016).

Svalová sila a vytrvalosť

Najviac využívanou svalovou skupinou pri lezení sú svaly predlaktia, ktoré určujú lezecký výkon (Giles et al., 2006). Na základe požiadaviek na svalovú silu a vytrvalosť je možné športové lezecké disciplíny rozdeliť na silové a vytrvalostné. Silová disciplína je napr. bouldering a vytrvalostná disciplína je napr. súťažné lezenie s lanom. Štúdie z rokov 2017 a 2019 preukázali vyššiu maximálnu silu „boulderistov“. Na opačnej strane čas nástupu svalovej únavy, určený intermitentným testom, bol výrazne dlhší pri lezcoch s lanom (Fryer et al., 2017; Stien et al., 2019). Takisto porovnanie pokročilej lezeckej skupiny s kontrolnou skupinou nelezcov preukázalo výrazne lepšiu svalovú silu lezcov, ale čas nástupu svalovej únavy bol v prípade „boulderistov“ kratší ako v kontrolnej skupine (Fryer et al., 2017).

Nakoľko táto práca je zameraná na determináciu zmien svalovej sily a vytrvalosti, nasledujúce odseky budú venované metódam, ktoré sa využívajú pri hodnotení lezeckého výkonu:

3.3 Fyziologické aspekty lezeckého tréningu – adaptácie svalového systému

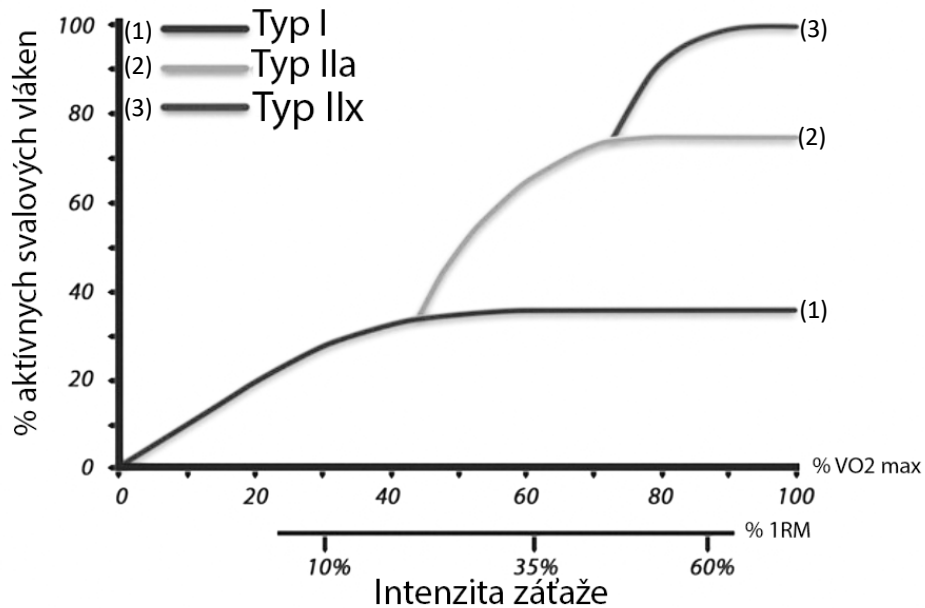
Športový tréning a cvičenie spúšťa v organizme niekoľko foriem akútnych a chronických adaptácií, ktoré sú zásadné pre nárast svalovej sily / výdrže a hypertrofiu (Hellsten & Nyberg, 2016; Kraemer & Ratamess, 2005; Larkin et al., 2013; Steinbacher & Eckl, 2015). Tieto adaptácie sa ďalej dajú rozdeliť na celkové a lokálne. Zo všeobecného pohľadu sa nedá určiť, aké je percentuálne zastúpenie jednotlivých adaptácií na celkovú zmenu svalu. Pri cvičení je ovplyvnených viacero dráh, ktoré sú dôležité v rámci svalu alebo konkrétnej svalovej skupiny (Kraemer & Ratamess, 2005; Zanou & Gailly, 2013). Medzi tieto dráhy patrí pôsobenie oxidu dusného (NO) hypoxiou indukovaného faktora 1 α (HIF-1 α , tento faktor sa vzhľadom na rozsah jeho funkcií uplatňuje aj v prípade celkovej odpovede organizmu na cvičenie), vaskulárne endoteliálny rastový faktor (VEGF) a iné (Javorský, 2019). Na druhej strane, pri cvičení dochádza k hormonálnej odpovedi a k zmenám v koncentráciách testosterónu, rastového hormónu (GH), kortizolu, rastového faktora podobného inzulínu (Insulin-like growth factor IGF), inzulínu, katecholamínov a ďalších (Kraemer & Ratamess, 2005; Sherk et al., 2011). Ďalej cvičenie ovplyvňuje hemodynamickú a kardiovaskulárnu odozvu organizmu (Baláš, 2016; Hoier & Hellsten, 2014; Javorský, 2019; Mortensen et al., 2008). Nakoniec je nutné dbať na záťaž cvičenia, ktorá sa v literatúre delí na vytrvalostnú a silovú záťaž (Panzhinskiy et al., 2013). Zmeny v závislosti od typu záťaže sú znázornené v tabuľke č. 1.

	Aeróbna záťaž (Vytrvalostná)	Anaeróbna záťaž (silová)
<i>Hypertrofia svalu</i>	↔	↑↑↑
<i>Sila svalu</i>	↔↓	↑↑↑
<i>Veľkosť svalového vlákna</i>	↔↑	↑↑↑
<i>Neuronálne adaptácie</i>	↔↑	↑↑↑
<i>Anaeróbna kapacita</i>	↑	↑↑
<i>Syntéza proteínov myofibrilu</i>	↔↑	↑↑↑
<i>Syntéza mitochondriálnych proteínov</i>	↑↑	↔↑
<i>Tolerancia na laktát</i>	↑↑	↔↑
<i>Kapilarizácia</i>	↑↑	↔
<i>Počet satelitných buniek</i>	↑↑	↑↑↑
<i>Počet jadier myocytu</i>	↔↑	↑↑↑
<i>Glykolytická funkcia</i>	↑	↑↑↑
<i>Počet mitochondrií a oxidačná kapacita</i>	↑↑↑	↔↑
<i>Vytrvalostná kapacita</i>	↑↑↑	↔↑
<i>Hustota minerálov v kostrovom tkanive</i>	↑↑	↑↑
<i>Percentá telového tuku</i>	↓↓	↓
<i>Hladina inzulínu v pokoji</i>	↓	↓
<i>Citlivosť na inzulín</i>	↑↑	↑↑
<i>Zápalové markery</i>	↓↓	↓
<i>Pokojuvá srdcová frekvencia</i>	↑↑	↔
<i>Ejekčný srdcový objem (pokojný a maximálny)</i>	↑↑	↔
<i>Systolický tlak v pokoji</i>	↔↓	↔
<i>Diastolický tlak v pokoji</i>	↔↓	↔↓
<i>Riziko kardiovaskulárnych chorôb</i>	↓↓↓	↓
<i>Bazálny metabolizmus</i>	↑	↑↑

Tabuľka č. 1: Znáznornenie zmien vo svaloch v prípade rôznej intenzity záťaže. Šípka ↑ znázorňuje nárast hodnoty, ↓ pokles hodnoty a pri ↔ ostáva hodnota nezmenená. Intenzita zmeny je znázornená pomocou počtu symbolov. V prípade jedného symbolu sa jedná o malú zmenu, dva symboly znázorňujú strednú zmenu a tri symboly znázorňujú veľkú zmenu. V prípade symbolu ↔↓ alebo ↔↓k zmene hodnoty nedošlo alebo bola zmena zanedbateľná. Tabuľka je prevzatá z Egan & Zierath, 2012 a Qaisar et al, 2016

Intenzita záťaže na svalové vlákno, pri ktorej sa dá aktivita považovať za anaeróbnu, závisí od vytrénovanosti jedinca, genetických predispozícií a od zaťažovaného svalu (a jeho typológie podľa svalových vlákien – Typ I, Typ IIa a Typ IIx). Približné zapojenie svalových vlákien v závislosti od

intenzity záťaže je znázornené na obrázku č. 1 (Egan & Zierath, 2012). Na grafe je znázornený Hennmannov princíp zapojenia rôznych typov svalov v závislosti od stimulácie motorickej jednotky. Tento princíp neplatí v prípade rýchlych kontrakcií a pri únave (Henneman & Olson, 1965; Henneman, 1985; Seven et al., 2021).



Obrázok č. 1: Schematické znázornenie zapojenia jednotlivých typov svalových vlákien v závislosti na intenzite cvičenia v % VO2 max (maximálny príjem kyslíka a v % 1-repetičného maxima - 1RM) upravené podľa (Egan & Zierath, 2012)

Z predchádzajúceho odstavca je zrejmé, že celková zmena fenotypu svalu je závislá od rôznych faktorov. Nasledujúca podkapitola sa bude venovať jednotlivým úrovňam regulácie a odpovede namáhaného svalu na fyzickú záťaž s prihliadnutím na intenzitu záťaže.

Molekulárna regulácia adaptácií kostrového svalstva

Adaptácia svalu na fyzickú záťaž je na molekulárnej úrovni regulovaná širokým spektrom proteínov. V odbornej literatúre (Egan & Zierath, 2012; Hackney, 2019; Steinbacher & Eckl, 2015) sa odlišuje dôraz kladený na jednotlivé signálne dráhy, a preto sme sa v nasledujúcich odstavcoch pokúsili vybrať tie najdôležitejšie, ktoré ovplyvňujú zásadným spôsobom aeróbne alebo anaeróbne cvičenie.

- **HIF-1** – Detekcia kyslíka vo svaloch je proces, ktorý slúži k regulácii adaptívnej odpovede svalu na záťaž. Vnútro bunkový parciálny tlak kyslíka je regulovaný pomocou hypoxiou

indukovaného faktora (Egan & Zierath, 2012). HIF sa skladá z dvoch podjednotiek HIF-1 α a HIF-1 β (Benizri et al., 2008; Egan & Zierath, 2012; Javorský, 2019). Počas normoxických podmienok, prolylhydroxyláza hydroxyluje HIF-1 α podjednotku, čo spúšťa ubikvitináciu HIF-1 α . V prípade hypoxických podmienok alebo zníženia vnútrobunkového parciálneho tlaku kyslíka dochádza k vytvoreniu komplexu HIF-1, ktorý ovplyvňuje erytropoézu, angiogenézu, glykolýzu a energetický metabolizmus svalu. Táto signálna molekula je stabilizovaná vo väčšom rozsahu v prípade anaeróbného cvičenia a spôsobuje zmenu fenotypu svalu na IIX (Egan & Zierath, 2012; Masoud & Li, 2015). Dráhy aktivované alebo zmenené pomocou HIF sú zaznamenané v tabuľke č. 2.

Transkripčný faktor / jadrový receptor	Funkcia
EPO	Zvýšenie erytropoézy
GLUT1, GLUT3	Zvýšený glukózový uptake
NOS	Zvýšenie produkcie NO, vazodilatácia, signál na angiogenézu
VEGF	Dráha ovplyvnená NO, angiogenéza
IGF	Stimuluje hypertrofiu, proliferáciu a diferenciáciu svalovej bunky, ovplyvňuje prežívanie bunky, indukuje mTOR signalizačnú dráhu

Tabuľka č. 2: Zoznam transkripčných faktorov a receptorov, ktoré interagujú s HIF-1. HIF – hypoxiou indukovaný faktor, EPO – erytropoetín, GLUT – glukózový transportér, NOS – syntáza oxidu dusného, VEGF – vaskulárne-endoteliálny rastový faktor, IGF – inzulínu podobný rastový faktor, spracované podľa (Masoud & Li, 2015)

- **PGC-1 α** – Proliferáciou aktivovaný gama-receptor koaktivátor 1 α (PGC-1 α) patrí medzi koaktivátory, ktoré sú aktivované vytrvalostným cvičením. Imunofluorescenčnými zobrazovacími technikami sa zistilo, že PGC-1 α sa nachádza v jadre a cytoplazme. Ako odpoveď na oxidatívny stres sa zmení distribúcia PGC-1 α predominantne do jadra bunky (Qaisar et al., 2016). Tam interagujú z transkripčnými faktormi, ako je znázornené v tabuľke č.: 3.

Transkripčný faktor / jadrový receptor	Funkcia
NRF1	Zvyšuje mitochondriálnu respiračnú kapacitu a transport glukózy
NRF2	Pôsobenie PGC-1 α zvyšuje kapacitu antioxidantov a biogenézu mitochondrií, ovplyvňuje svalovú regeneráciu a metabolickú reguláciu
PPAR α	Oxidácia mastných kyselín
ERR $\alpha, \beta / \gamma$	Homeostáza a regenerácia
TR β	Homeostáza
VEGF	Angiogenéza (zvýšenie kapilarizácie svalu)
MEF2	Homeostáza
CREB	Regenerácia svalu a homeostáza
FOXO1	Homeostáza a mitochondriálny metabolizmus

Tabuľka č. 3: Zoznam transkripčných faktorov a receptorov, ktoré interagujú s PGC-1 α a regulujú gény a dráhy, ktoré sú zapojené do adaptácie svalu na cvičenie. PGC-1 α – Proliferáciou aktivovaný gama-receptor koaktivátor 1 α , NRF – Nukleárne respiratórny faktor, PPAR – Receptor aktivovaný cez proliferátor peroxizómu, EER – Rodina receptorov estrogénu, TR – thyroidný receptor, MEF2 – myocytovo enhančný faktor 2, ATF2 – aktivačný transkripčný faktor 2, CREB – cAMP response element binding protein, FOXO – fork head box. Spracované podľa (Hackney, 2019; Javorský, 2019; Qaisar et al., 2016)

Je zrejmé, že PGC-1 α ovplyvňuje primárne dráhy vedúce k zvýšeniu aeróbnej funkcie svalu. Medzi tieto dráhy patrí zvýšenie oxidačnej kapacity, zvýšenie vaskularizácie svalu cez proces angiogenézy a urýchlenie odbúravania reaktívnych kyslíkových foriem (ROS) (Qaisar et al., 2016). Signál, ktorý aktivuje PGC-1 α ešte nie je známy, ale existuje niekoľko kandidátov: kalcineurín A, CaMK, p38 MAPK, AMPK dráhy (Jung & Kim, 2014) alebo ROS (Steinbacher & Eckl, 2015). Po porovnaní tabuliek č. 1 a 3 môžeme zhodnotiť, že adaptácie na aeróbne cvičenie sú spôsobené hlavne (ale nie výhradne) aktiváciou PGC-1 α .

- **mTOR** – (z anglického mammalian target of rapomycin) je na rozdiel od PGC-1 α molekulárny faktor, ktorý je primárne zodpovedný za adaptácie svalu na anaeróbnú záťaž, ktorá zvyšuje syntézu proteínov (Qaisar et al., 2016). Existuje niekoľko možností aktivácie mTOR:

1. pomocou inzulínu a inzulínu podobného rastového faktora (IGF), ktorý spúšťa PI3K/Akt kaskádu
2. pomocou mechanickej námahy svalu, ktorá aktivuje FAK kinázu
3. influxom Ca²⁺ cez sarkolému
4. mechanickou záťažou alebo zvýšením koncentrácie aminokyselín (Panzhinskiy et al., 2013)

Hlavné signálne molekuly a transkripčné faktory ovplyvnené mTOR sú stručne zhrnuté v tabuľke č. 4.

Transkripčný faktor / jadrový receptor	Funkcia
S6K1	Reguluje rast bunky, zvyšuje biogenézu ribozómov
RNA polymeráza	Zvyšuje biogenézu ribozómov
PPAR γ	Transkripcia nutrične-závislých dráh (zvýšenie príjmu substrátu, syntéza lipidov)
4E-BP	Zvýšenie translácie v bunke
eIF4G	Dôležitý na iniciáciu syntézy proteínov a transláciu (regulovaný 4E-BP)
Rho1 GTPáza	Skladanie cytoskeletu prostredníctvom PKC1
ATG1	Inaktiváciou kinázy ATG1 inhibuje autofágne procesy
HIF-1α	Zvyšuje transkripciu génu

Tabuľka č.: 4. Zoznam transkripčných faktorov a receptorov, ktoré interagujú s mTOR a regulujú gény a dráhy, ktoré sú zapojené do adaptácie svalu na cvičenie. S6K1 – ribozomalna s6 kináza 1, PPAR - Receptor aktivovaný cez proliferator peroxizómu, 4E-BP – aukaryotický translačný faktor 4E, eIF4G – eukaryotický iniciačný faktor 4 gamma, ATG – kináza spojená s autofágiou, HIF – hypoxiou indukovaný faktor. Upravené podľa (Hay & Sonenberg, 2004; Panzhinskiy et al., 2013; Qaisar et al., 2016; Saxton & Sabatini, 2017).

