

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Alžbeta Zaťková

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

Využití MOXY monitoru pro hodnocení oxygenace flexorů prstů
při stupňované lezecké zátěži

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Alžbeta Zaťková

Praha, 2021

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

V Praze, dne

.....

podpis diplomanta

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování:

Velmi ráda bych poděkovala především doc. Jiřímu Balášovi Ph.D. za nekonečnou trpělivost, odborné vedení při práci a za pomocnou ruku vždy, když jsem byla v koncích, dále své rodině a příteli za obrovskou podporu během psaní závěrečné práce i celého předchozího studia.

Abstrakt

Název: Využití MOXY monitoru pro hodnocení oxygenace flexorů prstů při stupňované lezecké zátěži

Cíl: Cílem práce bylo posoudit dynamiku svalové oxygenace pomocí MOXI monitoru a Portamonu při stupňované lezecké zátěži.

Metody: Testování se zúčastnilo 19 jedinců (14 mužů (M) a 5 žen (Ž)), věk $29,5 \pm 8,5$ M, $26,5 \pm 5,7$ Ž hmotnost $70,2 \pm 7,9$ M a $58,1 \pm 2,4$ Ž, výška $176,9 \pm 5,6$ cm M, $170,2 \pm 1,3$ cm Ž, délka lezecké praxe $12,1 \pm 7,1$ let M $9,8 \pm 4$ Ž, výkonnost na škále Union International des Associations d'Alpinisme (UIAA) 6+ až 10 M a 7 až 9 Ž). Lezci podstoupili zkušební lezení na lezeckém ergometru při submaximální zátěži (vertikála, 9 m/min) a stupňovaný lezecký test do subjektivního maxima. Posuzovala se dynamika tkáňové saturace u flexoru digitorum profundus (FDP) a extensoru digitorum communis (EDC) pomocí blízké infra-červené spektroskopie přístrojem MOXY a Portamon.

Výsledky: U 5 z 19 testovaných nebylo možné pomocí záznamu z MOXY určit zlom okysličení. Při srovnání s Portamonem se rozdíl zlomu okysličení pohyboval od 0-9°.

Závěr: Z důvodu nejasného zlomu v okysličení u některých respondentů a malé shody s přístrojem Portamon nelze použít MOXY pro hodnocení zlomu v okysličení při stupňované lezecké zátěži.

Klíčová slova: lezení, NIRS, kyslík

Abstract

Title: Use of MOXY monitor for evaluation of oxygenation of finger flexors during incremental climbing load.

Objectives: The aim of the work was to assess the dynamics of muscle oxygenation using MOXI monitor and Portamon during incremental climbing load

Methods: The test involved 19 individuals (14 male (M) and 5 female (F)), age $29,5 \pm 8,5$ (years) M, $26,5 \pm 5,7$ (years) F, weight $70,2 \pm 7,9$ (kg) M and $58,1 \pm 2,4$ (kg) F, height $176,9 \pm 5,6$ (cm) M, $170,2 \pm 1,3$ (cm) F, length of climbing experience $12,1 \pm 7,1$ years M $9,8 \pm 4$ F, performance on the Union International des scale Associations d'Alpinisme (UIAA) 6+ to 10 M and 7 to 9 F). Climbers underwent test climbing on a climbing ergometer at submaximal load (vertical, 9 m / min) and a incremental climbing test to a subjective maximum. Tissue saturation in the flexor digitorum profundus (FDP) and extensor digitorum communis (EDC) was assessed by near-infrared spectroscopy with a Portamon and MOXY instrument.

Results: In 5 of the 19 tested, it was not possible to determine the oxygenation breakpoint using the MOXY record. Compared to Portamon, the difference in threshold values ranged from 0-9°.

Conclusion: Due to the unclear breakpoint in oxygenation in some respondents and the small agreement with the Portamon device, MOXY cannot be used to evaluate the muscle oxygenation threshold during incremental climbing load.

Keywords: climbing, NIRS, oxygen

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 9 |
| 1. Sportovní lezení | 10 |
| 1.2 Výkon ve sportovním lezení | 13 |
| 1.3 Posuzování výkonu ve sportovním lezení | 15 |
| 2. Charakteristika zatížení..... | 18 |
| 3. Fyziologická odezva organismu na lezení | 20 |
| 3.1 Srdeční frekvence | 20 |
| 3.2 Spotřeba kyslíku | 22 |
| 3.3 Koncentrace laktátu | 23 |
| Hodnocení intenzity vhodné pro lezení | 24 |
| 4.1 Kritický výkon | 25 |
| Lokální (hemodynamická) odezva..... | 27 |
| Shrnutí teoretické části..... | 31 |
| Cíle a metodika práce | 32 |
| Cílem práce bylo posoudit dynamiku svalové oxygenace pomocí MOXI monitoru a Portamonu při stupňované lezecké zátěži. | 32 |
| Metodika práce | 32 |
| Výsledky | 35 |
| Rozdíl mezi viditelným zlomem v okysličení u Moxy a Portamon | 39 |
| Diskuze | 40 |
| Závěr | 43 |
| Použitá literatura: | 44 |

Úvod

Sportovní lezení si získalo popularitu jako rekreační fyzická aktivita i jako závodní sport. V poslední době zažívá lezení velký rozmach. Lezecká centra praskají ve švech. Jsou plná lidí, kteří je navštěvují z různých důvodů: sociálních, „fyzických i psychických“. Někteří se zde setkávají s přáteli a poměřují své síly, jiní prahnou po co nejlepším výkonu a chtějí se neustále zlepšovat, další si chtějí v bezpečných podmínkách užít „dávku adrenalinu“.

Sportovnímu lezení se intenzivně věnuji sedm let. Směr vývoje, kterým se ubírá je fascinující a jsem velmi ráda, že jej mohu velmi podrobně sledovat a zároveň i osobně testovat. Lezení má mnoho podob. Od tradičního, zimního přes drytool, deepwatersolo, solo, pískovcové lezení a mnoho dalších až po sportovní lezení, kterému se budu v této práci věnovat. Spolu se zvyšujícím se zájmem veřejnosti se zvyšuje zájem i ze strany vědců. Snaha pochopit principy adaptací a odpovědí organismu na zátěž v lezení pomáhá zefektivnit trénink a posouvat hranice výkonnosti ještě blíže k lidským limitům.

Popularizaci lezení pomohlo zařazení tohoto sportu do programu olympijských her, které se kvůli koronaviru konají až tento rok. Soutěžní disciplína se v rámci her odklonila od standardu známého ze světového poháru k soutěži v trojkombinaci: lezení na obtížnost, boulderingu a lezení na rychlost. Tato změna přinutila mnoho lezců pozměnit svůj trénink. Očekávaným výsledkem tréninku je maximální dokonalost v disciplíně, na kterou se primárně lezec nezaměřuje. Vychytat co nejvíce chyb a eliminovat slabiny a tím zvyšovat naděje na zlatou medaili.

Ve své práci jsem využila infračervený spektroskop MOXY monitor, protože je dostupnou a levnou variantou, spárovatelnou s hodinkami a může být v budoucnu běžným nástrojem využívaným v lezeckém tréninku. Věřím, že i moje práce může být prvním krokem ke zlepšení pochopení intenzity zátěže v lezení a pomůže rozvoji měření fyziologické odezvy při zátěži i do budoucna.

1. Sportovní lezení

Sportovní lezení je v dnešní době chápáno jako samostatná aktivita zahrnující různé soutěžní lezecké disciplíny, nemusí se však jednat pouze o závodní podobu sportu. „Pod sportovním lezením se dnes schovává řada aktivit – lezení na zajištěných skalách, na umělé stěně, bouldering, soutěžní lezení“ (Baláš, Vomáčko, Frainšic, Šafránek, 2013).

Sportovní lezení vznikalo v různých světových oblastech nezávisle na sobě. K jeho rozšíření nejvíce přispěla výstavba umělých stěn, které se začaly stavět v 80. letech. Ty umožnily lezcům celoroční trénink za stálých podmínek a přiblížily lezení širší veřejnosti, čímž se lezení začalo využívat i pro komerční účely. Výstavba umělých stěn pomohla sjednotit podmínky pro závodníky a lezení již nepodléhalo vlivům počasí. Pod střechy lezeckých center se přesunul i bouldering, což umožnilo jeho zařazení do světového šampionátu.

Pro Diešku a Širla (1989) sportovní lezení neznamenal nic jiného než „nevelehorské“ skalní horolezectví na výkonnostní a vrcholové úrovni, které se později sjednotí s označením „soutěžní“ anebo „závodní“ lezení, což jsou jen jiná označení pro horolezecké disciplíny s přímou soutěží.

Tento jejich pohled v dané době stále chápal sportovní lezení pouze jako podskupinu nadřazeného horolezectví. Postupem času se sportovní lezení začalo akceptovat více jako samostatná aktivita. V novějších publikacích je sportovní lezení označované jako „směr lezení, při němž převládají fyzické problémy nad psychickými. V současnosti je tento způsob lezení velmi populární a umožnil lezení také méně psychicky odolným jedincům“ (Vomáčko, Boštíková, 2002, s.14).

Ve sportovním lezení se soutěží v lezení na obtížnost, v lezení na rychlost a v boulderingu, případně v kombinaci všech tří disciplín. Všechny tyto soutěže zastřešuje organizace ISFC (International Federation of Sport Climbing). Tento rok se ve formátu trojkombinace sportovní lezení objevilo i na olympijských hrách. Výsledek z jednotlivých závodů se násobí a vyhraje ten s nejlepším skóre. Tento typ závodu je často kritizovaný, ale je prvním krokem, díky kterému budeme moci vidět lezení na olympiádě. Pojďme si tedy představit, jak vypadá sportovní lezení v dnešní době a v jakých disciplínách se soutěží.

Bouldering

Lezec v něm bez lana překonává krátký lezecký problém různé obtížnosti, většinou do tří metrů. Aby se zajistila bezpečnost, leze se nad dopadovými matracemi. (Baláš, 2016).

Soutěžící jsou ohodnoceni podle toho, jestli se dostali do zóny nebo topu daného boulderu. Povede-li se to více závodníkům, rozhoduje počet pokusů, je-li stále nerozhodně, výsledek ovlivní pořadí ze semifinále. Přezení boulderu je omezeno časem při libovolném počtu pokusů, které však mohou být rozhodující při posuzování finálních výsledků (IFSC, 2019).