Sila účinku mTOR je závislá od typu svalového vlákna. Celkovo svaly obsahujúce vyššie zastúpenie svalových vlákien druhého typu, sú ovplyvnené pôsobením mTOR viac ako svaly, ktoré primárne obsahujú svalové vlákna typu I. Fosforylácia mTOR sa pár hodín po

ukončení anaeróbného cvičenia zvyšuje v svalových vláknach druhého typu a toto cvičenie spôsobuje taktiež vyššiu fosforyláciu S6K1 vo vláknach typu II v porovnaní s typom I. To znamená, že svalové vlákna II typu majú vyššiu inklináciu k hypertrofii (Qaisar et al., 2016).

ROS – z anglického: reactive oxygen species – reaktívne kyslíkové formy. Vo všeobecnosti môžeme ROS považovať za vysoko-reaktívne molekuly, vytvorené na základe pridania elektrónu k O₂. ROS fungujú ako signálne molekuly, ktoré sú esenciálne pre správnu funkciu bunky. Správna intenzita cvičenia pomáha stimulovať odpoveď svalového vlákna na zvýšený stres spôsobený ROS pomocou endogénneho systému antioxidantov. ROS sú produkované pri strednej až vysokej intenzite cvičenia (He et al., 2016). Medzi zdroje ROS vo svalu patrí: mitochondria, NADPH oxidázy, myostatín, fosfolipáza A2 a lipogenázy (Steinbacher & Eckl, 2015). ROS spúšťajú dráhy dôležité pre reguláciu adaptívnych zmien svalu. Hlavné signálne molekuly a transkripčné faktory ovplyvnené ROS sú stručne zhrnuté v tabuľke č. 5.

Transkripčný faktor / jadrový receptor	Funkcia
NFκB	Regulácia antioxidantov, spustenie transkripcie antioxidantov v bunke
MAPK	Zvýšenie produkcie antioxidantov, oprava poškodených svalov, hypertrofia svalovej bunky
PGC-1α	Funkcia opísaná na strane 11
Nrf2	Pôsobenie ROS zvyšuje kapacitu antioxidantov a biogénu mitochondrií, ovplyvňuje svalovú regeneráciu a metabolickú reguláciu
IGF-1	Stimuluje hypertrofiu, proliferáciu a diferenciáciu svalovej bunky, ovplyvňuje prežívanie bunky, indukuje mTOR signalizačnú dráhu

Tabuľka č.: 5. Zoznam transkripčných faktorov a receptorov, ktoré interagujú s ROS a regulujú gény a dráhy, ktoré sú zapojené do adaptácie svalu na zvýšený oxidačný stres. NFκB – Jadrový faktor kappa B, MAPK – mitogénom aktivovaná proteín kináza, PGC-1α – proliferáciou aktivovaný gama-receptor koaktivátor 1 α, Nrf - nukleárne respiračný faktor, IGF – inzulínu podobný rastový faktor. Upravené podľa (Barbieri & Sestili, 2012; He et al., 2016; Qaisar et al., 2016; Valko et al., 2007)

Z dráh, ktoré ROS ovplyvňuje je zrejmé, že pri zvýšenej respiračnej záťaži svalových buniek dochádza k ovplyvňovaniu dráh, ktoré sú priamo zodpovedné za eliminovanie účinkov

reaktívnych kyslíkových foriem. Taktiež dochádza k spusteniu dráhy PGC-1 α , ktorá ďalej ovplyvňuje okrem iného biogénu mitochondrií (Valko et al., 2007). Pri vysokej a dlhotrvajúcej záťaži dochádza k aktivácii ďalších transkripčných faktorov a signálnych dráh, ktoré vedú k mitochondriálnej dysfunkcii, apoptóze, svalovej atrofii, zápalu, myopatiám a inhibícii regeneračných funkcií (Barbieri & Sestili, 2012). Je experimentálne dokázané, že lezecký tréning zvyšuje koncentráciu ROS vo svale už pri záťaži zodpovedajúcej 50% VO_{2max}. Pri lezení Magalhaes s kolektívom zistil, že nárast ROS je vyšší ako napríklad v prípade behu (Magalhães et al., 2007), zatiaľ čo Cesur s kolektívom zistil, že lezeckí začiatčníci majú zvýšený oxidačný stres (Cesur et al., 2012).

Molekulárnych dráh a mechanizmov, ktoré ovplyvňujú adaptáciu svalu na svalovú záťaž, je dosť na to, aby ich celý popis tvoril obsah knihy. V predošlých odstavcoch boli popísané tie najzákladnejšie, ktoré autor považoval za najdôležitejšie a na adaptáciu svalu na záťaž za najsignifikantnejšie. Priestor nebol venovaný molekulárnym dráham, ktoré ovplyvňujú zmenu svalového vlákna, maximálnej sily alebo hypertrofiu minimálne alebo so zanedbateľným efektom.

Hormonálna odpoveď na záťaž

Medzi ďalšie adaptácie na svalovú záťaž patri hormonálna odpoveď organizmu na zvýšený stres. V ľudskom tele sa nachádza široké spektrum hormónov, ktoré vykazujú endokrinné, autokrinné a parakrinné funkcie. Cvičenie je silný stimulant endokrinného systému zodpovedný za viaceré zmeny v hladinách hormónov. Tabuľka č. 6 sumarizuje základnú hormonálnu odpoveď na fyzickú aktivitu (Hackney, 2019). Na rozdiel od molekulárnej odpovede myocytov, pri hormonálnej odpovedi nastávajú zmeny v celom organizme (Kraemer & Ratamess, 2005). Táto práca je zameraná na zmeny v kostrovom svale a z toho dôvodu celkovým zmenám nebude venovaný priestor. Ohľadne špecifického zaťaženia kostrového svalstva počas lezenia Sherk s kolektívom zistila, že dochádza k zvýšeniu koncentrácie testosterónu, rastového hormónu a kortizolu počas lezenia. Po lezení bol nárast signifikantný len v prípade rastového hormónu a kortizolu (Sherk et al., 2011). Ďalej sa v tejto podkapitole budeme venovať hormonálnym signalizačným dráham, ktorých aktivita má za následok zmeny svalového vlákna a hypertrofiu.

Hormón	Základná fyziologická funkcia v súvislosti s pohybovým aparátom	Odozva na záťaž			
		Akútna			Chronická
		Krátko-trvajúca submaximálna záťaž (>80% 1RM)	Záťaž s vysokou intenzitou (60%-80% 1RM)	Dlho trvajúca v oblasti (60% 1RM, >60 min.)	Aeróbnny tréning (<40% 1RM)
Prolaktín	Imunita, odpoveď na stres	↑	↑↑	↑↑	↑, ↓
Progesterón	Reprodukčná funkcia	↑	↑	↑ (v prípade preťaženia organizmu ↓)	↔, ↓
Testosterón	Anabolická funkcia (myoplastičita, glukoneogenéza, erytropoéza)	↑	↑	↑ (v prípade preťaženia organizmu ↓)	↔, ↓
ACTH	Adrenoregulačný	↑	↑↑	↑↑	↔, ↓
AVP	Rovnováha tekutín v organizme	↑	↑↑	↑↑	↔
Aldosterón	Rovnováha tekutín v organizme	↑	↑↑	↑↑	↔
Katecholamíny	Katabolická funkcia (lipolýza, glykogenolýza)	↑	↑↑	↑↑	↔, ↓
Kortizol	Katabolická funkcia (lipolýza, glykogenolýza), odpoveď na stres	↑	↑↑	↑↑	↔, ↓
Glukagon	Pozitívna regulácia glykogénu	↑	↑	↑↑	↓
GH	Anabolická funkcia	↑	↑↑	↑↑	↔, ↑

Tabuľka č. 6: Vplyv cvičenia na hormonálnu odpoveď pri rôznych intenzitách záťaže. 1RM – jedno-repetičné maximum, ACTH – adenokortikotropný hormón, AVP – arginín vazopresín, GH – z angl.: growth hormone – rastový hormón; symbol ↑ znamená nárast hodnoty, ↓ znamená pokles hodnoty a ↔ znamená, že hodnota ostala nezmenená. Počet symbolov znázorňuje intenzitu zmeny. V prípade kombinácie ↔ so ↑ alebo ↓ sa hodnota nemení, alebo sa mení len obmedzene. Tabuľka je prevzatá z (Hackney, 2019)

Testosterón: Testosterón je jeden z najúčinnějších prirodzene sekretovaných androgenných hormónov. Jeho biologické funkcie sú anabolické a majú za následok rast svalu (Vingren et al., 2010). V svale sa viaže na intracelulárny androgénny receptor, stimuluje syntézu proteínov a inhibuje degradáciu proteínov. Dohromady sú tieto efekty zodpovedné za hypertrofiu svalu spôsobenú testosterónom (Josiak & Jankowska, 2014; Vingren et al., 2010). Testosterón podobne ako molekulárne mechanizmy, ktoré pôsobia na úrovni bunky, stimuluje svalový IGF. Ďalej pôsobí represívne na aktivitu UPS (ubiquitín-proteazómový systém), ktorý má na starosti proteolýzu v bunke. Prostredníctvom zmien transkripcie v jadre myocytu znižuje expresiu myostatínu, ktorá vedie k proliferácii a diferenciačným zmenám v satelitných bunkách svalu (Josiak & Jankowska,

2014). Spustenie testosterónovej signalizačnej dráhy je závislé od intenzity záťaže, dĺžky trvania a trénovanosti jedinca. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že na iniciáciu je potrebná vysoko intenzívna záťaž alebo stredne intenzívna záťaž s dlhým trvaním (Vingren et al., 2010)

Rastový hormón (GH): GH stimuluje v ľudskom organizme anabolické procesy. GH vyvoláva zmeny v energetike svalového vlákna, ktoré podporujú anaeróbny výkon (napríklad biogénu mitochondrií) (Chikani & Ho, 2011; Dekhoda et al., 2018). Ďalej GH zvyšuje silu svalu pomocou zväčšenia veľkosti svalu bez ovplyvnenia zloženia svalových vlákien a ich sily (Chikani & Ho, 2014). Opísané zmeny spôsobuje naviazanie na receptory, ktoré zvyšujú produkciu a sekréciu IGF v bunke. Sekrécia GH zabraňuje atrofii myocytov a rovnako obmedzuje zmenu svalových vlákien z typu I na typ II (Dekhoda et al., 2018). Počas približne tridsiatich minút po ukončení cvičenia je koncentrácia GH zvýšená oproti hodnotám v pokoji tak, ako je to znázornené v tabuľke č. 6. Naopak, cvičenie nevyvoláva chronické zmeny v koncentrácii GH v krvi, nakoľko elitní atléti majú rovnaké hodnoty ako netrénované osoby (Kraemer & Ratamess, 2005).

Hormonálna odpoveď organizmu na fyzickú aktivitu prebieha na úrovni celého organizmu. Zmeny, ktoré nastávajú, nemožno pri snahe pochopiť celý mechanizmus adaptácie svalu zanedbať, ale vzhľadom na ich vysokú nešpecifitu je dôležitejšie porozumieť zmenám na lokálnej úrovni. Opis hormonálnych zmien v organizme pomáha vysvetliť benefity športovej záťaže na organizmus a porozumieť niektorým spúšťacím mechanizmom molekulárnej adaptácie. Okrem opísaných mechanizmov a signálnych dráh existuje ďalšia oblasť, ktorú je dôležité v rámci adaptácie svalu spomenúť. Je ňou hemodynamická odozva na športovú záťaž. Tejto oblasti sa bude venovať ďalšia podkapitola s rovnomenným názvom.

Hemodynamická odozva organizmu na športovú záťaž

Krvný prietok kostrovým svalom sa počas cvičenia zvýši, aby zabezpečil dostatok kyslíka a zásobu substrátov, ktoré podporujú odstraňovanie metabolických vedľajších produktov. Cvičením indukované zvýšenie perfúzie svalu je spôsobené nárastom srdcového výdaja, tepu srdca (Mortensen et al., 2008) a vazodilatáciu spôsobenú interakciou reaktívnych kyslíkových foriem (ROS) a oxidu dusného (NO) (Goto et al., 2007; Javorský, 2019). Ďalej pri zvýšenej práci svalu

nastáva zvýšenie šmykového napätia. K tomu dochádza pri anaeróbnej (Hoier & Hellsten, 2014) rovnako ako pri aeróbnej záťaži (Ferguson et al., 2018), a to má za následok angiogénu a zvýšenie prekrvenia svalu pomocou vaskulárneho endoteliálneho rastového faktora (vascular-endothelial growth factor – VEGF), ktorý je stimulovaný po ukončení cvičenia pomocou hypoxiou indukovaného faktora 1α (HIF- 1α) (Jensen et al., 2004; Laurentino et al., 2018). Športové lezenie vyžaduje opakovanú izometrickú kontrakciu ohýbačov prstov, ktoré sú zodpovedné za flexiu metakarpofalangeálnych a interfalangeálnych kĺbov. Tieto kontrakcie spôsobujú pravidelné periódy ischémie (Giles et al., 2020; Gómez et al., 2020, Limonta et al., 2018). Lezci v porovnaní s nelezeckou populáciou majú pri záťaži menší nárast systolického tlaku a po záťaži výraznejšiu hyperémiu v zaťažovanej končatine. K hyperémii avšak dochádza aj po oklúzii hornej končatiny, čo naznačuje že v prípade RKO tréningu bude dochádzať podobne ako pri HIT k zvýšeniu šmykového napätia vedúcemu k adaptačným zmenám svalu (Ferguson & Brown, 1997). Adaptácie na zvýšený prietok krvi úzko súvisia s hodnotou VO_2 , ktorá je ovplyvnená distribučným reťazcom kyslíka v organizme, zmenami prekrvenia svalu, navýšením počtu červených krviniek a nárastom srdcového výdaja (Franklin et al., 1983). Športovní lezci majú preukázateľne lepšia vaskulárnu adaptáciu ohýbačov článkov prstov v porovnaní s nelezcami, ktorá im umožňuje dlhšie vykonávať opakované izometrické kontrakcie svalov (Thompson et al., 2015). V štúdiu publikovanej v roku 2018 bola hodnotená kardiovaskulárna a metabolická odpoveď počas lezenia pokročilých a elitných lezcov. V tejto štúdiu bolo dokázané, že energetická náročnosť lezenia závisí od dosiahnutej úrovne lezca a rovnako ako v iných športoch (napr. v cyklistike), VO_2 hrá významnú úlohu pri výkone. Existuje pozitívna korelácia medzi VO_2 a vytrvalosťou športovca. Výskum, ktorý prebehol, využil lezecký ergometer na vytvorenej ceste, ktorá simulovala skutočnú lezeckú stenu (Limonta et al., 2018). Pri porovnaní lezcov a nelezcov, lezci majú rýchlejšiu reoxygénáciu po záťaži bez závislosti na pohlaví. Pozitívne s rýchlejšou reoxygénáciou koreluje celková vytrvalosť (Philippe et al., 2012). Adaptácia na športový výkon a neúplnú ischémiu spôsobenu záťažou pri vysokej intenzite alebo stimulovanú pomocou nafúknutej manžety prebieha okrem zlepšenia distribúcie kyslíka (pomocou mechanizmov opísaných vyššie) adaptáciou na zlepšenie využitia dostupného kyslíka a biogénu mitochondrií (Jašová et al., 2017). Svalové tkanivo v prípade

nekompletnej ischémie prechádza na anaeróbný metabolizmus a dochádza k opuchu mitochondrií (Sjöström et al., 1982).

Špecifická záťaž pri športovom lezení

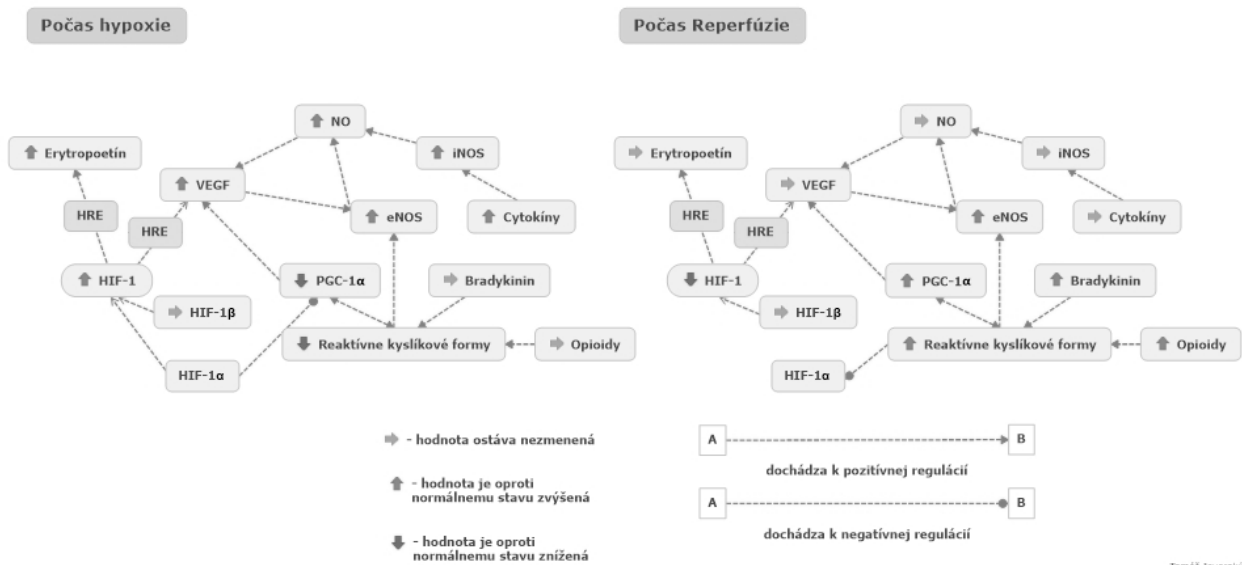
Ako bolo spomínané, pri lezeckom pohybe je dôležitý komponent výkonu výdrž a maximálna sila povrchových a hlbokých ohýbačov prstov (FDP a flexor digitorum superficialis – FDS). V prípade prerušovaných izometrických kontrakcií u lezcov je výdrž lepšia ako v prípade „nešportovcov“ (Giles et al., 2006). Počas lezenia dochádza k odpovedi organizmu na molekulárnej, hormonálnej a kardiovaskulárnej úrovni. Táto aktivácia spôsobuje adaptívne zmeny organizmu. Pri zanedbaní socio-ekonomicko-psychologických faktorov, ktoré ovplyvňujú výkon športovca (Baláš, 2016), sa môžeme zamerať na zmeny v organizme prebiehajúce po aktivácii špecifickým tréningom. V tejto práci sa budeme ďalej venovať adaptácii na dva typy tréningu. Prvým typom je tréning využívaný vrcholovými športovcami počas prípravy pred závodmi. Jedná sa o tréning s vysokou intenzitou (HIT – high intensity training) (Abe et al., 2012). Druhým typom záťaže, ktorú budeme v tejto práci rozoberať, je tréning s nízkou intenzitou, ale zvýšeným metabolickým stresom na svalové tkanivo – tréning s reštrikciou krvného obehu (RKO) (Nakajima et al., 2018). RKO tréning sa ukazuje ako vhodná náhrada záťaže po zranení dolných končatín (Tennent et al., 2018), ale v lezeckom športe je jeho vplyv na tréningový proces málo preskúmaný (Gómez et al., 2020).

Výborným spôsobom na posúdenie silovej a vytrvalostnej zdatnosti lezca je „all-out“ test, ktorý je zameraný na kompletné testovanie funkčných aspektov skupiny svalov ohýbačov predlaktia. Na základe výsledkov získaných počas „all-out“ testu (ukážka tvorí prílohu č. 3) je možné zistiť prevažujúci metabolizmus zodpovedný za energetické hradenie počas fyzickej námahy vykonávanej s ohýbačmi článkov prstov (Giles et al., 2020). Porovnaním výsledkov začiatku testu, keď sú využívané energetické zásoby svalu vo forme ATP a kreatínfosfátu, a výsledkov z konca testu, je možné určiť anaeróbnu zdatnosť športovca (Broxterman et al., 2017). Platí, že v prípade výrazných rozdielov medzi kritickou silou a maximálnou silou (eventuálne je možné porovnávať impulz sily a impulz sily nad kritickou silou) má športovec rozvinutý výraznejšie anaeróbný metabolizmus, zatiaľ čo v prípade rozdielov, ktoré sú nízke alebo zanedbateľné, športovec využíva hlavne aeróbný spôsob získavania energie na prácu svalu (Baláš et al., 2021).

Porovnanie tréningu s vysokou intenzitou a tréningu s reštrikciou krvného obehu

Podľa vedomosti autora neexistuje štúdia, ktorá by opisovala vplyv reštrikcie krvného obehu na lezecky špecifický tréning a preto údaje, z ktorých bude vychádzať, sú získané prevažne na dolných končatinách.

Tréning s vysokou intenzitou vyvoláva oklúziu FDP a FDS pri $65,6\% \pm 8,9\%$ maximálnej sily (Gómez et al., 2020). To znamená, že krátkodobé stavy pri ktorých dochádza k oklúzii môžu viesť k stabilizácii HIF-1, ktorý má za následok cez signálnu kaskádu zvýšenie indukovanej syntázy oxidu dusného a ďalej zvýšenú kapilarizáciu tkaniva (Benizri et al., 2008; Bommi-Reddy et al., 2008; Masoud & Li, 2015). Rovnaký účinok má obmedzenie prietoku krvi pomocou manžety, kde dochádza taktiež k stabilizácii HIF-1 (Laurentino et al., 2018). Po ukončení ischemického stavu vo svalu dochádza k zvýšeniu koncentrácie ROS, ktoré je spôsobené reperfúziou rovnako pri HIT a tréningu s RKO (Barbieri & Sestili, 2012; Steinbacher & Eckl, 2015). Vzhľadom na opísané dráhy aktivácie mTOR je možné predpokladať, že pri HIT dochádza k ich aktivácii vo zvýšenej miere v porovnaní s tréningom s RKO, nakoľko vyššia intenzita záťaže spôsobuje jeho aktiváciu vo zvýšenej miere a hypoxia má vplyv len na mTOR komplex 1 a neovplyvňuje mTOR komplex 2 (Saxton & Sabatini, 2017). Keďže k ischemii a neúplnej ischemii dochádza v prípade HIT a tréningu s RKO, súhrne to opisuje schéma na obrázku č. 2. Je nutné poznamenať, že pri využití manžety na rozdiel od HIT dochádza k tzv. neúplnej ischemii (Sjöström et al., 1982). V prípade fyzickej záťaže s využitím RKO záleží od šírky manžety a aplikovaného tlaku na rozsahu zníženia prívodu krvi do končatiny. Singer s kolektívom 2020 zistili, že na zníženie TSI o 10% je potrebné nafúknutie manžety na 60% systolického tlaku. Ďalej zistili, že miera nafúknutia manžety ovplyvňuje zmenu veľkosti svalu v prípade záťaže na nízkej intenzite (20% 1RM). V prípade vyššej intenzity (40% 1RM), efekt tlaku manžety nebol pozorovaný. Tepová frekvencia, svalová aktivita (meraná pomocou elektromyogramu) a ejekčná frakcia srdca sa zvyšujú so zvyšujúcim sa tlakom aplikovaným pomocou manžety. (Singer et al., 2020). Ďalšou dôležitou premennou, ktorá určuje rozsah ischemie je šírka manžety. Širšie manžety obmedzujú prietok krvi viac ako užšie manžety. Tento jav môže byť spôsobený posturálnymi zmenami testovaných probandov (Loenneke et al., 2012).



Tomáš Javorský, 2019

obrázok č. 2: – Porovnanie interakcií jednotlivých enzýmov a poslov, ktorých hodnota je alterovaná počas hypoxie a reperfúzie. HIF-1 – hypoxiou indukovaný faktor 1, HIF-1α – Podjednotka α, ktorá tvorí dimér HIF-1, HIF-1β – podjednotka β, ktorá tvorí HIF-1, VEGF – Vaskulárne-endoteliálny rastový faktor, NO – oxid dusnatý, iNOS – indukovaná syntáza oxidu dusnatého, eNOS – endoteliálna syntáza oxidu dusnatého, HRE – responzívny element hypoxie. Obrázok je prevzatý z bakalárskej práce (Javorský, 2019).

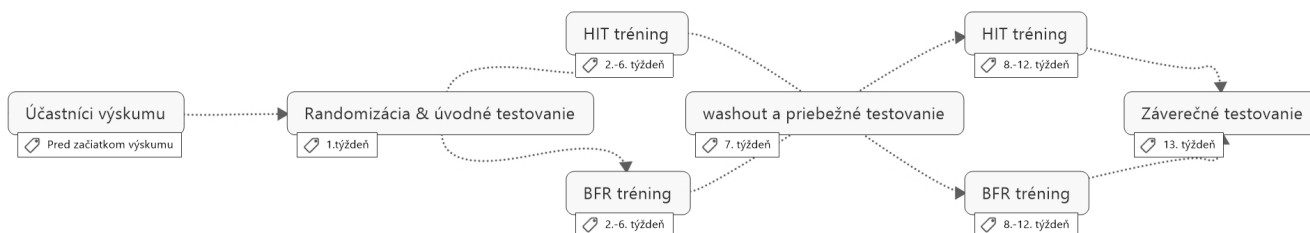
4. HYPOTÉZA

- predpokladáme, že kombinácia nízkej záťaže a ischémie bude dosahovať rovnaké výsledky ako tréning s vysokou intenzitou na zmeny v maximálnej sile, kritickej sile a zmeny v impulze sily.
- ďalej predpokladáme, že zmeny v oxygenácii svalu (MDS), pri záťaži a teste oxidačnej kapacity svalu, budú aj napriek rozdielnej vykonávanej práci rovnaké.

5. METODIKA A DIZAJN ŠTÚDIE

5.1 Typ výskumu

Pri našom výskume sme sa rozhodli použiť dizajn prekríženej experimentálnej štúdie (crossover study design). Počas tohto výskumu účastníci prejdú oboma typmi záťaže. Tzn. každý účastník tvorí svoju vlastnú kontrolnú skupinu (Sambandan & Turcu-Stiolica, 2019). Tento dizajn je vhodný pre štúdie s malým počtom účastníkov, kde k získaniu štatistickej signifikancie klasický paralelný dizajn štúdie nepostačuje (Nolan et al., 2016). Vzhľadom na obmedzený počet dostupných účastníkov sme sa rozhodli využiť práve tento dizajn. Nakoľko riziko „prenosu“ študovaných javov (viac v podkapitole venujúcej sa popisu závislej premennej) je zanedbateľné. Dĺžka vymývacej periódy (washout period) bola nastavená na jeden týždeň. Randomizácia prebiehala losom, kedy si každý účastník na základe náhody vybral z nepriehľadného obalu jeden list papiera, na ktorom bol identifikovaný počiatočný typ tréningu. V obale bol rovnaký počet listov, ako bol počet účastníkov, ktorí prešli výberom. Po vytiahnutí sa listy nevkladali naspäť do obalu. V prvom týždni (počas prvých dvoch 45 minútových sedení) boli účastníci oboznamovaní s prostredím laboratória, prebehla randomizácia štúdie a došlo k prvému meraniu závislých premenných (viac v podkapitole venujúcej sa popisu závislej premennej). Následne po dobu piatich týždňov vykonávali typ tréningu určený randomizáciou. Po uplynutí piatich týždňov nastala jednotýždňová „washout“ perióda, počas ktorej boli účastníkom znova premerané závislé premenné a následne po dobu ďalších piatich týždňov účastníci vykonávali druhý typ tréningu. Tzn. tí účastníci, ktorí vykonávali tréning s vysokou intenzitou mali tréning s reštrikciou krvného obehu a naopak. Nakoniec boli účastníci poslednýkrát testovaní. Pre lepšie porozumenie schéma na obrázku číslo 3 znázorňuje použitý experimentálny design. Pri tvorbe opísaného experimentálneho dizajnu sme vychádzali z publikovaných štúdií a metaanalýz (Ferguson et al., 2018; Lixandrão et al., 2018; Yasuda et al., 2011)



Obrázok č. 3.: schematické znázornenie použitého experimentálneho dizajnu štúdie spolu so zaznačením časovej postupnosti. HIT tréning – tréning s vysokou intenzitou, BFR tréning – tréning s reštrikciou krvného obehu.

5.2 Výskumný súbor

Ďalšia časť prípravy na výskum bola voľba vhodného výskumného súboru probandov. Správna voľba veľkosti a pohlavia je jedným z kľúčových kritérií pri správnom nastavovaní tréningového protokolu. V metaanalýze, ktorú publikoval vedecký kolektív z Južnej Ameriky, porovnávané štúdie venujúce sa reštrikcii krvného obehu (v celkovom počte 21) mali veľkosť testovanej vzorky (N) populácie od 7 do 46 probandov. 57% týchto štúdií však malo 7-15 participantov. Z celkového počtu štúdií bolo 66,6% čisto mužských, 28,5% zmiešaných a 4,7% čisto ženských (Neto et al., 2017). Pri našej štúdií sme pri voľbe probandov museli vziať do úvahy časové možnosti a lokáciu laboratória, v ktorom prebiehalo testovanie. Po analýze viacerých odborných publikácií, sme stanovili kritériá, ktoré má uchádzač spĺňať pre účasť na štúdiu. Rovnako sme stanovili vývojové a zdravotné kontraindikácie, ktoré znemožnili uchádzačom účasť na štúdiu (Bond et al., 2019; Dephillipo et al., 2018; Nakajima et al., 2018). Po analýze môžeme kontraindikácie rozdeliť na systémové a lokálne. Systémové kontraindikácie sú prevažne kardiovaskulárneho charakteru, zatiaľ čo tie lokálne kontraindikácie berú ohľad na predošlé zranenia na zaťažovanej končatine a zdravotné riziko vyplývajúce zo zvýšenej záťaže muskuloskeletálneho systému hornej končatiny, predovšetkým šliach FDP a FDS (Chang et al., 2016). Z tohto dôvodu sme do dotazníka, ktorý sme dali každému probandovi vyplniť pred začiatkom testovania, zaradili zdravotné obmedzenia. Dotazník je k nahliadnutiu ako príloha č. 2. Kompletný zoznam zdravotných kontraindikácií zahrňuje:

- zvýšené riziko žilovej trombózy, porucha kardiovaskulárneho systému, artériová hypertenzia, diabetes mellitus, nevysvetliteľná bolesť na hrudi, srdcové patológie, tehotenstvo, pocit na omdlenie, závraty počas fyzickej aktivity, akútne a chronické zranenie v oblasti hornej končatiny (menej ako tri mesiace), syndróm karpálneho tunela, útlakový syndróm, tendosynovitída, zranenie šliach a väzivových pútok v oblasti ruky a rekonvalescencia po úraze alebo chorobe.

Pri vstupnom testovaní bol každý uchádzač oboznámený s rizikami a na uvedené kontraindikácie bol dopytovaný experimentátorom. Kritériá, ktoré musel uchádzač o zaradenie do experimentu splniť, bola predošlá skúsenosť s lezením na umelej stene alebo v prírodných terénoch, časová a dopravná dostupnosť.

Pôvodne bola štúdia naplánovaná na 2/2020-5/2020. Štúdiu sa nám podarilo úspešne začať, avšak vzhľadom na mimoriadne opatrenie ministerstva zdravotníctva s jednacím číslom MZDR 12745/2020-1/MIN/KAN o obmedzení voľného pohybu (Vojtěch, 2020) sme boli nútení štúdiu predčasne ukončiť. Pôvodná veľkosť N bola 24 probandov. Do opakovanej štúdie, ktorá sa uskutočnila neskôr roku 2020 sa z pôvodného súboru N zapojilo 7 probandov. Ďalších sme získali využitím sociálnych sietí. Veľkosť N pred začatím štúdie bola 17 probandov. Jedného sme vylúčili na základe predošlého zranenia hornej končatiny a počas štúdie 3 probandi ukončili experiment na vlastnú žiadosť a z karanténnych dôvodov. 13. týždňovú štúdiu dokončilo celkovo 13 účastníkov. Štúdie sa zúčastnilo 6 mužov (m) a 7 žien (ž). Priemerný vek: m – 24 rokov (r), ž – 32 r. Priemerná výška: m – 181 cm, ž – 167 cm. Priemerná váha: m – 76 kg, ž – 63 kg. Počas prvej tréningovej periódy boli probandi rozdelení na 6-člennú HIT skupinu (Priemerný vek – 33 r., priemerná váha – 71 kg, Priemerná výška – 171 cm) a 7-člennú RKO skupinu (Priemerný vek – 25 r, priemerná váha – 68 kg, Priemerná výška – 176 cm). Všetci účastníci boli zdraví a aktívne športujúci vo vekovom rozmedzí 22 r – 60 r. Každý účastník sa venuje rekreačne lezeckej športovej činnosti v rozmedzí medzinárodnej klasifikácie obťažnosti IRCRA 5 – 17 (priemerná výkonnosť: m – 12 a ž – 9). Žiaden účastník sa v poslednej dobe (jeden a pól roka) nezúčastnil podobnej štúdie zameranej na silu ohýbačov prstov.

Každý z uchádzačov musel absolvovať dve dôležité časti: tréning a testovanie. Najbližšia podkapitola bude popisovať nezávislú premennú experimentu: tréning probandov.

5.3 Popri nezávislej premennej (popis tréningu testovaných)

Po rozdelení účastníkov do skupín pred začatím samotného tréningového protokolu každý účastník absolvoval štandardizovanú rozcvičku, ktorá pozostávala z piatich minút aeróbného mobilizačného cvičenia (chodenia po schodoch, behania, skákania), piatich minút individuálneho traverzovania lezeckej steny a sériu visov v intervale desiatich sekúnd vis na obidvoch rukách a desať sekúnd pauza s celkovým počtom dvadsať opakovaní na 23 mm širokej lište za použitia otvoreného úchopu na subjektívne odhadovanej intenzite v rozmedzí 50%-75% maximálnej sily. (Baláš et al., 2015; Giles et al., 2020).