V minulosti rozhodovala ve výkonu v boulderingu především maximální síla. Šlo spíše o to udržet co nejmenší chyty, ustát nejdrobnější stupy. Dnes se v něm objevují dynamické i koordinačně náročné pohyby, které jsou více divácky přitažlivé. Každopádně značně změnily charakter disciplíny na více gymnastický. Proto již nestačí být jenom silný, ale je potřeba mít značně rozvinutou výbušnou sílu a svalovou koordinaci.

Lezení na obtížnost

V této lezecké disciplíně mají závodníci na cestu jen jeden pokus. Výkon je silově-vytrvalostního charakteru, ve kterém hraje značnou roli taktika (výběr chytu z kterého budu cvakat postupové jištění, místo na oddech před náročnější pasáží...). Do výsledku hodnocení se počítá počet dosažených chytů. V případě, že se podaří vylézt cestu několika závodníkům, rozhoduje pořadí ze semifinále. Na splnění cesty je časový limit 6 min.

V lezení na obtížnost i v boulderingu mají závodníci před samotným lezením prostor na observaci cesty/boulderu (ve finále 6 min při lezení na obtížnost a 2 min na každý boulder při boulderingu) (IFSC, 2019).

Lezení na rychlost

Soutěžící jsou řazeni podle času potřebného k vylezení standardní trasy. Měření je elektronické, měří se čas od odšlápnutí nohy ze země až po dotek čidla na konci cesty.

Kombinace

Soutěžící jsou seřazeni na základě jejich celkového výkonu ve třech kolech, rychlost, boulder a lezení na obtížnost. V tomto pořadí (IFSC, 2019).

1.2 Výkon ve sportovním lezení

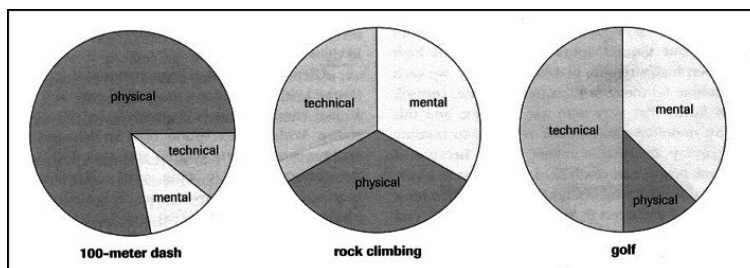
V každém sportu je celkový výkon složený z dílčích komponentů. Ve výzkumu Sancheze et al. (2019) se ve strukturovaných rozhovorech ptali zkušených lezců na faktory, o nichž se domnívají, že ovlivňují výkon lezení. Zkušeným lezcem se míní takový lezec, který zvládá obtížnostní skupinu 7a+ až 8b stylem OS – on sight, tedy na první pokus cestu, o které nemá žádné informace, nikdy ji nelezl a nenacvičoval. Zároveň je takový lezec registrovaný jako lezecký instruktor. Z výsledku výzkumu vyplývají tyto faktory: přezení obtížného místa (cruxu), aspekty síly a kondice, interakce s prostředím, vlastnění dobrého repertoáru lezeckých pohybů, risk management, plánování cesty, duševní rovnováha, komunikace s ostatními lezci a náhled trasy. Genetická podmíněnost je při každé komponentě jiná. Zdá se, že genetika může hrát důležitou roli v některých komponentách výkonu.

Výzkumy, které se zabývají tím, do jaké míry je výkon ve sportu podmíněn genetickými faktory, poukazují na velkou komplexnost tématu protichůdnými teoriemi a objevy mezi vědci. Genetické faktory umožňující vrcholové lezecké výkony jsou těžko pozorovatelné. Jedná se např. o uchycení šlachy na kosti: mírný posun v umístění proti normálu poskytuje delší páku. To dává několika jedincům sílu sevření prstů, kterou by jiní dosáhli během let tréninku. Dále se jedná o délku kostí, typ svalových vláken a hormonální profil, který se u každého liší (Bloomfield, 1994).

„Zatímco některé studie upozorňují na to, že úmyslný trénink je nejdůležitější komponenta určující výkon, další tvrdí, že geny jsou z poloviny zodpovědné za výkon mezi jednotlivci“ (Hörst, 2016, str. 8).

V praxi se zdá, že žádná z těchto studií není jednoznačně správná. Genetika hraje největší roli ve sportech, kde fyzická komponenta má o dost větší podíl na výkonu než komponenty technické nebo psychické. Na příklad sprint (běh na 100 m) vyžaduje extrémní explozivní sílu, ale atlet si vystačí se základními psychickými a technickými dovednostmi. Naproti v golfu jsou fyzické požadavky o dost méně pozoruhodné, ale vyžaduje se dokonalé zvládnutí široké škály různých technik pohybů a udržení klidné mysli. Z toho vyplývá, že v každém sportu hraje genetika jinou roli, avšak hodiny úmyslného tréninku jsou nezbytností při výkonu na vrcholné úrovni v komplexních (technických a psychických) sportech. Genetika je prekvizita pro dosažení vrcholných výkonů v nejvíce fyzických činnostech jako je běh a zvedání těžké váhy. Lezení je mezi

sporty unikátní, vyžaduje totiž téměř stejnou míru psychických, technických a fyzických schopností (viz obr.1.) (Hörst, 2016).



Obrázek 1: Fyzické, psychické a technické komponenty ovlivňující výkon v různých sportech podle Hörsta (2016)

Model struktury výkonu ve sportovním lezení představili i Goddard a Neumann (1993). Faktory ovlivňující lezecký výkon v něm rozdělují do šesti kategorií: vnější podmínky, koordinaci a techniku, taktické aspekty, tělesnou zdatnost, psychické aspekty, zázemí a jiné faktory. Modely jsou však pouze teoretické.

„Ukazuje se, že tréninkem ovlivnitelné faktory vysvětlují největší část variability lezeckého výkonu. U výkonnostně heterogenních skupin jsou nejvýznamnějšími prediktory maximální síla i svalová vytrvalost flexorů prstů, dynamická a statická síla horních končetin, dále tělesná hmotnost a procento tělesného tuku. Důležitou, ovšem méně významnou roli hrají flexibilita v kyčelním kloubu a rovnováha. Pro homogenní skupiny elitních lezců s vysokým rozvojem silových předpokladů nejsou zmiňované komponenty rozlišovací a je třeba hledat vhodné, lezecky specifické testy“ (Baláš, 2016, str.70).

Délka lezecké praxe a objem tréninku se mohou projevit na sportovním výkonu, jestli jsou doprovázeny odpovídajícím transferem do lezecké techniky, síly horných končetin apod.

Psychické, technické a taktické faktory, lezecké podmínky a jiné též do značné míry ovlivňují výkon ve sportovním lezení, jimi se však v této práci nebudeme zabývat.

1.3 Posuzování výkonu ve sportovním lezení

„Hodnocení lezeckého výstupu je velmi komplexní, zcela subjektivní, a proto také problematické. Kromě zásadních kritérií (délka výstupu, převislost cesty, velikost a množství chytů) hraje také roli styl přezení, aktuální klimatické podmínky, stav cesty, ale rovněž také vzdálenost mezi fixními jištěními a jejich kvalita. Srovnávat bouldering s lezením s lanem je také spekulativní, neboť se jedná o dvě odlišné disciplíny.“ (Baláš,2016, str.48,50).

Obtížnost cest je na skalách určovaná prvovýstupcem, který navrhne obtížnost a zkonzultuje cestu s jinými lezci, kteří danou cestu zdolali po něm. Na umělých stěnách stavěcí cesty obvykle navrhne její obtížnost, která může být následně upravená volným hlasováním lezců po přezení cesty. V Evropě se na stěnách, skalách i lezeckých průvodcích využívají nejvíce klasifikační škály UIAA a Francouzská. Může se objevit i Skandinávská. V Anglii zahrnuje tato škála i slovní popis celkové náročnosti a technickou obtížnost cesty, tato stupnice se používá pro tradiční lezení. V jiných částech světa se vytvořily stupnice jako jsou Yosemitejská (USA, Kanada), Ewbankova (Austrálie, Jižní Afrika, Nový Zéland) a Brazilská na území Jižní Ameriky (Baláš, 2016).

Při převodu musíme brát také v potaz to, o jaký typ a styl lezení se jedná. V tab.1 můžeme vidět i rozdělení lezecké výkonnosti mužů a žen podle jednotlivých výkonnostních kategorií. Je vidět, že u žen jsou elitní výkonnostní stupně posunuty trochu níže než u mužů. Mohou za to rozdílné tělesné složení a antropometrické ukazatele (Baláš, 2016).

Od doby, kdy Baláš (2016) tabulku publikoval se lezecká výkonnost posunula. V roce 2017 vylezl Adam Ondra první cestu obtížnosti 9c, Silence. V roce 2020 se k němu přidal ještě jeden lezec Alexander Megos, který svůj přelez cesty Bibliographie označil také 9c. Žádná z cest zatím nemá opakování, takže až budoucnost ukáže, jestli navrhovaná obtížnost zůstane nebo ne.

Převodních tabulek (Tab.1) můžeme využít pro srovnávání lezecké výkonnosti.

Tabulka 1: Srovnávací tabulka lezeckých obtížností pro lezení s lanem (Baláš, 2016).