Na simuláciu podmienok zhodných pri športovom lezení sa využíva systém zameraný na lezecky špecifickú záťaž prstov (1D-SAC). Takýto systém bol vytvorený za týmto účelom národnou športovou akadémiou v Bulharsku. 1D-SAC sa skladá z:

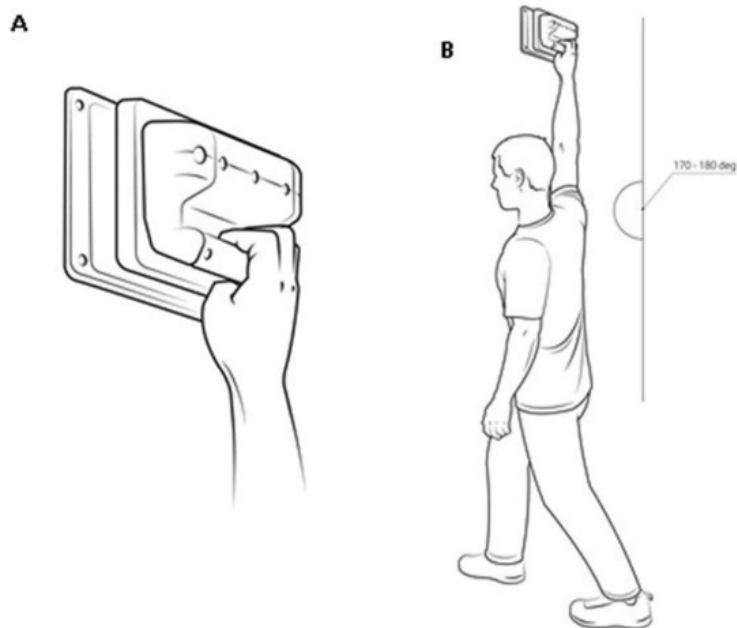
- silový senzor s 1D konfiguráciou s oblasťou, na ktorú sa dá primontovať lezecký chyt (rozsah merania ± 2 kN, chyba merania 0,5%, frekvencia snímania 125 Hz)
- konštrukcia, pomocou ktorej sa dá systém vertikálne nastaviť na výšku jednotlivých účastníkov
- softvérový balík, ktorý umožňuje zaznamenávať a ukladať namerané údaje do internej pamäte počítača

Systém umožňuje účastníkom vizuálnu a zvukovú kontrolu intenzity a trvania záťaže rovnako ako aj trvania odpočinku. Tento dynamometer je využívaný s dreveným chytom s hĺbkou 23 mm a polomerom 12 mm (Baláš et al., 2015). Veľkosť využitého chytu bola zvolená na základe štúdie z r. 2012, kde boli porovnávané rôzne hĺbky úchyty a medzi 20 mm a 30 mm úchytom dochádzalo k maximalizácii novej potencionalnej aktivácie FDP. (Amca & Vigouroux, 2012; Baláš et al., 2018). Pri testovaní pomocou 1D-SAC stáli probandi pod lištou, (výška bola nastavená individuálne podľa potreby každého probanda), na ktorú položil posledné články prstov bez použitia palca (pomocou otvoreného úchopu – znázornené na obrázku č. 4a). Rameno bolo vo flexii 180° a lakeť v miernej flexii. Táto poloha simuluje špecifické podmienky a záťaž vykonávanú

pri lezení (Baláš et al., 2014). Pred testovaním si účastníci vysušili ruky pomocou lezeckého magnézia (uhličitan horečnatý – $MgCO_3$). Drevený chyt bol pravidelne čistený pomocou kefy aby bolo zabezpečené rovnaké trenie počas trvania celého testovania a pre každého účastníka (Baláš et al., 2015).

Tréning s vysokou intenzitou

Tréning s vysokou intenzitou (HIT) je typ tréningu športovcov, pri ktorom dochádza k aplikovaniu sily, ktorá je >65% jedno-repetičného maxima (1RM) (Pearson & Hussain, 2015). Pri tréningu stál proband pod lištou pripevnenou na systéme 1D-SAC, ktorej výšku si nastavil podľa potreby. Lištu uchopil poslednými článkami za použitia 4 prstov bez palca ako je znázornené na obrázku č 4b. V literatúre sa tento úchop nazýva otvorený, a považuje sa za najefektívnejší pre zaťažovanie ohýbačov článkov prstov. Rameno bolo v polohe flexie (180 stupňov) a lakeť v miernej flexii (Baláš et al., 2014). Pri záťaži sme využili periodicky opakované kontrakcie ohýbačov prstov na 60% 1RM prerušované krátkymi pauzami na oddych v pomere sedem sekúnd kontrakcia : tri sekundy oddych. Jedna séria bola tvorená šiestimi opakovaniami a trvala šesťdesiat sekúnd. Počas jednej série mali probandi po celý čas ruku na zariadení 1D-SAC. Po ukončení nasledovala pauza trvajúca deväťdesiat sekúnd, počas ktorej prebiehalo cvičenie na druhej končatine. Po šiestich sériách (tri- ľavá ruka, tri- pravá ruka) mali probandi tristo sekúnd na oddych, počas ktorých mohli aktívne regenerovať a následne absolvovali ďalších šesť sérií.



Obrázok č. 4: (a) znázornenie využívaného úchopu počas testu maximálnej sily, „all-out“ testu a počas tréningu s reštrikciou krvného obehu, tréningu s vysokou intenzitou (b) znázornenie polohy probandov počas vykonávania tréningu s reštrikciou krvného obehu, tréningu s vysokou intenzitou, testu maximálnej sily a „all-out“ testu. Počas tréningu s reštrikciou krvného obehu mali probandi navyše nasadenú manžetu, ktorá na ilustrácii nie je znázornená. Ilustrácia je prevzatá z (Fryer et al., 2020)

Tréning s reštrikciou krvného obehu

RKO tréning probandi vykonávali s využitím 30% odmeraného 1RM. Na zvýšenie metabolického stresu a dosiahnutie neúplnej ischémie im bola pred každým tréningom na horných končatinách nafúknutá manžeta na 80% arteriálnej oklúzie, čo spôsobilo zvýšenie frekvencie srdca a zníženie prietoku krvi o 47-48% (Singer et al., 2020). Pri tréningu stál proband pod lištou za rovnakých podmienok ako v prípade tréningu s vysokou intenzitou. Pred záťažou bola probandom v pohotovostnej polohe nafúknutá manžeta, ktorá im bola následne ponechaná na končatine po celú dobu trvania testovania. Pri záťaži sme využili periodicky opakované kontrakcie ohýbačov prstov na 30% 1RM prerušované krátkymi pauzami na oddych v pomere sedem sekúnd kontrakcia : tri sekundy oddych. Jedna séria bola tvorená šiestimi opakovaniami a trvala šesťdesiat sekúnd. Počas jednej série mali probandi po celý čas ruku na zariadení 1D-SAC. Po ukončení nasledovala pauza trvajúca deväťdesiat sekúnd, počas ktorej prebiehalo cvičenie na druhej končatine. Po šiestich sériách (tri- ľavá ruka, tri- pravá ruka) mali probandi tristo sekúnd oddych, počas ktorého

mohli aktívne regenerovať a následne absolvovali ďalších šesť sérií. Po ukončení tréningu bola manžeta na končatine probandom uvoľnená.

5.4 Popis závislej premennej (popis testovania)

Testovanie probandov sa skladalo z dvoch častí. V prvej časti prebehlo meranie maximálnej sily a vytrvalosti. Pred začatím prvej časti sa probandi rozcvičili, tak ako bolo opísané v podkapitole 5.3. Následne bola účastníkom zmeraná maximálna sila. Počas oddychu, ktorý trval päť minút im bolo nasadený systém NIRS (near infrared spectroscopy), pomocou ktorého bol 2x odmeraný index oxidačnej kapacity svalu (IOS; po ukončení „all-out“ testu a v teste určenom na meranie IOS) a spotreba HHb počas „all-out“ testu. Počas úvodného testovania bola ďalej probandom zmeraná váha, výška, tlak a vyplnili dotazník, ktorý tvorí prílohu č. 2 na určenie základného zaradenia testovanej osoby. Ďalej účastníci vyplnili informovaný súhlas, ktorý tvorí prílohu č. 1. Následne bol účastníkom výskumu distribuovaný tréningový denník s inštrukciami na zaznamenanie športových aktivít vykonávaných počas doby trvania výskumu.

V druhej časti testovania bola odmeraná oxidačná kapacita svalu.

Maximálna sila

Maximálna sila – na určenie maximálnej sily sa využíva v laboratóriách dynamometer, ktorý je upravený na simulovanie špecifického zaťaženia svalových skupín (ohýbačov šlávkov prstov) využívaných pri lezení (Baláš et al., 2014). Na zmeranie maximálnej sily počas experimentu bol využitý systém 1D-SAC. Meranie maximálnej sily prebehlo dvakrát. Po zaujatí polohy znázornenej na obrázku č. 4 probandi na zvukový signál vytvorili maximálnu kontrakciu ohýbačov článkov prstov dominantnej ruky po dobu piatich sekúnd. Merania boli celkovo uskutočnené dve s pauzou stodvadsať sekúnd medzi meraniami. Zaznamenaná bola maximálna hodnota sily (kg) (Baláš et al., 2015).

Vytrvalosť a kritická sila

Na meranie svalovej vytrvalosti sa využívajú testy, ktoré zaťažujú sval na rôznej intenzite do doby jeho vyčerpania. V praxi sa využíva prerušovaná alebo trvalá kontrakcia ohýbačov článkov prstov na lezecky špecifickom zariadení, ktoré umožňuje lezecky špecifickú záťaž svalu na 40 – 80 % 1RM. Donedávna to bola jediná využívaná možnosť na určenie oxidačnej kapacity svalu. S nástupom „in

vivo“ zobrazovacích metód a motorizovaných lezeckých ergometrov (rotujúcich lezeckých stien) sa začali využívať nové prístupy k určovaniu lezeckej vytrvalosti. Kombináciou „in vivo“ zobrazovacích metód oxygenácie svalu (viac v nasledujúcom odstavci) a lezeckého ergometra je možné určiť 67% variácie lezeckého výkonu (Baláš et al., 2021). Ďalší využívaný test je „all-out“ test. Tento test je v kombinácii s „in vivo“ zobrazovacími metódami kvalitným ukazovateľom hemodynamickej odozvy svalu na záťaž. Test prebieha maximálnou prerušovanou kontrakciou ohýbačov článkov prstov v pomere sedem sekúnd záťaž a tri sekundy odpočinok. Tento test udáva celkovú vykonanú prácu svalom (W). Ďalej sa to využíva k určeniu kritickej sily. V anglickej literatúre sa v tomto prípade rozlišuje medzi „critical force“ (CF) a „critical power“ (CP), kde CP je izotonický ekvivalent CF. K dosiahnutiu kritickej sily dochádza po vyčerpaní energetických zásob svalu a obmedzení anaeróbnej zložky výkonu na minimum. Ďalej sa pomocou „all-out“ testu dá určiť impulz nad kritickou silou W' . Tento impulz sa dá vysvetliť ako energetická zásoba svalu (Giles et al., 2020). Ohľadne W' je možné predpokladať, že sa jedná o prácu primárne vykonanú svalovými vláknami II typu, nakoľko tieto vlákna sú rýchlo „vyčerpatelne“ a ich výkon sa viaže na anaeróbny metabolizmus a glykolýzu. Napriek tomu, že neexistuje literatúra potvrdzujúca korelácie W' a zloženia svalu podľa typu svalových vlákien, dostupný výskum zaoberajúci sa zdrojom adenosíntrifosfátu (ATP) počas „all-out“ testu poukazuje na významnú zmenu pomerov ATP získaných aeróbnym a anaeróbnym metabolizmom. Broxterman s kolektívom zistili, že po tretej minúte testu 80% ATP bolo získaných aeróbnym (Broxterman et al., 2017).

Na meranie vytrvalosti bol využitý protokol „all-out“ testu, ktorý prebiehal na zariadení 1D-SAC. Po zaujatí polohy opísanej v predošlej kapitole a uplynutí času dostatočného na stabilizáciu krivky oxygenácie svalu - TSI (cca päť minút) probandi absolvovali test trvajúci štyri minúty. Test zahŕňal periodické maximálne kontrakcie ohýbačov článkov prstov prerušované krátkymi pauzami na oddych v pomere sedem sekúnd kontrakcia : tri sekundy oddych. Poloha probandov bola zhodná s polohou, ktorá bola opísaná v predošlej kapitole. Počas fázy kontrakcie probandi dostali inštrukcie na vytvorenie maximálnej novej sily, počas ktorej budú držať ruku na lište v polouzavretom úchope. Počas fázy oddychu probandi ostali v zaujatej anatomickej polohe, počas ktorej mohli využiť lezecké magnézium na zvýšenie trenia. Rukou a predlaktím počas oddychovej fázy probandi nemohli triasť, pretože sa jedná o regeneračnú aktivitu (Baláš et al.,

2015). Počas fázy kontrakcie boli probandi verbálne povzbudzovaní na dosiahnutie maximálnej sily počas každej kontrakcie a na zachovanie správnej anatomickej polohy. Počas fázy kontrakcie boli zaznamenané hodnoty maximálnej a priemernej sily (N) a času (s) kontaktu so zariadením . Impulz sily (W), ako indikátor statickej svalovej práce, bol vypočítaný na základe odmeraných hodnôt ako súčet súčinov času kontaktu so zariadením a priemernej sily. Celková hodnota W spolu s kritickou silou sú ukazovateľmi svalovej vytrvalosti. Impulz sily nad kritickou silou (W') bola vypočítaná odpočítaním súčtu súčinov času kontrakcie a hodnoty kritickej sily od W. (D. Giles et al., 2020). Kritickú silu sme vypočítali na základe priemernej sily počas posledných troch kontrakcií v „all-out“ teste. Ako bolo opísané v kapitole 3.2, po uplynutí 3 minút je pomer energie získanej aeróbnou a anaeróbnou cestou približne 4:1 a po uplynutí 4 minút sú energetické požiadavky svalu prevažne pokryté pomocou aeróbného metabolizmu (Broxterman et al., 2017). Kritická sila je teda najvyššou možnou intenzitou záťaže na sval pri zachovaní metabolicky zotrvalého stavu.

Infračervená Spektroskopia

Metódy merania „in vivo“ využívajúce spektroskopické zobrazovanie, v rozmedzí vlnových dĺžok 770 – 905 nm, je možné rozlíšiť medzi oxyhemoglobínom (O₂Hb) a deoxyhemoglobínom (HHb), ale vzhľadom na prekrývajúce sa diferenciačné svetelné vlnové dĺžky, nie je možné rozlíšiť hemoglobín a myoglobín, a preto sa v odbornej literatúre používa alebo spoločný názov hemoglobín (Ferrari et al., 2011), alebo sa používa spoločné označenie „heme“ (Barstow, 2019). Súčet O₂Hb a HHb tvorí údaj totálneho hemoglobínu vo svale (tHb) (Baláš et al., 2018; Beekvelt et al., 2002). Ďalší údaj, ktorý je možné určiť pomocou NIRS je index tkanivovej saturácie (Tissue Saturation Index – TSI). TSI je určený ako $\frac{O_2Hb}{HHb+O_2Hb} * 100$. Zmeny v absorpcii rozličných vlnových dĺžok sú premenené pomocou softvéru na zmeny v koncentrácii O₂Hb a HHb pomocou upraveného Lambert-Beerovho zákona, v ktorom je prídavne zakomponovaný faktor vzdialenosti senzora a optódy (Baláš et al., 2018).

Pri výskume sme využili systém NIRS PortaMon (Artinis medical system, Holandsko). Systém PortaMon využíva dve vlnové dĺžky blízko infračerveného spektra – 765 a 855 nm, ktoré sú vyžarované 3 optódami. Optódy sú umiestnené vo vzdialenosti 30, 35 a 40 mm od detektora. Pre meranie sme zvolili FDP. NIRS optódy boli umiestnené na FDP v 1/3 distálnej polohy medzi

mediálnym epikondylom ramennej kosti a styloidným výbežkom vretennej kosti (processus styloideus radii). Správne umiestnenie bolo odmerané a následne palpačne určená presná poloha FDP svalu (Feldmann et al., 2020). Aj napriek chýbajúcemu konsenzu do akej miery je za detekovaný signál zodpovedný Mb a Hb. Táto diskrepancia neovplyvní výsledky výskumu, nakoľko nás zaujíma celková konzumácia O_2 nezávisle od zdroja kyslíka (Beekvelt et al., 2002). Údaje zo zariadenia PortaMon (TSI, HHB, O_2 Hb) boli ukladané so vzorkovacou frekvenciou 10 Hz do počítača pomocou softvéru Oxysoft na následné vyhodnotenie. Pomocou systému NIRS bol vykonaný test IOS s arteriálnou oklúziou a test IOS s vyčerpaním svalu v teste kritickej sily.

Oxidačná kapacita svalu

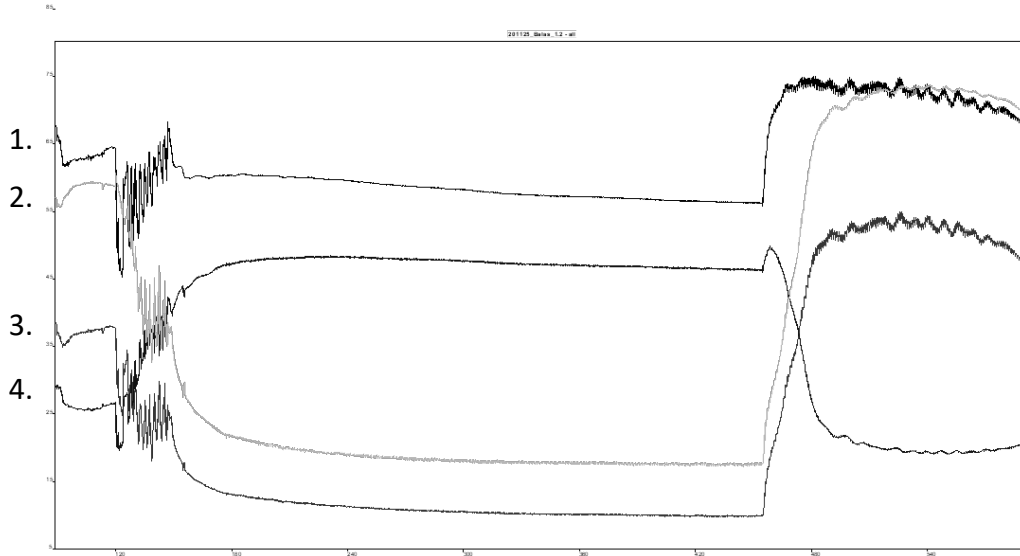
Na meranie oxidačnej kapacity svalu sme využili index oxidačnej kapacity svalu (IOS). IOS je tvorený polovicou času potrebného k navráteniu hodnoty TSI do normálneho stavu po arteriálnej oklúzii, ktorá trvala päť minút. IOS pozitívne koreluje s výkonom lezca pri športovom lezení s lanom a jedná sa o hodnotu, ktorá determinuje vytrvalosť lezca. Test je začatý s aktivovaním metabolizmu pomocou ľahkého cvičenia (+/- 15%) 1RM s dynamometrom. Následne je manžeta natlakovaná na 220 mmHg a v tomto stave ostávajú v ľahu po dobu piatich minút. Manžeta je po uplynutí tejto doby náhle uvoľnená a ďalších pätnásť minút sa meria hodnota TSI v polohe ležmo. Čas ½ návratu hodnoty TSI je následne vypočítaný z bodu maximálnej deoxygenácie svalu pred ukončením oklúzie a bodu maximálnej hodnoty TSI dosiahnutej hyperanémiou počas reoxygenačnej periódy. Zníženie času súvisí so zvýšenou oxidačnou kapacitou svalu (Fryer et al., 2017). Na upresnenie merania bol IOS odmeraný dvakrát. Prvýkrát podľa štandardného protokolu, ktorý bol využitý a opísaný v dostupnej literatúre (Baláš et al., 2015; Fryer et al., 2017; Larkin et al., 2013). Druhé meranie IOS prebehlo bezprostredne po ukončení „all-out“ testu. Tento test slúžil na upresnenie merania IOS a bola odmeraná ½ doby návratu hodnoty TSI do pôvodného stavu po ukončení „all-out“ testu.

Miera deoxygenácie svalu

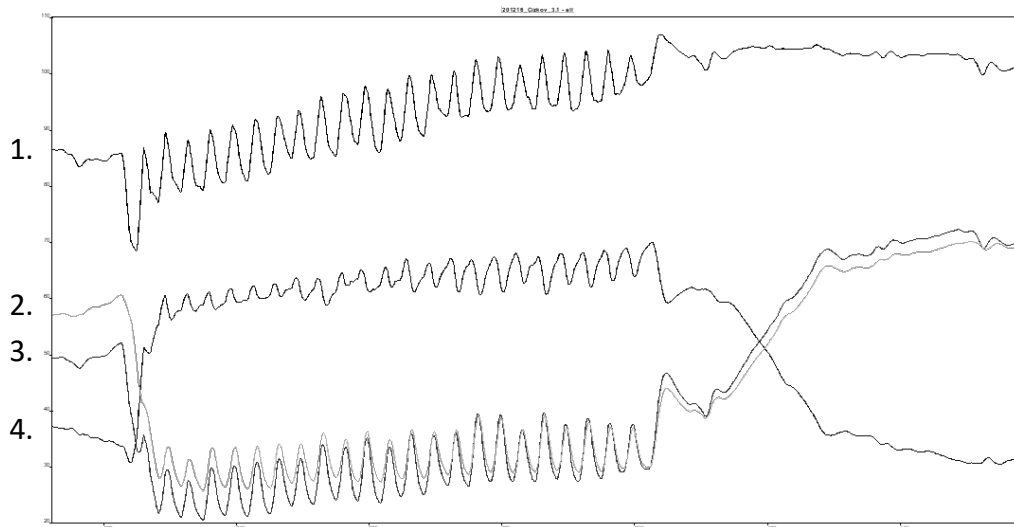
Miera deoxygenácie svalu (v literatúre tiež nazývaná ako index vychytávania O_2 svalom - MDS) je vyjadrená v rozdiel minimálnej a maximálnej hodnoty deoxyhemoglobínu počas „all-out“ testu v mMol a prezentuje kinetiku spotreby O_2 svalom (Ferrari et al., 2011).

5.5 Použité metódy vyhodnocovania výsledkov

Po ukončení „all-out“ testu pomocou spracovania nameraných údajov dostal každý participant súhrnný graf so spracovanými údajmi jeho testu. Ukážka distribuovaných grafov tvorí prílohu č. 3. Po nameraní dát pomocou NIRS sme mali k dispozícii dva grafy znázorňujúce zmeny meraných parametrov v svaľe. Prvý graf (ukážka je na grafe č. 1) bol zaznamenaný počas oklúzie, ktorá trvala päť minút. Druhý graf (ukážka je na grafe č. 2) bol zaznamenaný počas „all-out“ testu. Následne sme grafy spracovali za využitia analytických funkcií v programe Oxysoft.



Graf č. 1: Znázornenie vývoja zaznamenávaných parametrov v čase po aktivácii cirkulácie krvi vo svaľe, následnej oklúzii a regenerácii. Línia s číslom 1 znázorňuje celkový hemoglobín vo svaľe (mMol) a línia s číslom 2 znázorňuje index saturácie tkaniva ($\frac{O_2Hb}{HHb+O_2Hb} * 100$, vyjadrený v %), línia s číslom 3. znázorňuje oxyhemoglobín (mMol), línia s číslom 4 znázorňuje deoxyhemoglobín (mMol).



Graf č. 2: Znáznorenie vývoja zaznamenávaných parametrov v čase počas prebiehajúceho „all-out“ testu a následnej regenerácii. Línia s číslom 1 znázorňuje celkový hemoglobín vo svalu (mMol) a línia s číslom 2 znázorňuje index saturácie tkaniva ($\frac{O_2Hb}{HHb+O_2Hb} * 100$, vyjadrený v %), línia s číslom 3. znázorňuje oxyhemoglobín (mMol), línia s číslom 4 znázorňuje deoxyhemoglobín (mMol).

Na následné vyhodnotenie výsledkov sme využili program IBM SPSS Statistics. Pomocou Kolmogov-Smirnov testu sme zistili, že všetky premenné podliehajú normálnej distribúcii. Rozdiel maximálnej sily, kritickej sily, W, W', IOS a MDS medzi skupinou, ktorá absolvovala tréning s reštrikciou krvného obehu a skupinou, ktorá absolvovala tréningový protokol s vysokou intenzitou bol vypočítaný s využitím deskriptívnej štatistiky (priemer a štandardná odchýlka). Na určenie štatistickej signifikantnosti zmien medzi pred a po intervencii sme využili párový t-test, kde sme nastavili signifikantnosť na $P < 0,05$. Na určenie efektu veľkosti N sme vypočítali Cohenovo d, ktorý sme interpretovali následovne: 0.2 bol minimálny efekt, 0.5 bol mierny efekt a 0.8 znamenal silný efekt veľkosti populácie. Výsledky sme následne preniesli do tabulky a grafov. Grafy znázorňujú medián, priemer, 25% kvartily a štandardnú odchýlku.

6. VÝSLEDKY

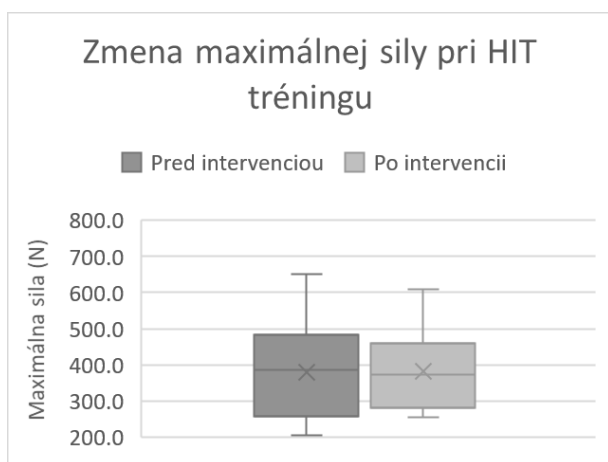
Trinášť participantov úspešne dokončilo celý experimentálny protokol. Každý participant dostal po ukončení „all-out“ testu súhrnný graf so spracovanými údajmi jeho testu. Ukážka distribuovaných grafov tvorí prílohu č. 3.

V tabuľke číslo 7 sú znázornené v závislosti od typu tréningu zmeny v parametroch (priemerný rozdiel, signifikantnosť $p < 0,05$ a vplyv veľkosti populácie – Cohenovo d).

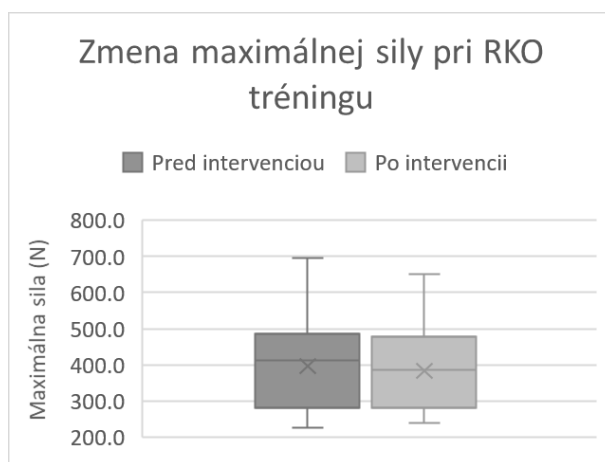
Typ tréningu	Parameter	Priemerný rozdiel (\pm štandardná odchýlka)	Sig. ($p < 0,05$)	d
HIT	Maximálna sila	-2.6 N \pm 54.8 N	0.865	-0.05
RKO	Maximálna sila	13 N \pm 29.4 N	0.138	0.44
HIT	Kritická sila	-4.5 N \pm 27.9 N	0.573	-0.16
RKO	Kritická sila	-9.9 N \pm 33.1 N	0.303	-0.3
HIT	W	-99.6 Ns \pm 424.3 Ns	0.414	-0.23
RKO	W	-160.3 Ns \pm 352.5 Ns	0.127	-0.45
HIT	W`	20.7 Ns \pm 297.8 Ns	0.806	0.07
RKO	W`	23.6 Ns \pm 325.5 Ns	0.798	0.07
HIT	IOS AO	7.5 s \pm 29.9 s	0.400	0.25
RKO	IOS AO	-4.5 s \pm 23.6 s	0.540	-0.19
HIT	IOS "All-out"	0.3 s \pm 6.5 s	0.868	0.05
RKO	IOS "All-out"	0.6 s \pm 5.3 s	0.682	0.12
HIT	MDS	-2.7 mMol \pm 10 mMol	0.372	-0.27
RKO	MDS	2.3 mMol \pm 10.9 mMol	0.469	0.21

Tabuľka č. 7: rozdiel hodnôt zaznamenaných pred začatím a po začatí testu v jednotlivých parametroch. sig. – štatistická signifikantnosť, d – Kohen d, HIT – tréning s vysokou intenzitou, RKO - reštrikcia krvného obehu, W – impulz sily, W` - impulz sily nad hodnotou kritickej sily, IOS AO – index oxygenácie svalu po pokojovom teste s oklúziou, IOS „all-out“ – index oxygenácie svalu po „all-out“ teste, MDS – miera deoxygenácie svalu

Priemerná maximálna sila pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bola $378,9 \pm 134,2$ N. Po ukončení protokolu bola priemerná maximálna sila $381,5 \pm 105,4$ N. Priemerná maximálna sila pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bola $396,6 \pm 135,9$ N. Po ukončení protokolu bola priemerná maximálna sila $383,6 \pm 125,6$ N. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0.05$. Zmeny maximálnej sily pri HIT sú znázornené na grafe č. 3 a zmeny pri tréningu s RKO sú znázornené na grafe č. 4.

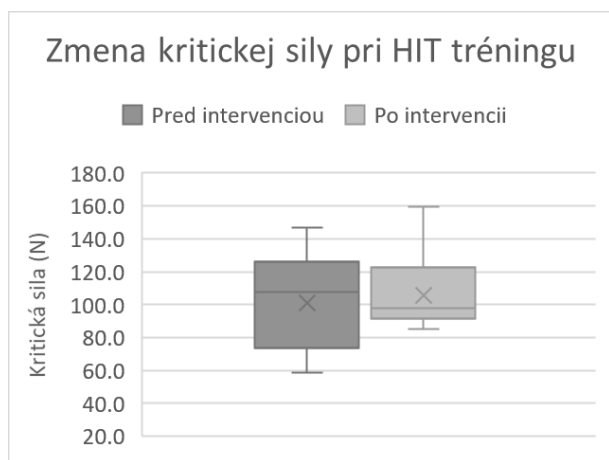


Graf č. 3: Porovnanie zmeny maximálnej sily pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou)

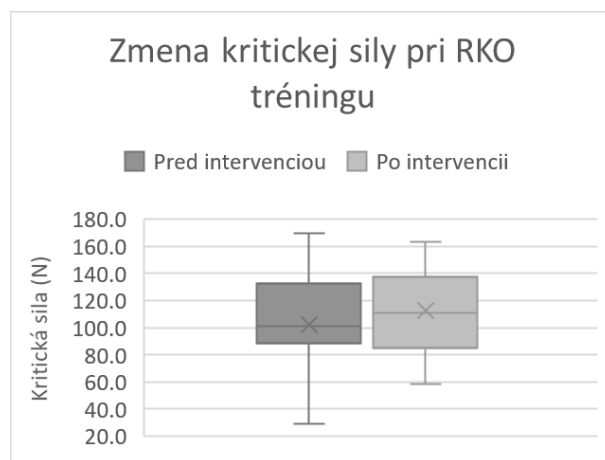


Graf č. 4: Porovnanie zmeny maximálnej sily pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. RKO – reštrikcia krvného obehu

Priemerná kritická sila pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bola $101,2 \pm 27,7$ N. Po ukončení protokolu bola priemerná maximálna sila $105,7 \pm 33,9$ N. Priemerná kritická sila pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bola $102,4 \pm 40,6$ N. Po ukončení protokolu bola priemerná maximálna sila $112,3 \pm 31,5$ N. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0.05$. Zmeny kritickej sily pri HIT sú znázornené na grafe č. 5 a zmeny pri tréningu s RKO sú znázornené na grafe č. 6.

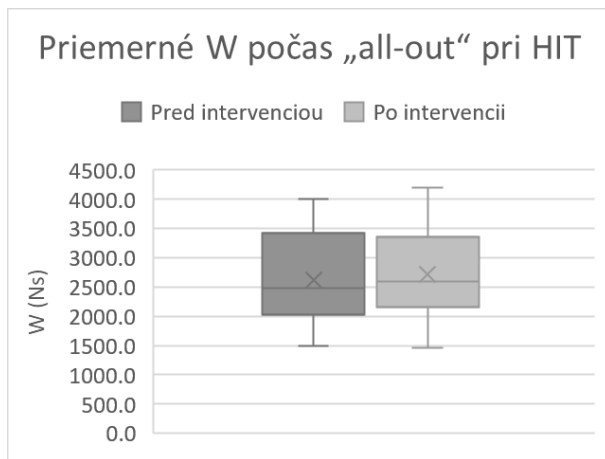


Graf č. 5: Porovnanie zmeny kritickej sily pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou)

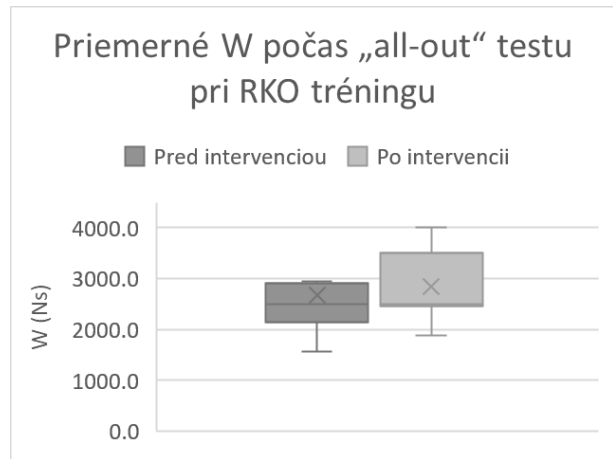


Graf č. 6: Porovnanie zmeny kritickej sily pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. RKO - reštrikcia krvného obehu

Priemerné W počas „all-out“ testu pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bolo $2623,0 \pm 752,7$ Ns. Po ukončení protokolu bolo priemerné W $2722,6 \pm 851,9$ Ns. Priemerné W počas „all-out“ testu pred začatím protokolu s RKO bolo $2676,1 \pm 808,4$ Ns. Po ukončení tréningového protokolu bolo priemerné W $2836,4 \pm 650,7$ Ns. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0.05$. Súhrnné porovnanie nameraných hodnôt je graficky znázornené na grafe č. 7.