| Lezecká výkonnost (muži) | USA | Francouzská | Britská tradiční | | Ewbankova | Saská | UIAA | UIAA metrická | Wattsova | Lezecká výkonnost (ženy) | |
|--------------------------|-------|-------------|------------------|----|-----------|-------|------------|---------------|----------|--------------------------|---------------------|
| Nižší výkonnost | 5,1 | 1 | D | 1 | 9 | I | I | 1,00 | | Nižší výkonnost | |
| | 5,2 | 2 | VD | 2 | 10 | II | II | 2,00 | | | |
| | 5,3 | 3 | HVD | 3a | 11 | III | III | 3,00 | | | |
| | 5,4 | 4a | S | 3b | 12 | IV | IV | 4,00 | | | |
| | 5,5 | 4b | HS | 4a | 13 | V | IV+ | 4,33 | | | |
| | 5,6 | 4c | VS | 4b | 14 | VI | V | 5,00 | 0,00 | | |
| | 5,7 | 5a | VS | 4c | 15 | | V+ | 5,33 | 0,25 | | |
| | 5,8 | 5b | HVS | 5a | 16 | VIIa | VI- | 5,66 | 0,50 | | |
| | 5,9 | 5c | E1 | 5b | 17 | VIIb | VI | 6,00 | 0,75 | | |
| Pokročilí lezci | 5.10a | 6a | E1 | 5b | 18 | VIIc | VI+ | 6,33 | 1,00 | Pokročilí lezci | |
| | 5.10b | 6a+ | E2 | 5c | 19 | VIIIa | VII- | 6,66 | 1,25 | | |
| | 5.10c | 6b | E2 | 5c | 20 | VIIIb | VII | 7,00 | 1,50 | | |
| | 5.10d | 6b+ | E3 | 6a | 21 | VIIIc | VII+ | 7,33 | 1,75 | | |
| | 5.11a | 6c | E3 | 6a | 22 | | VII+/VIII- | 7,50 | 2,00 | | |
| | 5.11b | | E4 | 6b | 22 | | | 7,50 | 2,25 | | |
| | 5.11c | 6c+ | E4 | 6b | 23 | IXa | VIII- | 7,66 | 2,50 | | Výkonnostní lezci |
| | 5.11d | 7a | E4 | 6b | 23 | IXb | VIII | 8,00 | 2,50 | | |
| Výkonnostní lezci | 5.12a | 7a+ | E5 | 6b | 24 | IXc | VIII+ | 8,33 | 2,75 | Výkonnostní lezci | |
| | 5.12b | 7b | E5 | 6c | 25 | | VIII+/IX- | 8,00 | 3,00 | | |
| | 5.12c | 7b+ | E6 | 6c | 26 | Xa | IX- | 8,50 | 3,25 | | |
| | 5.12d | 7c | E6 | 6c | 27 | Xb | IX | 9,00 | 3,50 | | |
| | 5.13a | 7c+ | E7 | 7a | 28 | Xc | IX+ | 9,33 | 3,75 | | Elitní lezci |
| | 5.13b | 8a | E7 | 7a | 29 | | IX+/X- | 9,50 | 4,00 | | |
| Elitní lezci | 5.13c | 8a+ | E7 | 7a | 30 | XIa | X- | 9,66 | 4,25 | Elitní lezci | |
| | 5.13d | 8b | E8 | 7a | 31 | XIb | X | 10,00 | 4,50 | | |
| | 5.14a | 8b+ | E8 | 7a | 32 | XIc | X+ | 10,33 | 4,75 | | |
| | 5.14b | 8c | E9 | 7a | 33 | | X+/XI- | 10,50 | 5,00 | | Vysoce elitní lezci |
| | 5.14c | 8c+ | E9 | 7b | 34 | XIIa | XI- | 10,66 | 5,25 | | |
| Vysoce elitní lezci | 5.14d | 9a | E10 | 7b | 35 | XIIb | XI | 11,00 | 5,25 | Vysoce elitní lezci | |
| | 5.15a | 9a+ | E10 | 7b | 36 | | XI+ | 11,33 | 5,75 | | |
| | 5.15b | 9b | E11 | 7b | 37 | | XI+/XII- | 11,50 | 6,00 | | |
| | 5.15c | 9b+ | E11 | 7b | 38 | | XII- | 11,66 | 6,25 | | |

Rozdíly při výstupech zohledňují styly přezení sportovní cesty. Rozlišuje se, zda už lezec danou cestu předtím lezl nebo ji viděl někoho lézt, jestli od začátku cesty až po její konec postupoval vlastními silami nebo si po cestě odsednul a odpočinul. Pro přiblížení uvádím nejzákladnější styly přezení: přezení AF (all free), znamená že lezec dosáhne vrchol cesty, ale během cesty odpočívá v postupových bodech, přezení RP (rotpunkt, red point) znamená přezení bouldru anebo cesty v kuse od jejího začátku až po konec po předcházejícím nacvičení, přezení OS (on sight), kdy lezec vyleze na první pokus cestu, kterou před tím nikdy nelezl, nenacvičoval a neměl o cestě žádné informace. Pokud by měl lezec předcházející informace o přezení jednalo by se o styl flash. Při lezení s vrchním lanem bez cvakání postupového jištění se jedná o TR (top rope) lezení. Největší hodnotu má mezi lezci styl OS a flash, který prověřuje i schopnost okamžitého přizpůsobení se situaci, správného přečtení cesty, volbě adekvátní techniky a taktiky (místo odpočinku v cestě, chyt, ze kterého bude lezec cvakat postupové jištění atp.).

2. Charakteristika zatížení

Zatížení v lezení stejně jako v jiných sportech je dáno jeho objemem, intenzitou a dobou odpočinku. Objem zatížení je nejčastěji kvantifikovaný jako čas lezení, množství nalezených metrů nebo počet lezeckých kroků (pohyb rukama z jednoho chytu na druhý). Pro hodnocení intenzity se nejčastěji používají kvalifikační stupnice. Ty odrážejí celkovou náročnost výstupu. Cesty se stejným hodnocením však mohou mít různé metabolické nároky na tělo (dlouhá cesta s mírně silovými kroky může mít stejnou obtížnost jako cesta krátká silová) (Baláš, 2016).

Další možností propagovanou Köstermeyerem (2014) je využití subjektivní škály pro posuzování intenzity. Výhodou je, že zahrnují aktuální fyzický i psychický stav.

Při lezení s lanem i boulderingu je lezecký výkon v podobě intermitentního zatížení, to znamená, že se střídají dynamické a statické fáze krokového cyklu. Dynamické fáze slouží k vlastnímu pohybu, statické fáze pak slouží k odpočinku a promyšlení dalšího postupu v cestě. Při lezení s lanem jsou statické fáze delší než v boulderingu. Zabírají 30-70 % času, zatím co při boulderingu představují 25 % celkového času lezení (Baláš, 2016).

Rozdílný je i čas kontaktu s chytem, který se v lezení na obtížnost pohybuje kolem 10 - 12 s (Donath et al. 2013). Při boulderingu je tento čas o něco kratší, je to převážně v rozmezí $7,9 \pm 1,3$ s (White a Olsen 2010).

Charakteristické zatížení pro lezení s lanem trvá 2-7 minut. Na skalách se čas výstupu zvyšuje až na 15-20 min. V jedné cestě uděláme převážně o 20-30 kroků v rámci jedné lezecké cesty (Baláš, 2016). V soutěžním lezení na obtížnost se lezou dvě neidentické kvalifikační cesty, jedna semifinálová a finálová cesta, obě stylem OS. Minimální délka cesty je alespoň 15 metrů a lezec musí cestu stihnout vylézt do 6 min. Mezi kvalifikačními cestami musí být časový rozestup aspoň 50 minut, jestliže jsou soutěžní kola v jeden den tak alespoň dvě hodiny (ISFC, 2019).

Lezecký výkon při lezení s lanem i boulderingu je v podobě intermitentního zatížení, kdy se střídají dynamické a statické fáze krokového cyklu. Během dynamických fází dochází k vlastnímu pohybu, statické fáze pak slouží k odpočinku a načtení dalšího postupu v cestě (Baláš, 2016).

Bouldering je charakteristický délkou lezení kolem 10-20 vteřin. Má nižší nároky na vytrvalost flexorů prstů, kdežto nároky na jejich maximální sílu jsou vyšší než-li při lezení na obtížnost. Při tomto druhu lezení se také využívá intermitentní kontrakce flexorů prstů, avšak s mnohem nižším počtem opakování (Baláš, 2016).

Soutěžní bouldering má řazení jednotlivých kol jako lezení na obtížnost. V kvalifikaci se leze 5 boulderů a v semifinále a finále kole 4 bouldery. Ve speciální situaci se může rozhodnout o zrušení jednoho bouldery z každého kola. Maximální počet chytů na jednom bouldery je 12, v průměru by se měl pohybovat mezi 4 až 8 chytů na boulder (ISFC, 2019).

Cílem závodníka je dolézt do posledního chytu, tzv. topu, na co nejmíň pokusů. V případě nedosažení topu může získat závodník alespoň nějaké body držení tzv. zóny, což je chyt zhruba v polovině bouldery po první náročné části. Čas na vylezení bouldery je v kvalifikaci 5 minut a v semifinále a finále 4 minuty. Po nezdařeném pokusu může závodník v průběhu daného času opět nastoupit k novému pokusu. Doba odpočinku mezi bouldery je ekvivalentní jako čas k lezení.

Lezení na rychlost je disciplína pouze soutěžního charakteru. Lezení na rychlost je marginální disciplínou, co se týče počtu aktivních sportovců, zájmu výzkumníků v oblasti lezení i mé práce. Pro to se charakteristikou zatížení v této oblasti nebudu více zabývat.

Při lezení na obtížnost i boulderingu se nejvíce zapojují svaly flexorů předloktí a pletence ramenního, avšak při obtížnosti se kladou nároky spíše na silovou vytrvalost, zatímco v boulderingu převládají faktory vyžadující produkci maximální síly. Styl boulderů v soutěžích se v průběhu času měnil. V dnešní době se v nich často vyskytují dynamické kroky, které zvyšují nároky na výbušnou sílu dolních končetin a koordinaci (Baláš, 2016).

3. Fyziologická odezva organismu na lezení

Podle Burnleyho a Jonesa (2007) můžeme intenzitu déletrvajícího cvičení dělit na :

- Lehkou až střední intenzitu (pod laktátovým prahem (LP)/aerobním prahem)
- Vysokou intenzitu (mezi LP a setrvalém stavem laktátu (MLSS) případně kritickým výkonem)
- Velmi vysokou intenzitu (ta je mezi kritickým výkonem a nejvyšší intenzitou vyvolávající maximální spotřebu kyslíku VO_{2max})
- Extrémní zatížení (nad VO_{2max})

URČOVÁNÍ INTENZITY V LEZENÍ

V mnoha sportech srdečně-cévní systém reflektuje celkovou úroveň zatížení. Srdeční frekvence (SF) se zvyšováním intenzity zatížení stoupá a naopak, což současně odráží i podíl aerobních a anaerobních procesů při cvičení. V laboratorních podmínkách mohou být ukazatele intenzity zatížení i fyziologické proměnné jako je spotřeba kyslíku, koncentrace laktátu v krvi a jiné (Perič, Dovalil, 2010).

3.1 Srdeční frekvence

Jeden z nejčastějších prostředků k monitorování intenzity zátěže ve sportu je srdeční frekvence (SF), která však může být v lezení více než v jiných sportech ovlivněna kombinací fyzikálních a psychologických faktorů. Styly lezení (RP vs. TR) mohou mít různý dopad na fyzické, kognitivní a emocionální požadavky, které lezec zažívá i když leze stejnou cestu. Lezení je tedy z velké části ovlivněno emotivní složkou. Zvýšení srdeční frekvence je zapříčiněno zejména stresovými hormony (Hodgson et al. 2009, Benson, Connolly, 2012).

Intermitentní práce svalů a výrazné zapojení horních končetin při lezení může ovlivnit vztah SF a spotřeby kyslíku (VO_2). Využití srdeční frekvence k odhadu aerobních požadavků lezců je tedy diskutabilní (MICHIKAMI et al. 2002; Limonta et al. 2018). Balas et al. (2014) ve své studii zkoumali rozdíly mezi submaximální a maximální fyziologickou odpovědí na lezení pro lezce různých schopností. Přišli na to, že lezecká úroveň, kterou lezci nahlásili, negativně korelovala s minutovou spotřebou kyslíku a SF během submaximálního testu v 90° sklonu. To naznačuje, že

lepší lezecká technika a zdatnost vykompenzuje zvýšenou poptávku zlepšenou ekonomikou cvičení, což opět vede k prodloužení času do vyčerpání a zlepšení výkonu.

S rostoucí úrovní obtížnosti lezení se zvyšuje i srdeční frekvence a VO_2 . Ve srovnání s VO_2 však dochází k nepřiměřenému nárůstu srdeční frekvence. Tato skutečnost se připisuje během lezení intermitentním izometrickým kontrakcím svalstva paže a spoléháním se na anaerobní a aerobní metabolismus (Sheel et al. 2003). Analýza odpovědí SF a VO_2 ukázala, že lezení nevyvolává tradiční lineární vztah mezi těmito ukazateli, charakteristický pro běžecký pás a cvičení na cyklickém ergometru. SF se během tří lezeckých pokusů (na lehké střední a těžké cestě) zvýšila na 74–85% předpovězených maximálních hodnot a energetický výdej byl podobný jako u běhu mírným tempem (8–11 minut na 1 609,34 m – 1 míli) (Mermier et al. 1997).

Izometrickými kontrakcemi mohou lezci stimulovat chemické aferenty prostřednictvím takzvaného svalového metaboreflexu. Ten je iniciován hypoxií, nižším pH a metabolity ve svalové tkáni. Metaboreflex vyvolává sympaticky zprostředkovanou odezvu, která se skládá ze zvýšené srdeční frekvence, ventrikulárního výkonu, mobilizace centrálního objemu krve a srdečního výdeje, vazokonstrikce v ledvinách a neaktivních kosterních svalech a zvýšeného systémového arteriálního tlaku (Sheel 2004). Dalším vysvětlením vyšší než očekávané srdeční frekvence během lezení je účinek polohy paže. Během lezení jsou paže často drženy nad úrovní srdce. Poloha paží také přispívá k zvýšení SF a systolického tlaku (Astrand et al. 1968). Srdeční frekvencí tedy hodnotíme v lezení nejenom intenzitu zatížení, ale i hůře kvantifikovatelné faktory (emoce, statické kontrakce a polohu paží nad úrovní srdce). Tradiční vztah SF- VO_2 by se tedy neměl používat při analýze tohoto sportu ani k předepisování intenzity cvičení pro lezení.

Lezecké zkušenosti se projevují v taktice a technice lezení cesty. Nesprávně zvolená technika se projeví v ekonomice pohybu, takže má vyšší energetickou náročnost. To znamená, že při lezení identické cesty, by mohl mít lezec s delší zkušeností nižší kardiorespirační odezvu.

3.2 Spotřeba kyslíku

Maximální spotřeba kyslíku na lezeckém ergometru (VO_{2peak}) byla významně spojená s nejvyšším dosaženým RP výkonem. Po přizpůsobení věku a horolezecké zkušenosti (roky), zvýšení o $1 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ významně asocioval s nárůstem obtížnosti RP výstupu. Zatím co VO_{2max} z běžického ergometru nikoli. Index oxidační kapacity, maximální deoxygenace svalu při lezení na lezeckém ergometru a VO_{2peak} vysvětlili 67,1% rozptylu v RP výkonu (Fryer et al. 2017). Při izolování ostatních proměnných jako je rychlost lezení, velikost, tvar a rozmístění chytů se přibývajícím sklonu cesty projeví na vyšší funkční odezvě organismu. VO_2 se při lezení v 112° oproti kolmé stěně zvýšila o 34 % a ve sklonu 132° byla vyšší dokonce o 66 % (Baláš, 2016)

„Tento lineární nárůst může být vyjádřen rovnicí (kde x je sklon stěny ve stupních):

$$VO_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) = 0,3734x - 9,9209; (R^2 = 0,99)“ \text{ (Baláš, 2016, str.151)}$$

Zvyšování sklonu však nevede k vyvolání maximální lezecky specifické VO_2 (Baláš, Panáčková, Strejcová et al. 2014). Plató VO_2 je bez ohledu na lezeckou výkonnost dosahované kolem $40 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, lepší lezci ho ale dosáhnou ve větším sklonu. Dosažená hodnota VO_{2peak} , byla výrazně nižší než na běžickém ergometru.

Stanovit systémové a lokální kyslíkové reakce svalů během izolované flexe prstů a stupňovaných testů lezení do vyčerpání se snažil Balas et al. (2021). Hraniční bod okysličení svalů (MOB) byl identifikovatelný během stupňovaného testu na lezeckém ergometru ($82 \pm 8 \%$ a $88 \pm 8 \%$) při minutové spotřebě kyslíku. Nejvyšší dosažený sklon lezení spolu s průměrem minutové spotřeby kyslíku a saturace FDP kyslíkem, při submaximálním lezení vysvětlil 83 % rozptylu schopnosti lezce.

I když není rychlost v lezení speciálně trénována, lezci s vyšší výkonností dosáhnou v testu se zvyšující se rychlostí delšího času výdrže. Výkonnostně slabší lezci dosáhli spotřeby VO_{2peak} hodnot kolem $44 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Když byl stejný protokol použitý na výkonnostně lepší lezce, ti dosáhli spotřeby $54 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. muži a $49 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. ženy. To nasvědčuje tomu, že nejvyšší dosažená spotřeba kyslíku je při protokolu do rychlosti v přímém vztahu s lezeckou výkonností (España-Romero et al. 2009). Co se týče různých stylů lezení, u elitních lezců není rozdíl v kardiorespirační odezvě mezi RP a TR výstupem. Při obou typech přeletu, bude jejich funkční a psychická odezva podobná. U lezců nižší výkonnosti se při RP přeletu významně

zvýší úroveň kognitivní a somatické úzkosti co se projeví na mírně vyšší spotřebě kyslíku (Aras a Akalan 2014).

3.3 Koncentrace laktátu

V lezení se značně zapojuje anaerobní laktátový systém. Zvýšená produkce laktátu je hlavně ve svalech předloktí, čemu napomáhá také již zmiňovaná poloha paží nad úrovní hlavy (Astrand et al. 1968).

Po středním až těžkém lezení testovaní uváděli únavu předloktí bez souběžné únavy nohou. Během lezení ve větším slonu může být produkce laktátu v předloktí, (laktát tvoří hlavně malé svalové skupiny) a tak celková hodnota laktátu nedosahuje vysokých hodnot (Mermier et al. 1997).

Ve své studii Watts a Drobish (1998) poukázali na to, že nepřetržité lezení po strmém terénu (80-101°) představuje „velmi těžkou“ pracovní výzvu, v průměru 8,4-9,0 ekvivalentů metabolismu, bez ohledu na úhel. Při stejné srdeční frekvenci je navzdory podobnému hodnocení vnímání námahy a množství laktátu, je relativní intenzita cvičení vyvolaná simulovaným lezením nižší.

S vysokou lezeckou výkonností je spojená schopnost udržet vysokou lokální kapacitu krevního laktátu, i když jsou jeho celkové hodnoty nízké (Billat et al. 1995).

Lezci s dobrou úrovní silové vytrvalosti vykazují menší sklon laktátové křivky, který je skoro až lineární. Posuzování laktátu má význam v longitudiálních, průřezových a retrospektivních studiích, nemá však význam k určení tréninkových intenzit (Schoffl et al. 2006). Krevní laktát se zvyšuje se sklonem, rychlostí, lezením obtížnějších cest a při vertikálním pohybu oproti traverzování. V lezení produkují laktát hlavně malé skupiny svalů, ať už se jedná o svaly předloktí nebo pletence ramenního. Proto u lezců maximální hladina laktátu nedosahuje hodnot typických pro anaerobně-glykolytické aktivity (Baláš, 2016). Dynamika změn koncentrací laktátu závisí na svalové zátěži (místní svalové úsilí), odbavení laktátu a technických případně taktických dovednostech horolezce (Magiera et al. 2018).

Funkční odpověď organismu na lezení může být různá. Závisí na faktorech jako je obtížnost cesty, její sklon, styl a rychlost lezení i zkušenost lezců. Při lezecké zátěži můžou vzniknout disproporce týkající se respiračního koeficientu, minutové ventilace

a krevního laktátu. Ze studií tedy vyplývá, že tyto markery nejsou nejvhodnějším způsobem určování intenzity zatížení v lezení.

Hodnocení intenzity vhodné pro lezení

Dalším způsobem, kterým lze určit intenzitu zatížení v lezení, je infračervená spektroskopie. Baláš et al. (2018) potvrdili, že u lezců křivka na grafu naměřená infračerveným spektroskopem (NIRS), jako taková poskytuje spolehlivé měřítko deoxygenace a reoxygenace intermitentních kontrakcí až do selhání flexorů předloktí. Stanovit systémové a lokální reakce kyslíku ve svalech během izolované flexe prstů i při stupňujícím se lezeckém testu do vyčerpání se věnovali ve své studii Baláš et al. (2021). Zjistili, že jak systémová tak i svalová kinetika kyslíku určují vytrvalost specifickou pro lezení. Vyčerpávající lezení a izolované vytrvalostní testy flexorů prstů spolu souvisejí a jsou vhodné k posouzení vytrvalosti specifické pro lezení.

4.1 Kritický výkon

Kritický výkon (CP) byl původně definován jako externí výkon, který je možné udržovat neomezeně dlouho nebo velmi dlouho bez únavy (Place et al. 2009). Tato definice je však čistě teoretická, protože víme, že žádné cvičení není možné dělat donekonečna.

V dnešní době se CP považuje za nejvyšší rychlost metabolismu vedoucí k úplnému poskytnutí oxidační energie. Přitom se zohledňuje aktivní organismus jako celek. To znamená, že dodávka energie prostřednictvím fosforylace na úrovni substrátu dosahuje ustáleného stavu, takže nedochází k progresivní akumulaci laktátu v krvi nebo k rozpadu intramuskulárního fosfokreatinu (PCr). Znamená to, že rychlost produkce laktátu v aktivním svalu odpovídá jeho rychlosti odbourávání ve svalech a jiných tkáních. Je důležité si však uvědomit, že při odhadu CP vždy dochází k chybě a že se může každý den mírně lišit (Smith a Hill 1993).