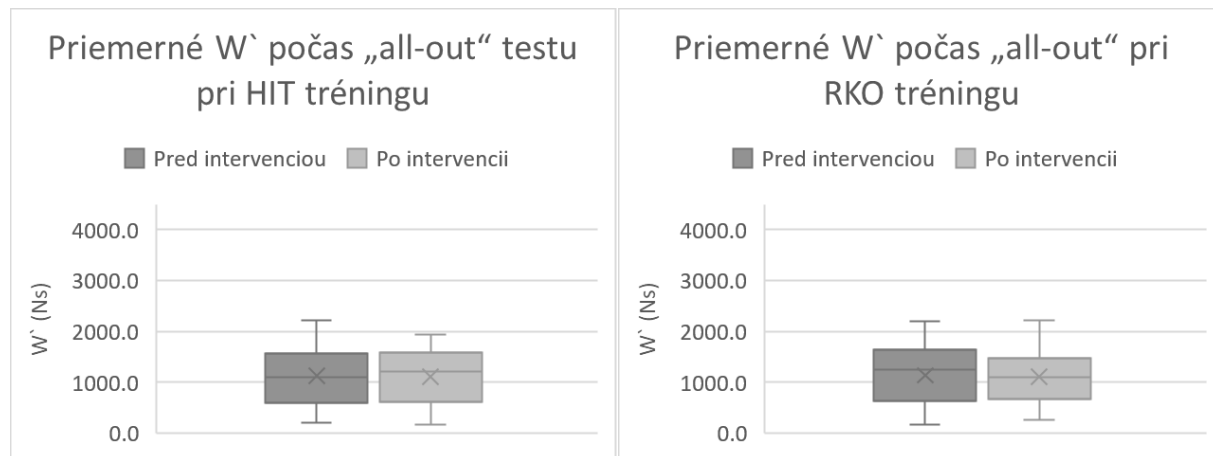


Graf č. 7: Porovnanie zmeny impulzu sily (W) pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou)



Graf č.8: Porovnanie zmeny impulzu sily (W) pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. RKO - reštrikcia krvného obehu

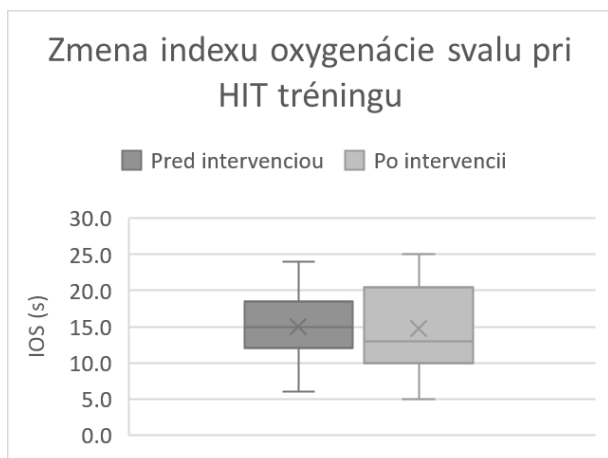
Priemerné W' počas „all-out“ testu pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bolo $1122,4 \pm 594,0$ Ns. Po ukončení protokolu bolo priemerné W' $1101,7 \pm 595,7$ Ns. Priemerné W' počas „all-out“ testu pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bolo $1137,9 \pm 644,9$ Ns. Po ukončení tréningového protokolu bolo priemerné W' $1114,2 \pm 559,2$ Ns. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0.05$. Súhrnné porovnanie nameraných hodnôt je graficky znázornené na grafe č. 8.



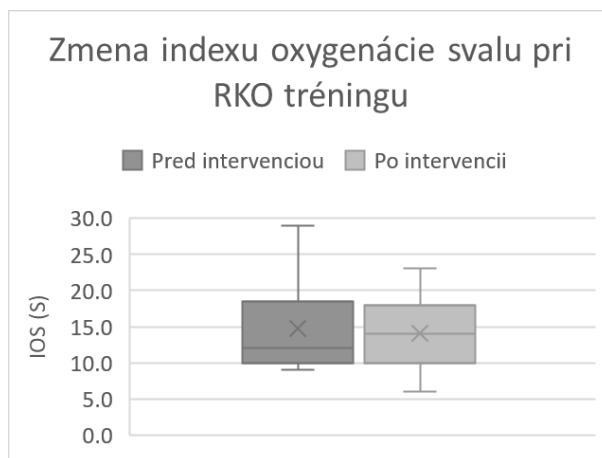
Graf č. 9: Porovnanie zmeny impulzu sily nad hodnotou kritickej sily (W') pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou)

Graf č.10: Porovnanie zmeny impulzu sily nad hodnotou kritickej sily (W') pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. RKO - reštrikcia krvného obehu

Priemerný čas na dosiahnutie TSI po ukončení päťminútovej oklúzie, pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bol $15,0 \pm 5,3$ s. Po ukončení protokolu bol IOS $14,7 \pm 6,1$ s. IOS pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bol $14,7 \pm 6,1$ s. Po ukončení protokolu bol IOS $14,1 \pm 5,1$ s. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0,05$. Zmeny IOS pri HIT sú znázornené na grafe č. 9 a zmeny IOS pri RKO sú znázornené na grafe č. 10.

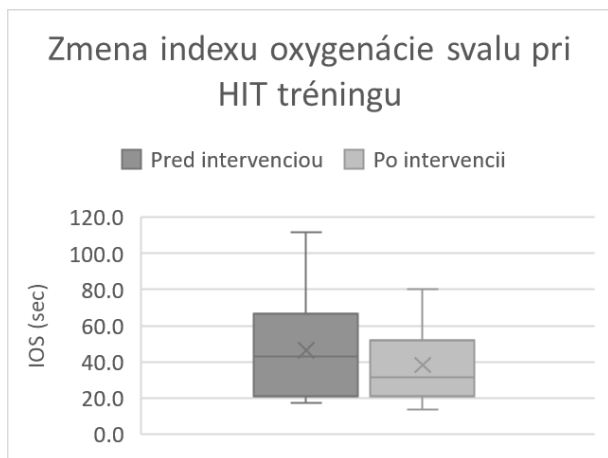


Graf č. 11: Porovnanie zmeny indexu oxygenácie svalu po päťminútovej oklúzii pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. IOS – index oxygenácie svalu, HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou), IOS – index oxidačnej kapacity svalu

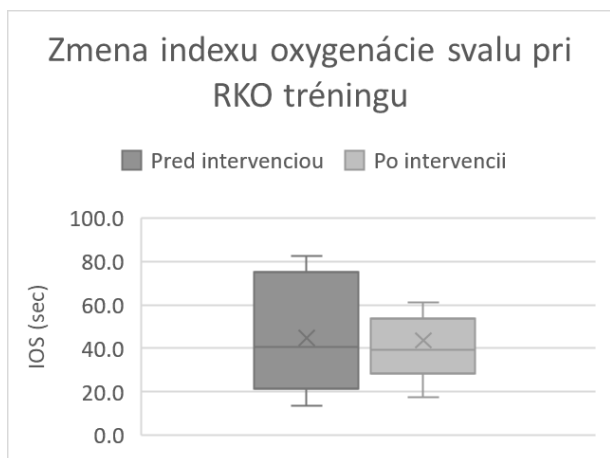


Graf č. 12 Porovnanie zmeny indexu oxygenácie svalu po päťminútovej oklúzii pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. IOS – index oxygenácie svalu, RKO - reštrikcia krvného obehu, IOS – index oxidačnej kapacity svalu

Priemerný čas na dosiahnutie TSI po ukončení „all-out“ testu pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bol $46,4 \pm 28,4$ s. Po ukončení protokolu bol IOS $38,3 \pm 21,1$ s. IOS pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bol $44,8 \pm 25,7$ s. Po ukončení protokolu bol IOS $43,7 \pm 25,2$ s. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0.05$. Zmeny IOS pri HIT sú znázornené na grafe č. 11 a zmeny IOS pri RKO sú znázornené na grafe č. 12.

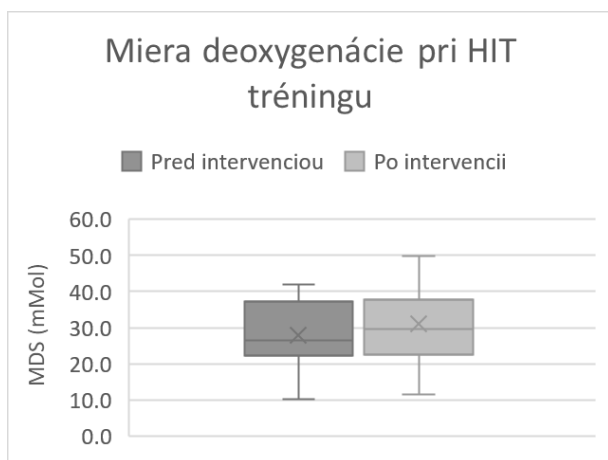


Graf č. 13: Porovnanie zmeny indexu oxygenácie svalu po „all-out“ teste pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. IOS – index oxygenácie svalu, HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou), IOS – index oxidačnej kapacity svalu

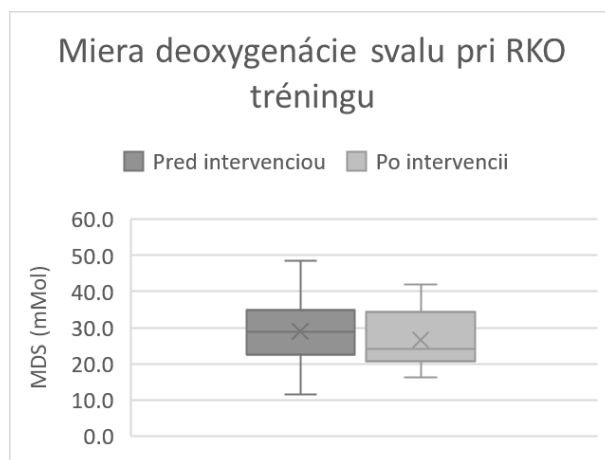


Graf č. 14 Porovnanie zmeny indexu oxygenácie svalu po „all-out“ teste pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. IOS – index oxygenácie svalu, RKO – reštrikcia krvného obehu, IOS – index oxidačnej kapacity svalu

MDS pred začatím protokolu s vysokou intenzitou bol $28,0 \pm 9,0$ mMol. Po ukončení protokolu bol rozdiel minimálnej a maximálnej hodnoty deoxyhemoglobínu $31,0 \pm 11,5$ mMol. MDS pred začatím protokolu s reštrikciou krvného obehu bol $28,9 \pm 9,7$ mMol. Po ukončení protokolu bol rozdiel minimálnej a maximálnej hodnoty deoxyhemoglobínu $26,7 \pm 8,4$ mMol. Pri výsledkoch sa nepotvrdila štatistická významnosť s $p < 0,05$. Zmeny MDS pri HIT sú znázornené na grafe č. 13 a zmeny pri RKO sú znázornené na grafe č. 14.



Graf č. 15: Porovnanie zmeny miery deoxygénácie svalu pred a po ukončení tréningového protokolu s vysokou intenzitou. MDS – miera deoxygénácie svalu, HIT – High intensity training (tréning s vysokou intenzitou), HHb - deoxyhemoglobín



Graf č. 16: : Porovnanie zmeny miery deoxygénácie svalu pred a po ukončení tréningového protokolu s reštrikciou krvného obehu. MDS – miera deoxygénácie svalu, RKO – reštrikcia krvného obehu, HHb - deoxyhemoglobín

7. DISKUSIA

Na základe nameraných dát môžeme prísť k záveru, že zmeny, ktoré nastali pri dvoch rôznych tréningových protokoloch boli zhodné. V meta-analýze, ktorá hodnotila publikované štúdie, z ktorých vychádzal experimentálny dizajn, po ukončení intervencií dosiahli zmenu 1RM v závislosti od typu tréningu (HIT vs. RKO) od 1 % do 18 %. Väčšina analyzovaných štúdií bola vykonaná na dolných končatinách. Vo výsledku bolo zlepšenie výkonu po HIT výraznejšie ako v prípade RKO tréningu, ale stále štatisticky nesignifikantné (Lixandrão et al., 2018). Naopak v prípade lezecky špecifických testov, aplikácia BRF nedosiahla zmeny v teste 1RM alebo v prerušovanom vytrvalostnom teste (Saeterbakken et al., 2020). Výsledky ukazujú že na rozdiel od opísanej metanalýzy, k žiadnej signifikantnej zmene nedošlo. To znamená že hypotéza napísaná na strane 22 sa týmto výsledkom potvrdila, ale pri interpretácii a vyvodení ďalších záverov je nutná opatrnosť. Pôvodná štúdia bola naplánovaná ako doplnkový tréning k prebiehajúcemu lezeckému tréningu na umelej stene a v prírodných terénoch a ostatnej športovej činnosti (podľa vyplneného dotazníka sa jedná najčastejšie o aktivity: lezenie na umelej stene, tréning v posilňovni, jóga, beh). Z toho dôvodu experiment začal v marci 2020, ale pre vzniknutú situáciu, neustále sa meniace vládne nariadenia a neznalosť vývoja prebiehajúcej pandémie koronavírusu, bolo nutné experiment ukončiť predčasne. Vzhľadom na charakter sledovanej skupiny, ktorá využíva letné mesiace na cestovanie do zahraničia, sme sa rozhodli pokračovať v štúdiu v septembri 2020. Prvé dva týždne experimentu prebehli podľa plánu, ale začiatkom októbra boli vnútorné športoviská uzavreté. Oproti pôvodnému plánu tréningu ohýbačov ako doplnkového (tréningu), nastala zmena, keď sa uzavreli vnútorné športoviská. S uzavretím vnútorných športovísk počas druhého týždňa prebiehajúceho experimentu sa tréningový protokol pre participantov stal hlavným tréningovým a teda aj jediným stimulom ohýbačov článkov prstov.

Počas nášho experimentu sme porotvnávali HIT a RKO tréning na úrovni ovplyvnenia vytrvalostnej a silovej zložky. Meranie maximálnej sily nám poslúžilo ako nástroj pomocou ktorého sme zisťovali adaptáciu svalu na silovú zložku. V prípade dosiahnutia štatisticky signifikantného výsledku rovnaká zmena pri oboch typoch tréningu znamenala, že došlo k adaptačným mechanizmom prevažne na molekulárnej a hormonálnej úrovni, ktoré spôsobili syntézu nových proteínov vo svale a zvýšenie jeho celkovej sily. Na druhej strane kritická sila nám mala ukázať adaptáciu svalu

na vytrvalostnú záťaž. Tieto mechanizmy by sa ďalej dali rozdeliť na adaptáciu systému distribúcie kyslíka do svalu a využitia kyslíka vo svale. Pomocou NIRS je možné zaznamenať zmeny obidvoch mechanizmov adaptácie. Pomocou IOS je možné určiť čas za ktorý sa obnoví prietok krvi vo svale. Je možné predpokladať, že v prípade zníženia času potrebného na dosiahnutie normálnej perfúzie svalu, svalové tkanivo sa adaptovalo na znížené dodávky kyslíka. Potvrdenie tejto hypotézy by bolo na základe dát získaných počas IOS testu. Tento test bol vykonaný dvakrát na upresnenie merania adaptácie svalu a dynamiky TSI počas záťaže a v pokoji pri reštrikcii krvného obehu. Počas experimentu k zmenám nedošlo ani v prípade HIT ani v prípade RKO tréningu. To znamená, že dynamika distribúcie krvi vo svale aj napriek zmenám v tréningovej záťaži ostala rovnaká (Cesur et al., 2012). Pri poklese IOS bude dochádzať k zlepšeniu distribúcie krvi, ktorá je spôsobená adaptáciami na hypoxiu a zvýšené šmykové napätie krvi. Druhý spomenutý mechanizmus adaptácie svalu na neúplnú ischémiu bolo zlepšenie využitia kyslíka. Pri zlepšení využitia dochádza k zmenám, ktoré sú spôsobené zmenami v svalovom metabolizme a to má za následok zvýšenie MDS počas cvičenia (Delorey et al., 2004; Fryer et al., 2018), ktoré vyčerpáva sval od energetických zásob (Broxterman et al., 2017). Počas prebiehajúceho tréningu nedošlo k zmenám v MDS ani v prípade RKO tréningu a ani v prípade HIT. Udržanie stabilnej IOS a MDS po náhlej zmene tréningových návykov naznačuje, že obidva typy tréningu sú rovnako efektívne. Počas našej štúdie sme zaznamenali pomerne veľkú štandardnú odchýlku vo výsledkoch MDS a IOS. To môže byť spôsobené rozdielnou tréningovanosťou testovaných probandov.