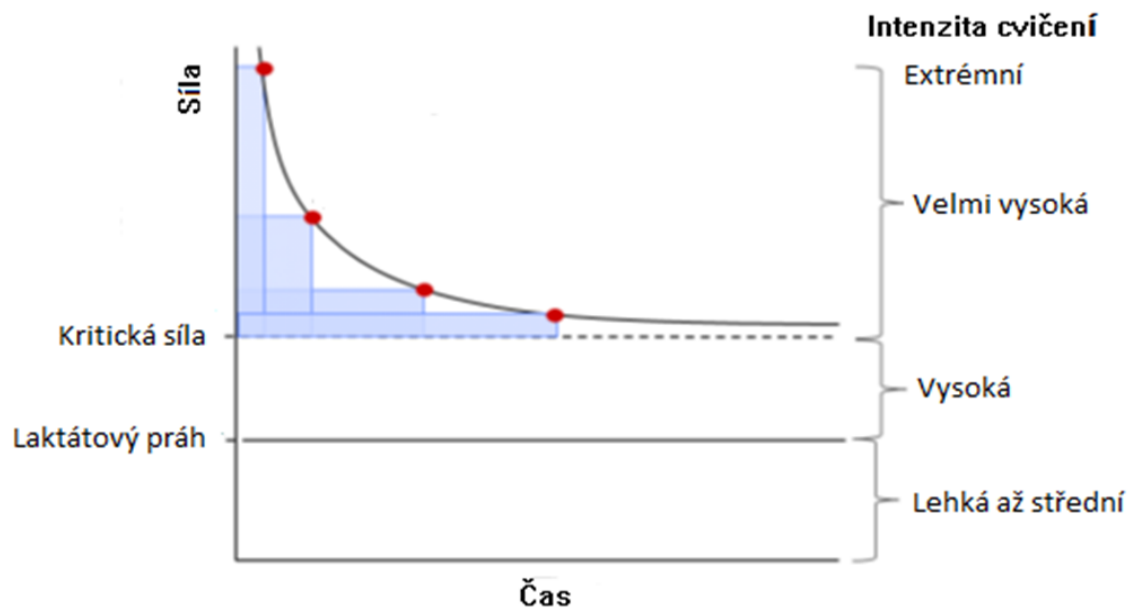
„Kritický výkon byl navržen jako intenzita nad LP, který lze vydržet po dobu ~20-30 min. kritický výkon je velmi individuální a odpovídá ~70-90 % VO_{2max} . Získává se z 2-10 testů s dobou trvání 1-30 min“ (Baláš, 2016, str.122).

Fyziologicky CP představuje hranici mezi doménami intenzity cvičení v ustáleném a nestacionárním stavu, a proto může poskytovat smysluplnější index výkonu než jiné známé mezníky aerobní zdatnosti. Jako je prahová hodnota laktátu a maximální absorpce kyslíku. (Vanhatalo et al. 2011).

CP je definovaný jako maximální práce, kterou může svalová skupina udržet delší dobu bez přerušení, zatímco pracovní kapacitu nad CP označujeme W' (často se označuje jako zásoba energie) (Poole et al. 2016). Zatím co CP je omezený dostupností oxidačních substrátů (glykogenu), hypertermiou a centrální únavou, W' je omezené progresivním vyčerpáním vysoko energetických fosfátů a akumulací metabolitů spojených s periferní únavou (Jones et al. 2008). Jestli že výstupní výkon (P) bude značně nad CP, konstantní množství práce představovaná parametrem W' bude rychle použito a čas do vyčerpání (T_{lim}) bude krátký. Jestli P bude blíže k CP, pak W' bude využita pomaleji, což znamená, že T_{lim} bude delší. Předpokládá se, že W' je konstantní pro všechny P nad CP, to znamená, že absolutní výkon cvičení závisí na hodnotě CP (ve

Watttech) a hodnotě W' (v joulech). Oba parametry se můžou u jednotlivců lišit v závislosti na zdraví, věku kondici a tréninku (Vanhatalo et al. 2011).

Když je čas T_{lim} vyneseny proti konkrétním výkonům nebo rychlostem vztah je hyperbolický, při čemž schopnost udržet cvičení klesá ostřeji při vyšší ve srovnání s nižšími výkony.



Obrázek 2: Hyperbolický vztah mezi časem do vyčerpání a silou. W' je konstanta zakřivení (označená obdélníkovými rámečky nad CP a vyjádřená v kJ) (přeloženo od Lucie Malečkové z Poole et al., 2016)

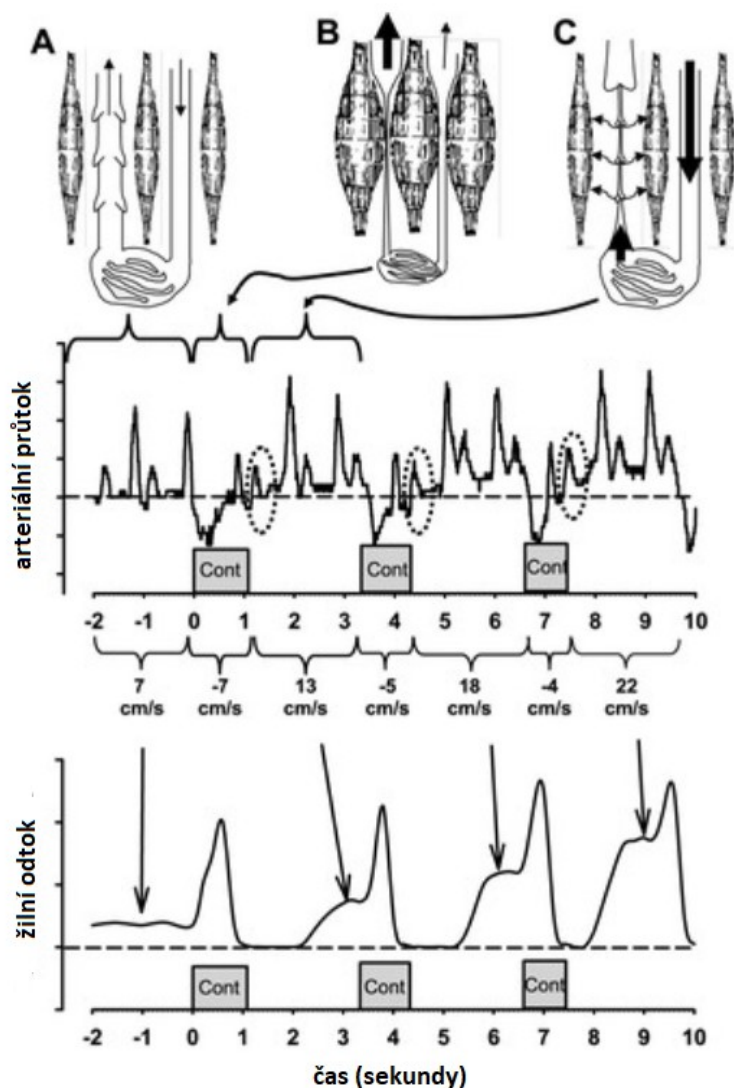
Lokální (hemodynamická) odezva

Mezi primární funkce oběhového systému, který se skládá ze srdce a rozsáhlého rozvětveného systému cév obsahujících krev, je transport kyslíku, živin a dalších látek a tepla po celém těle. Termín „hemodynamika“ označuje základní měřítka kardiiovaskulárních funkcí jako je arteriální tlak nebo srdeční výdej. Zahrnuje i fyzické studium proudící krve a všech pevných struktur (jako jsou tepny a žíly), kterými protéká. Podle této definice je kladen důraz na mechaniku tekutin a pevných látek systému, ačkoli mnoho biologických procesů má důležité interakce s hemodynamickými efekty. Do hemodynamiky také patří charakteristické vlastnosti toku krve v žilách včetně změn v průtokových vlastnostech krve a nerovnoměrné distribuce hematokritu v sítích mikrocév (Secomb, 2016).

Krevný průtok se při zátěži zvyšuje z důvodu pokrytí metabolické potřeby pracujících svalů. Perfuze krve svalovou tkání při cvičení u trénovaného jedince činí 400ml za minutu na 100g tkáně, kdežto u netrénovaného asi 250ml za minutu (Saltin 2007).

Je zřejmé, že se u dobře trénovaných lezců významně adaptuje periferní cévní systém, a to jak v rámci strukturálních adaptací, tak byl pozorovaný relativně větší průřez cév, který je diktován více lokalizovanými efekty (Rowley et al. 2011). I podle Ferguson a Brownové (1997) měli lezci lepší krevní průchodnost v předloktí než nelezci, což vysvětlovalo jejich zvýšenou vazodilatační kapacitu. Ta může být způsobena lokální strukturální adaptací krevního řečiště (nebo větší kapacitou vlásečnic, zvýšení příčného průřezu) nebo funkční adaptací na úrovni různých mechanismů: svalových, metabolických, neurálních či endotelových kontrolních mechanismů.

Pozoruhodnou charakteristikou adaptace průtoku krve na začátku cvičení je okamžitá a vazodilatační odpověď během několika prvních (0-5 s) sekund, která je v přímém vztahu se svalovou aktivací a lokálním arteriálním tlakem (Tschakovsky a Sheriff 2004). V poloze paže nad úrovní srdce byly hodnoty krevního průtoku významně nižší, což je běžná situace při lezení. Z předchozího textu tedy vyplývá, že vyklepávání paže pod úrovní srdce stimuluje krevní průtok a tím vytváří předpoklady k rychlejšímu svalovému zotavení.



Obrázek 3: ukazuje typickou reakci na nástup intermitentních kontrakcí předloktí pozorovaných v laboratoři (přeloženo z Tschakovsky a Sheriff 2004)

Nedávný výzkum ukázal, že vytrvalost flexoru předloktí u elitních horolezců nezávisí na schopnosti regulovat průtok krve brachiální tepnou, což naznačuje, že vytrvalost není primárně závislá na schopnosti brachiální tepny dodávat kyslík, ale spíše na schopnosti svalu k prokrvení a využití kyslíku, tj. oxidační schopnosti kosterního svalu. Index oxidační kapacity ve FDP stanoven výpočtem poločasu pro tkáňovou resaturaci kyslíku v tkáni (O_2HTR) po 3–5 minutách ischémie odhalil, že pokles O_2HTR o 1 s byl spojen se zvýšením stupně RP přelezu. Toto zjištění naznačuje, že index oxidační kapacity flexoru předloktí je důležitým faktorem výkonu při lezení (Fryer et al. 2016).

Když se lezci srovnávali s nelezeckou populací v kontinuálním vise na liště a intermitentním vise 10/3 s při 40 % maximální volní kontrakce (MVC). Horolezci

měli vyšší průměrnou MVC, integrál síla-čas, používaný jako měřítko vytrvalosti specifické pro lezení, byl větší u lezců v přerušovaném testu, ale ne v kontinuálním. Zotavení okysličení předloktí během klidových fází (přerušovaný test) vysvětlilo 41,1% variability integrálu síla - čas. To naznačuje, že okysličování svalů během fází odpočinku je prediktorem vytrvalostního výkonu v lezení a že lezci mají schopnost lepší reoxygenace svalů předloktí než nelezci (MacLeod et al. 2007).

Fryer et al. (2015) se snažil ve své studii určit oxidační kapacitu a regeneraci svalové tkáně u středně pokročilých, pokročilých a elitních horolezců, při kontinuální a intermitentní zátěži na 40 % MVC na liště až do únavy ve flexor digitorum profundus (FDP) a flexor carpi radialis (FCR). Pouze během trvalé kontrakce byla deoxygenace svalové tkáně u FDP a FCR významně vyšší u elitních lezců, kteří měli i výrazně rychlejší čas do poloviny zotavení ve srovnání s ostatními skupinami. Během přerušované kontrakce byl čas do poloviny zotavení elitních lezců výrazně rychlejší, elitní lezci se tedy prokázali vysokou schopností reoxygenace svalů předloktí.

Boulderisti i lezci s lanem mají větší index oxidační kapacity ve FDP a extensor digitorum communis (EDC). Index oxidační kapacity vyjadřuje poločas zotavení tkáňové saturace, tedy za jaký čas dosáhne index nasycení tkáně kyslíkem (TSI po zatížení opět hodnoty 50 %. Nejvyšší desaturace ve FDP při zátěžovém testu na lezeckém ergometru byla značně spojená s nejvyšším dosaženým RP výkonem (Fryer et al. 2017).

Elitní lezci se tedy prokázali zvýšenou deoxygenací i reoxygenací svalů předloktí. Pro celkový výkon svalů jsou významnými faktory anaeróbní kapacita, vnitrosvalová a mezisvalová koordinace.

Díky vyšší mitochondriální aktivitě a oxidačním procesům a pravděpodobně i vyšší aktivaci metaboreflexu, který způsobuje vyšší vazodilataci, lezci lépe využívají kyslík během kontrakce. Jako hlavní spouštěč vyšší vazodilatace se zdá být saturace kyslíku v hemoglobinu, ta pak stimuluje vazodilatační činidla jako je oxid dusnatý, ATP, S-Nitrosothiol (Gardiner 2011).

Donedávna nebylo jasné, zda kinetika okysličení předloktí nebo sportovní hodnocení kardiorespirační zdatnosti nejlépe předpovídá výkonnost sportovního lezení. Fryer et al. (2018) se pokoušel ve své studii zjistit, zda index oxidační kapacity předloktí (měřený za pomoci infračervené spektroskopie), maximální deoxygenace předloktí během testu na lezeckém ergometru, maximální minutová spotřeba kyslíku VO_{2peak} na lezeckém ergometru nebo maximální minutová spotřeba kyslíku VO_{2max}

na běžeckém ergometru nejlépe předpovídá sportovní lezecký výkon, který probandi sami hlásí. Za pomoci lineární regrese, upravené podle věku a zkušeností (roky), odhalili, že index oxidační kapacity předloktí, maximální deoxygenace předloktí a VO_{2peak} všechny významně předpovídali obtížnost RP výstupu, kterou probandi hlásili, že jsou schopni vylézt, zatímco VO_{2max} na běžeckém pásu ne. Mnohonásobná regrese navíc naznačovala, že společně významné aerobní prediktory představovaly 67 % rozptylu schopnosti v RP lezení. Zjištění naznačují, že trénink sportovního lezení na skalách by měl zahrnovat způsoby, které se zaměřují na zlepšení místní aerobní kapacity předloktí a zlepšení aerobní kapacity celého těla pomocí sportovních specifických přístrojů jako jsou například lezecké ergometry.

Zajímavý výzkum prováděl Fryer et al. (2020), kde zjistili že u elitních lezců 7 denní podávání extraktu z Novozélandského černého rybízu (NZBC) zlepšuje oxygenaci svalů předloktí, bohužel ale bez efektu na izolovaný výkon svalů předloktí.

Tato zjištění demonstrují, že indexy lokální kinetiky kyslíku, mohou být využity pro posouzení vytrvalost nebo přizpůsobení tréninku specifické pro lezení. Z předchozího testu vyplývá, že využití infračervené spektroskopie se jeví jako nejvhodnější prostředek pro určování zatížení ve sportovním lezení.

Shrnutí teoretické části

Sportovní lezení má v dnešní podobě tři základní závodní disciplíny (lezení na rychlost, obtížnost a bouldering) a jednu olympijskou v kombinaci. Každá z disciplín klade jiné nároky na organismus a pohybové schopnosti lezce. V boulderingu se jedná spíše o kratší cesty, kdy je důležitá svalová síla, výbušnost a koordinace, kdežto v lezení na obtížnost se jedná spíše o zatížení silově-vytrvalostního charakteru.

Tréninkem ovlivnitelné faktory vysvětlují větší část výkonu ve sportovním lezení než genetické predispozice. Výkon v lezení chápeme jako intermitentní zatížení skládající se z dynamických a statických fází. Zatížení je tak jako v jiných sportech dané objemem, intenzitou a dobou odpočinku. Objem zatížení se obvykle posuzuje podle počtu nalezených metrů, času lezení nebo počtu lezeckých kroků. V případě intenzity srdeční frekvence, spotřeba kyslíku a hladina laktátu v krvi nejsou kvůli primárnímu lokálnímu zatížení malých svalových skupin ideálním indikátorem intenzity zatížení v lezení. Zato měření na speciální trojrozměrné liště se jeví jako validní způsob, kdy se však jedná o izolovanou práci flexorů prstů, která není identická se zatížením v lezení. Jako nejlepší způsob určování intenzity v lezení tedy považují infračervenou spektroskopii, kterou je možné využít v laboratorních podmínkách při lezení na lezeckém ergometru.

Pro aktivity lokálního charakteru se hodí spíše stanovení prahových intenzit. Kritický výkon odděluje oblasti intenzity cvičení, ve kterých je možné fyziologické reakce na cvičení stabilizovat nebo ne. CP se považuje za největší metabolickou rychlost, která vede k úplnému zajištění oxidativní energie, což znamená, že rychlost produkce laktátu odpovídá jeho rychlosti odbourávání.

Balas et al. (2021) publikovali práci, ve které stanovili CP z křivky NIRS. Snahou mé práce bylo zjistit tento zlom v okysličení FDP pomocí NIRS MOXY a porovnat, zda bude určení CP z Moxy a Portamonu totožné nebo alespoň podobné.

Cíle a metodika práce

Cíle práce

Cílem práce bylo posoudit dynamiku svalové oxygenace pomocí MOXI monitoru a Portamonu při stupňované lezecké zátěži.

Metodika práce

Soubor: testovací soubor se skládal z 14 mužů (M) a 5 žen (Ž), pokročilých lezců (lezecká obtížnost nad 6+ UIAA). Jejich věk byl v průměru $29,5 \pm 8,5$ M $26,5 \pm 5,7$ Ž let. Jejich hmotnost byla v průměru $70,2 \pm 7,9$ M u mužů a $58,1 \pm 2,4$ Ž výška $176,9 \pm 5,6$ cm M a $170,2 \pm 1,3$ cm Ž.

Lezci byli nejdříve seznámeni s cílem měření, průběhem měření a také s podmínkami celého testování. Zároveň byli požádáni, aby se zdrželi jakékoli namáhavé fyzické aktivity po dobu 24 hodin před testováním, kofeinu a alkoholu po dobu 12 hodin před testováním.

Moje práce byla součástí většího výzkumu. Testování bylo schválené etickou komisí v rámci dizertační práce Jana Gajdošíka EK61/2019.

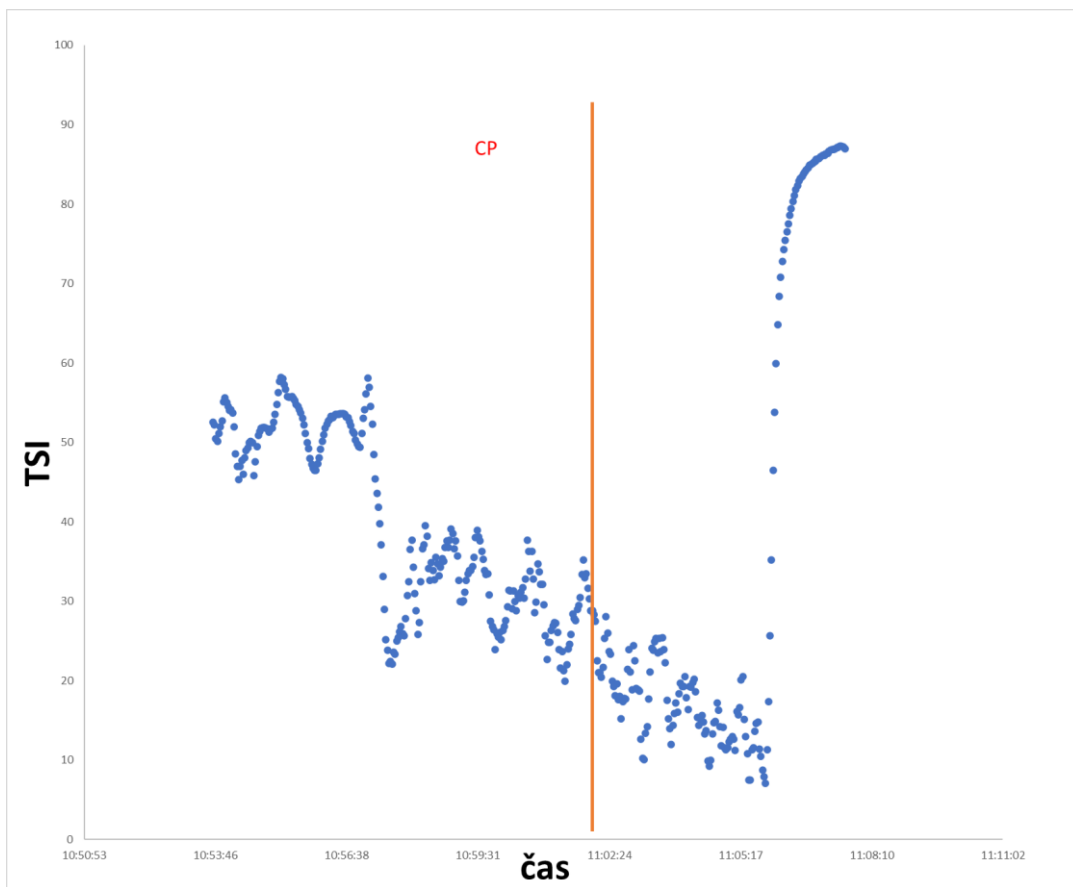
Měření probíhalo po dobu dvou dnů. Nejdříve testování podepsali souhlas s testováním a vyplnili dotazník se základními informacemi. Následně proběhlo standardizované rozcvičení, seznámení se s cestou a zkušební lezení. Při druhé návštěvě proběhlo opět standardizované rozcvičení a samotné testování na lezeckém ergometru.