Dizajn a priebeh štúdie mal veľa premenných, ktorých vplyv nebolo možné eliminovať. Štúdia bola vedená prekrížene. Tento typ na jednej strane znižuje počet účastníkov potrebných na štatistickú významnosť výsledkov, na druhej strane tento typ štúdie vhodný na zmeny s dočasným efektom (Nolan et al., 2016). Na odstránenie prebehnutých adaptácií na kostrové svalstvo by bola nutná dlhšia doba „washout“ periódy. Túto periódu sme sa rozhodli skrátiť z dvoch dôvodov. Prvým bol predpoklad, že tréning bude vedený ako doplnkový a druhým dôvodom boli obmedzené časové možnosti. Začiatok experimentu bol naplánovaný na posledný týždeň v Septembri, kedy väčšina študentov a lezcov je po návrate z letných dovolení a rovnako študenti, ktorí tvorili prevažnú časť našich participantov sa vrátili z letných prázdnin. Koniec experimentu bol ohraničený obdobím Vianoc, kedy väčšina participantov je odcestovaná na dobu

dlhšiu ako jeden týždeň (to je maximálna dĺžka obdobia, ktoré sme vedeli nahradiť v prípade absencie). Preto sme sa rozhodli skrátiť „washout“ periódu na jeden týždeň. V štúdiu uskutočnenej Fryerom s kolektívom v r. 2018 trvala „washout“ perióda 4 týždne (Fryer et al., 2018). Medzi ďalšie limity štúdie patrí veľkosť experimentálnej vzorky (kde mohlo dochádzať k skresleniu nameraných údajov), skúsenosti probandov (probandi zapojení do štúdie neboli lezeckí začiatocníci, s tréningom ohýbačov článkov prstov mali predošlé skúsenosti) a nastavenie tréningovej časti experimentu (v dostupnej literatúre existuje značný rozptyl v hodnotách aplikovaného tlaku počas reštrikcie krvného obehu, celkového počtu sedení, intenzity záťaže). Podľa odporúčania Americkej univerzity športovej medicíny na zlepšenie svalovej sily a hypertrofiu svalového vlákna v skupine, ktorá má skúsenosť so zaťažovaním konkrétnej svalovej skupiny, je nutná stimulácia v rozsahu 70-80% 1RM v 3-6 setoch s 8-12 opakovaniami (Ratamess et al., 2009). Vzhľadom na nastavenie tréningového protokolu sme zvolili záťaž v nižších intenzitách, ale po náhlom uzavretí športovísk nastal pokles maximálnej sily a vytrvalosti. Napríklad najzásadnejší pokles VO_{2max} , prebieha v rozmedzí 2.-4. týždňa od ukončenia záťaže (Darrell, 1989).

Tréning s reštrikciou je overený spôsob rehabilitácie po zranení dolnej končatiny (Ferraz et al., 2018), vzhľadom na výsledky, ktoré sa nám podarilo dosiahnuť nemôžeme navrhnúť tréning s reštrikciou krvného obehu ako vhodnú náhradu lezeckého tréningu elitných športovcov po zranení hornej končatiny. Vyvodíť záver, že tréning s RKO je vhodnou náhradou vyžaduje ďalšie skúmanie. V aktuálnej situácii existujú dve možnosti ako opakovaný experiment vykonať. Prvá možnosť je upraviť na základe zistených limitov štúdie pôvodný dizajn experimentu, ktorý počítal s tréningovým protokolom ako doplnkovým tréningom k rozmanitej (predovšetkým lezeckej) športovej aktivite. Medzi výhody patrí relatívna časová nenáročnosť pre probandov a motivácia probandov na zlepšenie výkonu. Hlavná nevýhoda je, že vyžaduje stabilne otvorené športoviská. Druhá možnosť ako vykonať opakovaný experiment, je vytvoriť tréningový protokol, ktorý bude hlavným tréningom ohýbačov článkov prstov. V tomto protokole budú obmedzené iné možnosti tréningu ohýbačov článkov prstov a z charakteru skupiny je možné predpokladať, že nebude vykonaný na lezcoch. To je jedna z hlavných nevýhod tréningového protokolu spolu s nutnosťou motivovať nelezeckú populáciu a častejšie dochádzanie na tréningy. Výhoda daného tréningového plánu je v zamedzení vplyvu individuálnej tréningovej záťaže (Darrell, 1989).

8. ZÁVER

Môžeme predpokladať, že tréning, pri ktorom dochádza k vysokej záťaži na sval, ale nízkej metabolickej záťaži je možné porovnať s tréningom s nízkou záťažou na sval, ale vysokou metabolickou záťažou spôsobenou neúplnou ischémiou zaťažovanej končatiny. Tento predpoklad je ale nutné brať z rezervou, nakoľko výsledky neboli štatisticky významné. Ako bolo opísané v predošlej kapitole, existuje veľké množstvo faktorov, ktoré ovplyvnili prebiehajúci experiment. Zatiaľ nie je zrejmé, do akej miery boli výsledky ovplyvnené premennými. Aj napriek tomu, že reštrikcia krvného obehu vyzerá ako vhodný doplnok tréningu po zranení na dolnej končatine, k vytvoreniu úplného záveru je nutné ďalšie experimentálne skúmanie so zamedzením pôsobenia limitujúcich faktorov, ktoré mohli celkový výsledok ovplyvniť. V ďalších výzkumoch lezeckého športu má využitie systému NIRS veľký potenciál nakoľko nám pomáha objasniť mechanizmy adaptácií na športový výkon.

9. BIBLIOGRAFIA

- Abe, T., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: A brief review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 32(4), 247–252. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01126.x>
- Amca, A. M., & Vigouroux, L. (2012). Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, (February). <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.658845>
- Baláš, J. (2016). *Fyziologické aspekty výkonu ve sportovním lezení* (1st ed.). Praha: Karolinum.
- Baláš, J., Gajdošík, J., Giles, D., Fryer, S., Krupková, D., & Brtník, T. (2021). Isolated finger flexor vs . exhaustive whole - body climbing tests How to assess endurance in sport climbers? *European Journal of Applied Physiology*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04595-7>
- Baláš, J., Kodejška, J., Krupková, D., Hannsmann, J., & Fryer, S. (2018). Reliability of Near-Infrared Spectroscopy for Measuring Intermittent Handgrip Contractions in Sport Climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 494–501. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002341>
- Baláš, J., Michailov, M., Giles, D., Kodejška, J., Panáčková, M., Fryer, S., ... Kodejška, J. (2015). Active recovery of the finger flexors enhances intermittent handgrip performance in rock climbers performance in rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 1391(February 2016). <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1119198>
- Baláš, J., Panáčková, M., Kodejška, J., Darryl, C., & Andrew, M. (2014). The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, (August). <https://doi.org/10.1080/24748668.2014.11868726>
- Barbieri, E., & Sestili, P. (2012). Reactive Oxygen Species in Skeletal Muscle Signaling. *Journal of Signal Transduction*, 2012, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2012/982794>
- Barstow, T. J. (2019). Cores of Reproducibility in Physiology Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *J Appl Physiol*, (126), 1360–1376. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00166.2018>
- Beekvelt, M. van, Engelen, B. G. Van, Wevers, R. A., & Colier, W. (2002). *Quantitative near-infrared spectroscopy in human skeletal muscle. methodological issues and clinical application*.
- Benizri, E., Ginouvés, A., & Berra, E. (2008). The magic of the hypoxia-signaling cascade. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 1133–1149. <https://doi.org/10.1007/s00018-008-7472-0>
- Bommi-Reddy, A., Laznik, D., Girnun, G., Ma, Y., Chinsomboon, J., Spiegelman, B. M., ... Arany, Z. (2008). HIF-independent regulation of VEGF and angiogenesis by the transcriptional coactivator PGC-1 α . *Nature*, 451(7181), 1008–1012. <https://doi.org/10.1038/nature06613>

- Bond, C. W., Hackney, M. S. K. J., Brown, S. L., & Noonan, S. C. S. B. C. (2019). Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(1), 17–27. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8375>
- Broxterman, R. M., Layec, G., Hureau, T. J., Amann, M., & Richardson, R. S. (2017). Skeletal muscle bioenergetics during all-out exercise : Mechanistic insight into the oxygen uptake slow component and neuromuscular fatigue Skeletal muscle bioenergetics during all-out exercise : mechanistic insight into the oxygen uptake slow component a. *Journal of Applied Physiology*, (February). <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01093.2016>
- Cesur, G., Atay, E., Ogut, S., Polat, M., & Ongel, K. (2012). Effect of indoor climbing exercise on plasma oxidative stress, hematologic parameters and heart rate responses in sedentary individuals. *Biomedical Research (India)*, 23(4), 566–570.
- Chang, C. Y., Torriani, M., & Huang, A. J. (2016). Rock Climbing Injuries: Acute and Chronic Repetitive Trauma. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 45(3), 205–214. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2015.07.003>
- Chikani, V., & Ho, K. K. Y. (2014). Action of GH on skeletal muscle function : molecular and metabolic mechanisms. *Journal of Molecular Endocrinology*, 52. <https://doi.org/10.1530/JME-13-0208>
- Crowley, T. P. (2012). The Flexor Tendon Pulley System and Rock Climbing. *J Hand Microsurg*, 4(June), 25–29. <https://doi.org/10.1007/s12593-012-0061-3>
- Dehkhoda, F., Lee, C. M. M., Medina, J., Brooks, A. J., & Brooks, A. J. (2018). The Growth Hormone Receptor : Mechanism of Receptor Activation , Cell Signaling , and Physiological Aspects. *Frontiers in Endocrinology*, 9(February), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00035>
- Delorey, D. S., Shaw, C. N., Shoemaker, J. K., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2004). The effect of hypoxia on pulmonary O₂ uptake , leg blood flow and muscle deoxygenation during single-leg knee-extension exercise. *Experimental Physiology*, (1991), 293–302. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2003.026864>
- Dephillipo, N., Kennedy, M., Aman, Z., Bernhardson, A., & Luke, B. (2018). Blood Flow Restriction Therapy After Knee Surgery : *Arthroscopy Techniques*, (September). <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.06.010>
- Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F. K., Wolf, P., Baláš, J., ... Mithat, A. (2016). Comparative grading scales , statistical analyses , climber descriptors and ability grouping : International Rock Climbing Research Association position statement, 6182(June). <https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081>
- Draper, N., Hogson, C. I., & Blackwell, G. (2009). Flexibility assessment and the role of flexibility as a determinant of performance in rock climbing. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, (April), 67–89. <https://doi.org/10.1080/24748668.2009.11868465>
- Egan, B., & Zierath, J. R. (2012). Review Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of

- Skeletal Muscle Adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162–184. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
- Feldmann, A. M., Erlac, D., Sandro, P., & Le, R. (2020). Muscle oxygen dynamics in elite climbers during finger-hang tests at varying intensities. *SCIENTIFIC REPORTS*, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60029-y>
- 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 and Occupational Physiology*, 76(2), 174–180. <https://doi.org/10.1007/s004210050231>
- Ferguson, R. A., Hunt, J. E. A., Lewis, M. P., Martin, N. R. W., Player, D. J., Stangier, C., ... Turner, M. C. (2018). The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Sport Science*, 18(3), 397–406. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1422281>
- FERRARI, M., MUTHALIB, M., & QUARESIMA, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: *Phil. Trans. R. Soc. A*, (369), 1–14. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230>
- Ferraz, R. B., Gualano, B., Rodrigues, R., Kurimori, C. O., Fuller, R., Lima, F. R., ... Roschel, H. (2018). Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 897–905. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>
- Franklin, B. A., Vander, L., Wrisley, D., & Rubenfire, M. (1983). Aerobic Requirements of Arm Ergometry: Implications for Exercise Testing and Training. *The Physician and Sportsmedicine*, 11(10), 81–90. <https://doi.org/10.1080/00913847.1983.11708659>
- Fryer, S, Stone, K., Dickson, T., Wilhelmsen, A., Cowen, D., Faulkner, J., ... Faulkner, J. (2018). The effects of 4 weeks normobaric hypoxia training on microvascular responses in the forearm flexor. *Journal of Sports Sciences*, 0(0), 1–7. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1554177>
- Fryer, S, Stone, K. J., Sveen, J., Dickson, T., Giles, D., Baláš, J., ... Giles, D. (2017). Differences in forearm strength , endurance , and hemodynamic kinetics between male boulderers and lead rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 1391. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1353135>
- Fryer, Simon, Giles, D., Bird, E., Stone, K., Paterson, C., Willems, M. E. T., ... Stone, K. (2020). New Zealand blackcurrant extract enhances muscle oxygenation during repeated intermittent forearm muscle contractions in advanced and elite rock climbers New Zealand blackcurrant extract enhances muscle oxygenation during. *European Journal of Sport Science*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1827048>
- Fuss, F. K., Tan, A. M., Pichler, S., Niegl, G., & Drum, S. N. (2020). Heart Rate Behavior in Speed Climbing. *Frontiers in Physiology*, 11(July). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01364>

- Giles, D., Hadley, J., & Taylor, N. (2020). An all-out test to determine finger flexor critical force in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, (August). <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0637>
- Giles, L. V, Rhodes, E. C., & Taunton, J. E. (2006). The Physiology of Rock Climbing. *Sports Medicine*, 36(6), 529–545.
- Gómez, P. B., Montero-Marin, J., Gomez-bruton, A., & Casajús, J. A. (2020). The finger flexors occlusion threshold in sportclimbers: an exploratory study on its indirect approximation. *European Journal of Sport Science*, 0(0), 1–21. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1827047>
- Goto, C., Nishioka, K., Umemura, T., & Jitsuiki, D. (2007). Acute Moderate-Intensity Exercise Induces Vasodilation Through an Increase in Nitric Oxide Bioavailability in Humans. *Journal of Hypertension*, 25(6), 825–830. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2007.02.014>
- Grønhaug, G. (2018). Self-reported chronic injuries in climbing : who gets injured when ? *Open Sport & Exercise Med*, 3–5. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000406>
- Hackney, A. C. (2019). Molecular and Physiological Adaptations to Endurance Training : Scientific Basics and Practical Applications, (January). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75547-2>
- Hay, N., & Sonenberg, N. (2004). Upstream and downstream of mTOR. *Genes and Development*, 18(16), 1926–1945. <https://doi.org/10.1101/gad.1212704>
- He, F., Li, J., Liu, Z., Chuang, C., Yang, W., & Zuo, L. (2016). Redox Mechanism of Reactive Oxygen Species in Exercise. *Frontiers in Physiology*, 7(November), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00486>
- Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2016). Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Comprehensive Physiology*, 6(January), 1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>
- Henneman, E. (1985). The size-principle: A deterministic output emerges from a set of probabilistic connections. *J Exp Biol*, 112, 105–112.
- Henneman, E., & Olson, C. B. (1965). RELATIONS BETWEEN STRUCTURE AND FUNCTION IN THE DESIGN OF SKELETAL. *Journal of Neurophysiology*, 28(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.581>
- Hoier, B., & Hellsten, Y. (2014). Exercise induced capillary growth in human skeletal muscle and the dynamics of VEGF. *Mikrocirkulation*, 21(4), 301–314. <https://doi.org/10.1111/micc.12117>
- Jašová, M., Kancirová, I., Waczulíková, I., & Ferko, M. (2017). Mitochondria as a target of cardioprotection in models of preconditioning. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 49(5), 357–368. <https://doi.org/10.1007/s10863-017-9720-1>
- Javorský, T. (2019). *Fyziologické mechanizmy cvičenia pri reštrikcii krvného obehu. Bakalárska práca*. Charles University in Prague.