Metody měření:

1. **Dotazník:** V dotazníku jsme se ptali respondentů na jejich věk, výšku, váhu a další informace shrnuté v tabulce 2.
2. **Rozcvičení:** před samotným testem proběhlo rozcvičení skládající se z vyběhnutí schodů nahoru a dolů 3x, 10 min mobilizace kloubů, rozlezení se na lezeckém ergometru vysokém 3,8 m (Climb Station generation, Forssa, Finsko) s pásem dlouhým 6 m. – 1. rozlezová cesta po všech chyttech program light -20 m, rychlost 6 m/min, 5 min odpočinek, 2. rozlezová cesta program medium 25 m pouze po lezecké cestě, která bude využita v zátěžovém testu rychlostí 9 m/min. Dále následoval odpočinek 10 min., během něhož se lezec připravoval na test. Na lezcova předloktí byly umístěny optody infračerveného spektroskopu.

3. **Test na lezeckém ergometru 1. návštěva:** Zkušební lezení ve vertikále, rychlost 6 m/min, odpočinek 10 min následně začátek stupňovaného testu +6°, +3°, 0 (vertikála), -3°, -6°, rychlost 9 m/min,
4. **Test na lezeckém ergometru 2. návštěva:** Před testem byli probandi v klidu, v sedě po dobu 3 min, poté se zahájil test. Samotný test měl následující fáze: lezení na submaximální zátěži po dobu 1 min ve +6° terénu (v plotně) při lezecké rychlosti 9 m/min a fáze odpočinku 10 vteřin, během kterého se zvyšoval sklon ergometru o 3°. Během odpočinku lezci zůstávali na stěně, drželi se chytů a odpočívali, pak následovala další fáze zatížení. Tento proces se opakoval až do vyčerpání. Po testu jsme se probandů ptali na hodnocení svého výkonu podle Borgovy škály, která se využívá pro hodnocení určující vnímanou námahu dané aktivity. Jedná se o subjektivní vnímání každého dotazovaného (Borg 2001).
5. **Posuzování hemodynamické odezvy:** Pro měření oxygenace ve svalu byl zvolen musculus flexor digitorum profundus (FDP) a extensor digitorum communis (EDC). Umístění portamon/moxy-FDP na přední straně předloktí na spojnici epikondylu humeru přes spodní část zápěstí (lunate) proximálně k prsteníku. Sonda byla umístěna 33 % distálně od epikondylu humeru. Druhá optoda (EDC) byla umístěná na spojnici mediálního epikondylu humeru a výběžku ulny-processus styloideus v 33 % délky předloktí od mediálního epikondylu. FDP je nejvíce zatěžovaný sval při lezení. Optody byly fixovány na kůži blízko břicha FDP a EDC oboustrannou lepicí páskou z vnitřní strany mimo optody a překryty černou páskou a neprůhledným černým rukávem, aby se zabránilo kontaminaci signálu okolním světlem. Využívala jsem blízkého infračerveného spektroskopu portamon (Artinis Medical Systems, Portamon, Holandsko, laboratorní podmínky) pro FDP na levé ruce a Moxy (Moxy, Fortiori Design LLC, Minnesota, USA, laboratorní podmínky) pro FDP a EDC na ruce pravé. TSI % - je poměr oxyhemoglobinu vůči celkovému hemoglobinu, index reoxygenace – je směrodatná odchylka daného záznamu. Moxy TSI CP FDP, použité v tabulce 3., jsem vypočítala z průměru deseti hodnot naměřených ve sklonu, který určili experti jako prahový pro CP. Viditelný zlom v okysličení v křivce NIRS u FDP byl u 14 z 19 respondentů.

Na následujícím obrázku můžeme vidět záznam saturace pomocí Moxy při stupňovaném lezeckém testu. Po zahájení testu celkové množství hemoglobinu prudce klesá a při vyklepávání a odpočinku, kdy se lezec drží na ergometru druhou rukou můžeme vidět částečné zvýšení koncentrace kyslíku. Červená čára znázorňuje bod zlomu, po kterém můžeme vidět prudší klesání saturace až do selhání. Výsledek CP určili dva experti na základě shlédnuté křivky saturace. Na grafu vidíme jenom celkové hodnoty TSI.



Obrázek 4: Ukázka záznamu okysličení FDP při stupňované lezecké zátěži s vyznačením zlomu v okysličení, kde by se mohl nacházet kritický výkon

Vyhodnocení výsledků

Při vyhodnocení výsledků jsem využila základní metody deskriptivní statistiky, a to průměr a směrodatnou odchylku (\pm) pro všeobecné zhodnocení testování.

Výsledky

Pro větší přehlednost jsem pro seřazení dat využila tabulek, které příkládám v příloze. V tabulce 2 jsou shrnuty informace testovaných. Muže a ženy jsem hodnotila zvlášť. Informace nám respondenti poskytli před začátkem testování. Jednalo se o výkonnostní úroveň a základní tréninkové ukazatele a poměry mezi lezením s lanem a boulderingem, případně lezením na skalách a na umělé stěně. Konkrétně to byli: nejtěžší vylezená obtížnost stylem RP, OS za poslední rok, kolik let lezou, kolik lezeckých tréninků mají za týden, celkové množství hodin týdně strávených lezením nebo lezecky specifickým tréninkem, na počet nelezeckých tréninků týdně a taky kolik hodin jím stráví celkově, dále na poměr v % mezi lezením s lanem a boulderingem, na poměr mezi lezeckou stěnou a lezením po skalách a na nalezené metry a počty lezeckých kroků.

V tabulce 2. jsou pro srovnání zapsány průměrné hodnoty a směrodatná odchylka dané skupiny. Výkonnost v RP lezení byla skoro stejná pro obě skupiny, v boulderingu o něco více dominovali muži, což může být způsobeno vyšším zastoupením boulderingu v jejich lezecké praxi. U Mužů představoval bouldering $51,4 \pm 28,2$ (%) celkového lezení, kdežto u žen jenom $25,2 \pm 33,0$ (%). Důkazem, že se jednalo o zkušené lezce, je délka jejich lezecké praxe. Obě skupiny více lezly na umělých stěnách, což může být způsobené lepší dostupností a menší časovou náročností oproti skalám. Množství lezeckých tréninků bylo téměř totožné, ale muži trávili lezením o něco více celkového času než ženy. Ty zase měly oproti mužům téměř trojnásobně větší průměrné zastoupení nelezeckých tréninků než muži.

Tabulka 2: Výkonnost a tréninkové ukazatele testovaných

| pohlaví | Muži | Ženy |
|----------------------------|------------|-----------|
| RP (UIAA) | 6+ - 10 | 7 - 9 |
| RP IRCRA | 17,1±3,8 | 17±2,8 |
| OS (UIAA) | 6 - 9+/10- | 6+ - 8+ |
| Boulder RP (Fontainebleau) | 6a – 8a+ | 6a+ - 7b |
| Boulder IRCRA | 21,3±3,8 | 19,6±2,7 |
| Délka lezení (roky) | 12,1±7,1 | 9,8±4 |
| Skály (%) | 38,6±24,8 | 34±25,8 |
| Stěna (%) | 61,4±24,7 | 66±25,8 |
| Boulder (%) | 51,4±28,2 | 25,2±33,0 |
| Lano (%) | 48,6±28,2 | 74,8±33,0 |
| Lezecký trénink (počet) | 3,0±1,4 | 2,6±0,5 |
| Lezecký trénink (hodiny) | 6,9±5,1 | 5,8±1,8 |
| Nelezecký trénink (počet) | 2,0±0,8 | 3±1,5 |
| Nelezecký trénink (hodiny) | 2,6±1,5 | 7,4±5,4 |

Dosažený sklon a okysličení FDP a EDC

V následující tabulce (Tab.4) je sepsána výkonnost lezců a hodnoty TSI. U dosaženého sklonu můžeme vidět záporné hodnoty, což znamená naklonění stěny z vertikály do převisu (směrem k pozorovateli, stojícím čelem ke stěně). Maximální dosažený sklon se pohyboval v průměru kolem -16° . Průměrný odhadovaný sklon, ve kterém se lezci dostávali na práh kritického výkonu byl $-3,43 \pm 4,92^\circ$.

V tabulce jsou dále uváděny hodnoty, které jsme naměřili za pomoci spektroskopu MOXY. Data jsme měřili jak z flexoru digitorum profundus tak z extensor digitorum communis. V případě svalů na ruce se nedá říct, že by byl antagonistou FDP, ale zapojuje se při lezení také. Způsobuje extenzy všech prstů ruky kromě palce a je zajímavé sledovat k jakým hodnotám celkového hemoglobinu u něj došlo a jak moc se podílí na lezeckém výkonu. Posouzení i jiných svalů předloktí by mohlo poskytnout další informace o lokalizovaném svalu.

Hodnoty TSI rest zaznamenávají průměrnou nasycenost tkáně kyslíkem v době klidu, ještě před zahájením stupňovaného testu, do vyčerpání. Hodnoty TSI min představují průměrnou nejnižší saturaci, ke které v testu došlo. Delta TSI (TSI Δ) představuje míru desaturace FDP a EDC v průběhu testu.

Poslední hodnoty, které můžeme v tabulce nalézt, jsou hodnoty TSI naměřené na úrovni kritického výkonu. Moxy TSI CP FDP je průměr deseti hodnot naměřených ve sklonu, který určili experti jako prahový pro CP. Viditelný zlom v okysličení v křivce NIRS u FDP byl u 14 respondentů, v 5- ti případech tento zlom nešlo určit. V tabulce můžeme najít i průměrné hodnoty TSI při zátěži na CP, TSI bylo $26,08 \pm 8,57 \%$.