- Jensen, L., Bangsbo, J., & Hellsten, Y. (2004). Effect of high intensity training on capillarization and presence of angiogenic factors in human skeletal muscle. *J Physiol*, 2, 571–582. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.057711>
- Josiak, K., & Jankowska, E. A. (2014). Skeletal myopathy in patients with chronic heart failure : significance of anabolic-androgenic hormones. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, (August). <https://doi.org/10.1007/s13539-014-0152-z>
- Jung, S., & Kim, K. (2014). Exercise-induced PGC-1 transcriptional factors in skeletal muscle. *Integrative Medicine Research*, 3(4), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2014.09.004>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine*, 35(4), 339–361.
- Larkin, K., Macneil, G., Dirain, M., Sandesara, B., Manini, T., & Bufford, T. (2013). Blood Flow Restriction Enhances Post–Resistance Exercise Angiogenic Gene Expression. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(11), 2077–2083. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625928>.Blood
- Laurentino, G., Aoki, M., Fernandes, R., Soares, A., Ugrinowitsch, C., Hoschel, H., & Tricoli, V. (2018). Low-load Resistance Exercise with Blood Flow Restriction Changes Hypoxia-Induced Genes Expression. Retrieved from https://www.fasebj.org/doi/abs/10.1096/fasebj.2018.32.1_supplement.855.23#f1-85523
- Limonta, E., Brighenti, A., Rampichini, S., Cè, E., Schena, F., & Esposito, F. (2018). Cardiovascular and metabolic responses during indoor climbing and laboratory cycling exercise in advanced and élite climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 118(2), 371–379. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3779-6>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., ... Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., ... Bembien, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 2903–2912. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2266-8>
- Lum, Z. C., & Park, L. (2019). Rock climbing injuries and time to return to sport in the recreational climber. *Journal of Orthopaedics*, 16(4), 361–363. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2019.04.001>
- Magalhães, J., Ferreira, R., Marques, F., Olivera, E., Soares, J., & Ascensão, A. (2007). Indoor climbing elicits plasma oxidative stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 955–963. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318038f728>
- Masoud, G. N., & Li, W. (2015). HIF-1 α pathway: Role, regulation and intervention for cancer therapy. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 5(5), 378–389.

<https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.05.007>

- Mortensen, S. P., Jeppesen, T. D., Ali, L., Barker, H., Damsgaard, R., Secher, N. H., ... Atp, O. A. (2008). Haemodynamic responses to exercise , ATP infusion and thigh compression in humans : insight into the role of muscle mechanisms on cardiovascular function. *J Physiol*, *9*, 2405–2417. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.152058>
- Nakajima, T., Koide, S., Yasuda, T., Hasegawa, T., Yamasoba, T., Obi, S., ... Kano, Y. (2018). Muscle hypertrophy following blood flow-restricted low force isometric electrical stimulation in rat tibialis anterior: Role for muscle hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, *jappphysiol.00972.2017*. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00972.2017>
- Neto, G. R., Novaes, J. S., Dias, I., Brown, A., Vianna, J., & Cirilo-Sousa, M. S. (2017). Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *37*(6), 567–574. <https://doi.org/10.1111/cpf.12368>
- Neufer P. Darrell. (1989). The Effect of Detraining and Reduced Training on the Physiological Adaptations to Aerobic Exercise Training. *Sports Medicine*, *8*(5), 302–320.
- Nolan, S. J., Hambleton, I., & Dwan, K. (2016). The Use and Reporting of the Cross-Over Study Design in Clinical Trials and Systematic Reviews : A Systematic Assessment. *PLOS ONE*, *69*, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159014>
- Panzhinskiy, E., Culver, B., Ren, J., Bagchi, D., & Nair, S. (2013). *Role of Mammalian Target of Rapamycin (mTOR) in Muscle Growth. Nutrition and Enhanced Sports Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396454-0.00022-9>
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, *45*(2), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
- Philippe, M., Wegst, D., Müller, 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. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2260-1>
- Qaisar, R., Bhaskaran, S., & Remmen, H. Van. (2016). Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. *Free Radical Biology and Medicine*, *98*, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.03.025>
- Ratamess, N. A., Brent, A., Evetoch, T. K., & Housh, T. J. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Saeterbakken, A. H., Andersen, V., Stien, N., Pedersen, H., Erik, T., Solstad, J., ... Hermans, E. (2020). The effects of acute blood flow restriction on climbing-specific tests. *Movement and Sport Sciences*, 7–14.

- Sambandan, G., & Turcu-stiolica, A. (2019). *Chapter 23 - Clinical Trials. Clinical Pharmacy Education, Practice and Research*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814276-9.00023-4>
- Sanchez, X., Torregrossa, M., Woodman, T., Jones, G., & Llewellyn, D. J. (2019). Identification of Parameters That Predict Sport Climbing Performance. *Frontiers in Physiology*, *10*(May), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01294>
- Saxton, R. A., & Sabatini, D. M. (2017). mTOR Signaling in Growth, Metabolism, and Disease. *Cell*, *168*(6), 960–976. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004>
- Seven, Y. B., Mantilla, C. B., & Sieck, G. C. (2021). Recruitment of rat diaphragm motor units across motor behaviors with different levels of diaphragm activation. *J Appl Physiol*, 1308–1316. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01395.2013>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1685-2>
- Singer, T. J., Stavres, J., Elmer, S. J., Kilgas, M. A., Pollock, B. S., Kearney, S. G., & Mcdaniel, J. (2020). Knee extension with blood flow restriction: Impact of cuff pressure on hemodynamics. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(1), 79–90. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04250-2>
- Sjöström, M., Neglén, P., Fridén, J., & Eklöf, B. (1982). Human skeletal muscle metabolism and morphology after temporary incomplete ischaemia. *European Journal of Clinical Investigation*, *12*(1), 69–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.1982.tb00941.x>
- Steinbacher, P., & Eckl, P. (2015). Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle. *Biomolecules*, *5*(2), 356–377. <https://doi.org/10.3390/biom5020356>
- Stien, N., Hole, A., Id, S., Hermans, E., Vereide, V. A., Olsen, E., & Andersen, V. (2019). Comparison of climbing-specific strength and endurance between lead and boulder climbers. *PLOS ONE*, 1–13.
- Tennent, D. J., Burns, T. C., Johnson, A. E., Owens, J. G., & Hylden, C. M. (2018). Blood flow restriction training for postoperative lower-extremity weakness: A report of three cases. *Current Sports Medicine Reports*, *17*(4), 119–122. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000470>
- Thompson, E. B., Farrow, L., Hunt, J. E. A., Lewis, M. P., & Ferguson, R. A. (2015). Brachial artery characteristics and micro-vascular filtration capacity in rock climbers. *European Journal of Sport Science*, *15*(4), 296–304.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, *39*, 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>

- Vingren, J. L., Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Anderson, J. M., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2010). Testosterone Physiology in Resistance Exercise and Training The Up-Stream Regulatory Elements. *Sports Medicine*, *40*(12), 1037–1053.
- Vojtěch, A. M. (2020). Mimořádné opatření, č. j.: MZDR 12745/2020-1/MIN/KAN. Retrieved from [https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/18799/40682/Mimořádné opatření - volný pohyb osob na území ČR.pdf](https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/18799/40682/Mimořádné_opatření_-_volný_pohyb_osob_na_území_ČR.pdf)
- Watts, P. B., Martin, D. T., & Durtschi, S. (1993). Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 113–117. <https://doi.org/10.1080/02640419308729974>
- Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Y., & Abe, T. (2011). Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(10), 2525–2533. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1873-8>
- Zanou, N., & Gailly, P. (2013). Skeletal muscle hypertrophy and regeneration : interplay between the myogenic regulatory factors (MRFs) and insulin-like growth factors (IGFs) pathways. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 4117–4130. <https://doi.org/10.1007/s00018-013-1330-4>

10. PRÍLOHY

10.1 Príloha č. 1: Informovaný súhlas

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,
v souladu se Všeobecnou deklarácí 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 deklaráce, 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 biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci diplomové práce s názvem *Efekt cvičení s omezením krevního průtoku na izometrický výkon flexorů předloktí* prováděné v laboratoři katedry sportů v přírodě Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy.

Projekt bude probíhat v období: 1/2021– 3/2021.

Cílem výzkumného projektu je zjistit efekt cvičení s omezením krevního průtoku na izometrický výkon flexorů předloktí.

Způsob zásahu bude neinvazivní. Budete se účastnit tréninku svalů předloktí. Na začátku výzkumu vyplníte zdravotnický dotazník pro vyloučení kontraindikací. Před tréninkem se důkladně rozcvičíte. Během tréninku budete vyvíjet rukou požadovaný tlak na lištu připevněnou nad úroveň hlavy. V prvních pěti týdnech budete mít během cvičení na paži připevněnou manžetu, která bude omezovat žilní návrat. Tlak v manžetě bude na úrovni 60 % arteriální okluze. Tlak bude stanoven pro každého z Vás individuálně auskultační metodou. Při této metodě bude nafouknuta manžeta tlakoměru umístěná na levé horní končetině na hodnotu tlaku, který zamezí proudění krve. Poté tlak v manžetě budeme postupně snižovat až do chvíle, kdy dojde k obnovení krevního průtoku, což se ve fonendoskopu projeví jako slyšitelný vjem. Hodnotu tlaku zaznamenáme a manžetu poté sundáme. Ze získané hodnoty tlaku vypočítáme 60 %. Tuto vypočítanou hodnotu pak budeme používat pro určení tlaku manžety při cvičení.

Cvičení s vaskulární okluzí je dle Loenneke et al. (2011) bezpečná tréninková alternativa pro osoby všech věkových skupin a tréninkové úrovně. Budete cvičit dvakrát týdně po dobu 5+5 týdnů, jednotka bude trvat přibližně 20 minut. Poté podstoupíte opět pětítýdenní trénink bez vaskulární okluze s intenzitou 60 % jednoho opakovacího maxima. Při prvním měření zjistíme Vaši maximální sílu, ze které poté vypočítáme 60 %. Během tréninku budete jednou rukou vyvíjet požadovaný tlak (60 % maximální síly) na chyt umístěný na desce v požadovaných intervalech. Po jednom cvičení se ruce vymění. Během tohoto cvičení nebude omezen krevní průtok. Celé cvičení bude trvat 20 minut. Výzkum tedy bude celkově trvat 20x2x10 min., tj. 400 minut.

Cvičení bude probíhat ve stoje. Budete jednou rukou vyvíjet požadovaný tlak na lištu připevněnou na přístroji hodnotící velikost síly působící na lištu.

Na začátku a na konci projektu proběhne měření **svalového výkonu a hemodynamické odezvy**. Přístroj, na kterém bude probíhat cvičení, zároveň poslouží ke sběru dat ohledně izometrického výkonu svalů předloktí. Hemodynamická odezva bude měřena neinvazivně v oblasti předloktí přístrojem Oxymon od společnosti Artinis Medical Systems. Měření proběhne za standardních bezpečnostních podmínek proškolenými pracovníky laboratoře dle instrukcí výrobce zaškolenou obsluhou při dodržení bezpečnostních pravidel.

Projektu se nebudete zařazeni se zvýšeným rizikem žilní trombózy v posledních šesti měsících, poruchou kardiovaskulárního systému zahrnující vysoký krevní tlak, diabetem, nevysvětlitelnou bolestí na hrudi, srdeční patologií, pocitem na omdlení nebo závratí při fyzické aktivitě. Dále se nemohou účastnit osoby s akutním zraněním v oblasti horní končetiny, karpálním tunelem, útlakovým syndromem, tendosynovitiidou, zraněním šlach a vazivových poutek v oblasti ruky a osoby těhotné s akutním (zejména s infekčním) onemocněním či v rekonvalescenci po nemoci a úraze.

Rizika nebudou přesahovat běžná rizika při lezeckém sportovním tréninku, na který jsou probandi zvyklí. Případným zraněním bude předcházeno důkladným rozcvičením před cvičením a budou zajištěny adekvátní podmínky daného prostřední. Cvičební jednotka bude probíhat pod kontrolou (Bc. Tomáš Javorský), čímž bude zajištěno správné a bezpečné provádění. Metoda cvičení s vaskulární okluzí může způsobit určité nepohodlí vnímané jako zvýšená únavnost horní končetiny či mírné brnění konečků prstů. V případě výrazně nepříjemného pocitu bude manžeta z horní končetiny odstraněna a cvičení zastaveno. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocena.

Předpokládaným přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude zvýšení izometrického výkonu flexorů předloktí.

S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit na e-mailové adrese: javorskt@natur.cuni.cz

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: datum narození (MM/RRRR), hmotnost, výška, data získaná výše uvedenými metodami – které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru. Přístup k nim bude mít hlavní řešitel popřípadě vedoucí práce. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, audionahrávky ani videozáznamy.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu Bc. Tomáš Javorský

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Bc. Tomáš Javorský Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s 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 účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že mám platnou zdravotní prohlídku.** 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. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum

Jméno a příjmení účastníkaPodpis:

10.2 Příloha č. 2: Dotazník

Dotazník BFR

Jméno:

Příjmení:

Datum:

Hmotnost:

Datum narození:

Výška:

Tlak:

Telefon:

Email:

Pravidelně užívané léky:

Zdravotní omezení:

Důležité: zvýšené riziko žilní trombózy v posledních šesti měsících, porucha kardiovaskulárního systému zahrnující vysoký krevní tlak, diabetes mellitus, nevysvětlitelná bolest na hrudi, srdeční patologie, těhotenství, pocit na omdlení nebo závrať při fyzické aktivitě, akutním zraněním v oblasti horní končetiny (méně než 3 měsíce), karpálním tunelem, útlakovým syndromem, tendosynovitidou, zraněním šlach a vazivových poutek v oblasti ruky či v rekonvalescenci po úraze a nemoci.

Současná výkonnost za poslední 2 – 3 měsíce

Současná RP cesta/top rope (UIAA):

Délka lezení (roky):

Zastoupení lezeckých aktivit:

- Skály.....% vs Stěna/bouldrovka.....%
- Bouldry.....% vs Lano.....%

Lezecké tréninky týdně (počet):

(hodin/týden):

Nelezecké tréninky týdně (počet):

(hodin/týden):

Druh nelezeckého tréninku:

Upozornění: Čtyři hodiny před intervencí nepožívat jídlo a kofein nepožívat 12 hodin před intervencí, nepoužívat léky ovlivňující cévy (léky na tlak), Nesprchovat se 3 hodiny před intervencí.

Podpis:

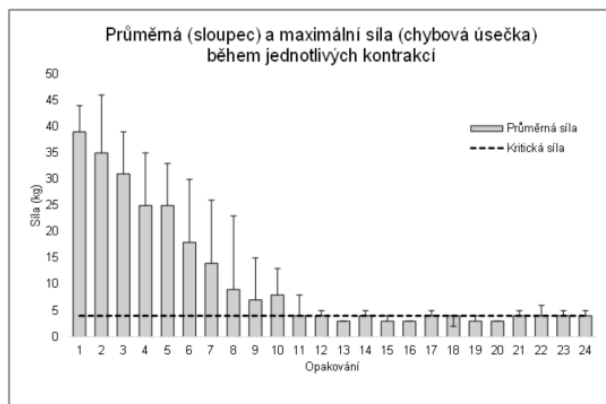
10.3 Príloha č. 3: Ukážka vypracovaných údajov po ukončení „all-out“ testu

Na priložených ukážkach sú znázornené výkony dvoch uchádzačov, ktorí mali zásadne odlišné energetické hradenie vykonaného testu. Na ukážke č.1 mal uchádzač predovšetkým rozvinuté anaeróbne získavanie energie pre sval, zatiaľ čo na ukážke č.2 využíval uchádzač predovšetkým aeróbne dráhy na získavanie energie pre prácu svalu. Z dôvodu ochrany osobných údajov mená uchádzačov nie sú zverejnené.

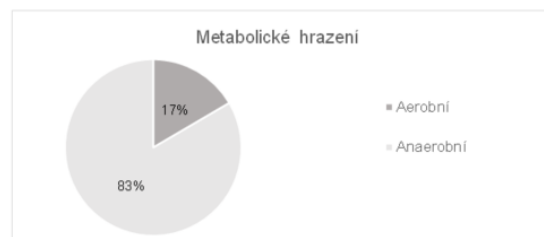
All-out 4 minútový test

Jméno
Příjmení

Datum 12/15/2020



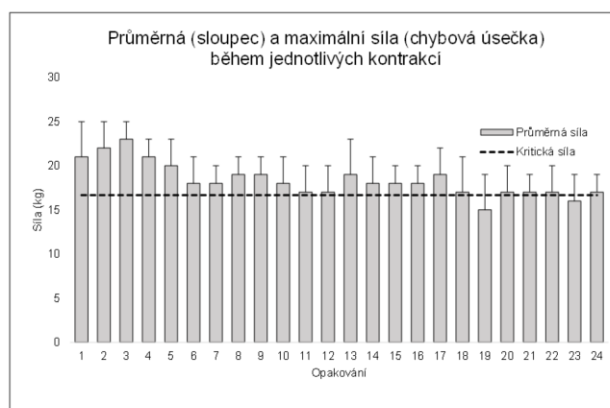
Maximální síla (kg)	46	Kritická síla (kg)	4.0
Maximální síla (% TH)	65%	Kritická síla (% TH)	6%
Celková práce (kg.s)	1455.0	Kritická síla (% Fmax)	9%
W' (kg.s)	1214.1	Dosažení kritické síly (opakování)	13
Index únavy (%)	91%		



All-out 4 minútový test

Jméno
Příjmení

Datum 12/16/2020



Maximální síla (kg)	25	Kritická síla (kg)	16.7
Maximální síla (% TH)	40%	Kritická síla (% TH)	27%
Celková práce (kg.s)	2713.5	Kritická síla (% Fmax)	67%
W' (kg.s)	268.9	Dosažení kritické síly (opakování)	7
Index únavy (%)	33%		