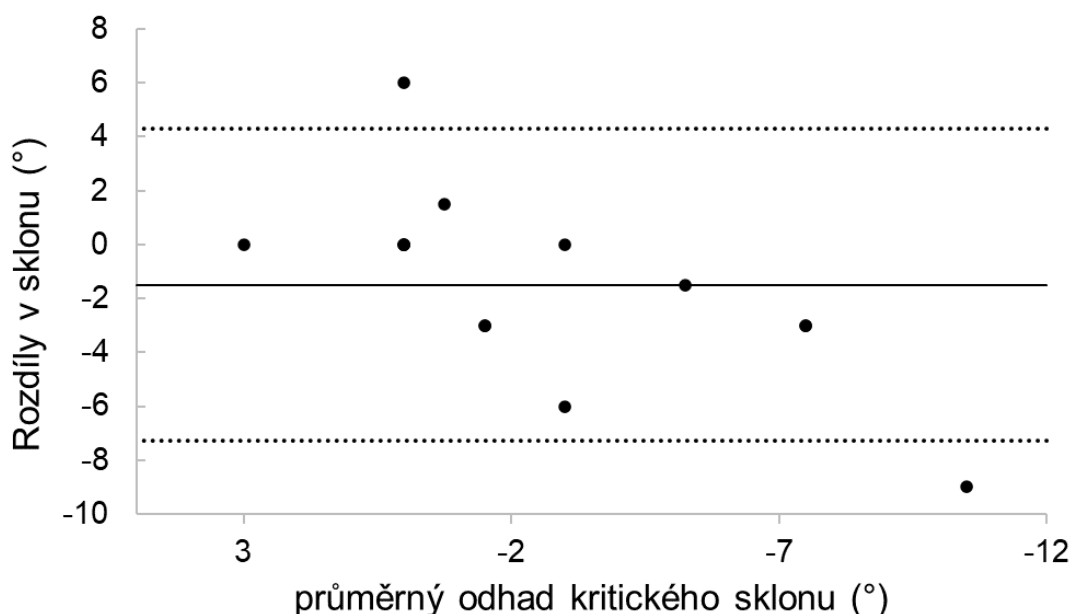
Kontinuální vlna jako taková poskytuje spolehlivou míru deoxygenace a reoxygenace během přerušovaných kontrakcí až do selhání flexorů předloktí horolezců. Rozdíly překračující podobné 4,5 % u TSI Delta během období kontrakce a úlevy by měly být považovány za smysluplné.

Tabulka 3: Stupně dosaženého sklonu, průměrný sklon na odhadovaném prahu CP, TSI – nasycenost tkáně kyslíkem klidové (rest), minimální (min) a hodnoty na úrovni CP u FDP a TSI Δ -(míra desarturace) a TSI na úrovni kritického výkonu

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Maximální dosažený sklon (°) | -16,4±5,2 |
| Odhad kritického sklonu z grafu (°) | -3,4±4,9 |
| Moxy TSI rest FDP (%) | 53,9±8,6 |
| Moxy TSI min FDP (%) | 17,0±6,6 |
| Moxy TSI Δ FDP (%) | 36,9±12,3 |
| Moxy TSI CP FDP (%) | 26,1±8,6 |
| Moxy TSI rest EDC (%) | 49,1±8,5 |
| Moxy TSI min EDC (%) | 19,4±7,3 |
| Moxy TSI Δ EDC (%) | 29,7±8,5 |

Rozdíl mezi viditelným zlomem v okysličení u Moxy a Portamon

Naměřená data z infračerveného spektroskopu Moxy jsme srovnávali se spektroskopem Portamon. Portamon je v dnešní době často využívaný vědci po celém světě a je zlatým standardem pro určování oxygenace svalů předloktí. V grafech představuje plná vodorovná čára průměrný rozdíl mezi odhady a čárkované čáry představují horní a dolní 95% limity shody



Obrázek 5: Bland-Altmanův graf, srovnání predikce z MOXY a Portamon

V průměru se od sebe tyto metody liší o $-1,5^\circ$, ale na Bland-Altmanovom grafu můžeme vidět velké rozmezí odlehlých hodnot. Na základě grafu můžeme říct, že zlom nalezený na křivce NIRS pomocí MOXY neodpovídá zlomu nalezeném pomocí Portamonu. Částečně mohou být rozdíly způsobeny tím, že každý přístroj byl aplikovaný na jinou ruku (Portamon na levé ruce a Moxy na pravé), každopádně se nepředpokládá, že by byly rozdíly až tak velké. Hlavní důvod, proč tomu tak je, připisují tomu, že MOXY je schopna hodnotit pouze celkovou TSI svalu. Portamon, z jehož křivky je možné získat spolehlivé výsledky, ve své studii využíval Balas et al. (2021). Určovali v ní zlom v křivce NIRS z množství deoxyhemoglobinu. MOXY však není schopna celkový hemoglobin a deoxy-hemoglobin rozlišit, je schopna měřit pouze celkovou TSI.

Diskuze

Nebyla nalezena shoda mezi MOXY a Portamonem v determinaci zlomu v okysličení svalu.

Kritický výkon je schopný popsat značnou část rozptylu ve schopnostech sportovního lezení a boulderingu. Očekává se tedy, že se stane běžným testem používaným trenéry pro pochopení tolerance cvičení a pro stanovení optimálního předpisu tréninku (Giles et al. 2021). Ve výzkumech ohledně kritického výkonu se pro zjišťování kritického výkonu používala lineární regresní analýza. Kritický výkon se vypočítal pomocí matematického modelu.

Během vysoce intenzivního svalového cvičení doba, po kterou lze cvičení udržet, klesá jako hyperbolická funkce zvyšování síly, rychlosti, napětí nebo síly. V důsledku toho je výkon a bod vyčerpání vysoce předvídatelný. Zjistit, zda je možné použít matematický model na odhad CP a W' i na přerušované izometrické svalové kontrakce flexorů prstů lezců se jako první pokusil Giles et al. (2019). Pomocí testování v průběhu více dní se snažil zjistit CP z testu na liště do vyčerpání při využití 80 %, 60 % a 45 % MVC. Zatížení na liště probíhalo při vise na obouruč v polouzavřeném úchopu. Test byl intermitentního charakteru, kdy probandi zatěžovali lištu danou silou po dobu 7 s. Odpočívali 3 s., kdy nemohli ruce vyklepávat, ale mohli si mezi zatížením namágot. Pro výpočet kritického výkonu, se využívá matematický model lineární regresní analýzy. Když je práce vykreslena proti času, jejich vztah je po regrese lineární a v jednom bodě přetne osu y, která znázorňuje buď sílu N, když se jedná o intermitentní testování na liště, nebo θ sklonu lezeckého ergometru, když dáme do vztahu sklon a čas.

Jak můžeme vidět, první studie, která se snaží o stanovení prahové zkoušky pro lezeckou populaci je jen dva roky stará. Již dříve popsali a metodiku pro stanovení CF v předloktích pomocí ruční dynamometrie Kellawan a Tschakovsky (2014). Giles et al. (2019) a Giles et al. (2021) se oproti nim ve své studii více přiblížil specifičností testování k samotnému lezení a to díky využití visu na liště .

Ve své studii jsem využila zatím nejspecifičtější test, který probíhal při lezení na lezeckém ergometru se zvyšujícím se sklonem. Test se zvyšujícím se sklonem provedl i Balas et al. (2021). Ten ve své studii využil jak intermitentní test na 60 % MCV na liště, tak stupňovaný test na lezeckém ergometru. Nasycení svalové tkáně kyslíkem (StO₂), deoxy-hemoglobin a celkový hemoglobin byly použity ke stanovení kinetiky

kyslíku v FDP během výstupu. Maximální dosažený úhel spolu s průměrem $\dot{V}O_2$ a desaturace FDP kyslíkem (StO₂) ze submaximálního lezení vysvětlily 83 % rozptylu lezecké schopnosti.

Použití blízké infračervené spektroskopie (NIRS) ke zkoumání změn okysličení svalů během fyzické aktivity, jako je lezení, se v posledních letech začalo využívat víc než kdy před tím. Určit spolehlivost parametrů NIRS intermitentních kontrakcí horolezců se pokoušel (Baláš et al. 2018). Zjistil, že kontinuální vlna NIRS jako taková poskytuje spolehlivé hodnocení deoxygenace a reoxygenace během přerušovaných kontrakcí až selhání flexorů předloktí horolezců.

Při zjišťování zlomu v křivce NIRS přístrojem MOXY V 5- ti z 19 případů nebylo možné určit zlom v saturaci. Když jsme pak 14 určených respondentů srovnávali s bodem zlomu určeným z křivky NIRS pomocí Portamon přístroje, práh určený MOXY vůbec neodpovídal výsledkům z Portamonu. Portamon je při tom dnes používaný jako zlatý standard k určování svalů předloktí a při stanovení zlomu v okysličení svalu, který provedl Balas et al. (2021) jevil vysokou spolehlivost. Pravděpodobně to bude způsobeno tím, že z NIRS Portamon zaznamenává také hodnoty deoxy-hemoglobinu ve svaly, kdež to MOXI TSI. NIRS MOXY tedy nelze použít pro hodnocení svalového prahu oxygenace.

Hemodynamická kinetika ve flexorech předloktí (FDP) se stala ústředním bodem pro výzkum související s lezeckým výkonem. MOXY monitor můžeme využít k určení TSI a desaturace svalu předloktí. Tyto hodnoty zjišťoval ve své studii i (Fryer et al. 2018). Za pomoci NIRS se snažil vysvětlit kolik rozptylů v RP výkonu lze vysvětlit indexem oxidační kapacity předloktí, $\dot{V}O_{2peak}$ na lezeckém ergometru, maximální deoxygenací předloktí při lezení na lezeckém ergometru a $\dot{V}O_{2max}$ na běžeckém ergometru. Ve studii měřil právě TSI pomocí NIRS pro hodnocení maximálního odkysličení během testu do maxima na lezeckém ergometru a pro hodnocení indexu oxidační kapacity. TSI odráží index oxidační kapacity, který se skládá z kombinace dodávky kyslíku, prokrvení a spotřeby ve svaly. Index oxidační kapacity byl nepřímě spojen s nejvyšší dosaženou RP obtížností. Také zjistil, že maximální nasycení (Δ TSI %) během lezení na lezeckém ergometru po lineární regresní analýze odhalilo, že maximální de-saturace v FDP během testu do maxima na lezeckém ergometru byla významně spojená s nejvyšší dosaženou vlastní RP obtížností.

Změny v okysličení a svalů zaznamenával ve flexor digitorum superficialis pomocí NIRS i MacLeod et al. (2007). Zotavení ve svalové oxygenaci během klidových fází (v přerušovaném testu) vysvětlilo 41,1% variability integrálu síla - čas. Změna celkového hemoglobinu byla významně větší u nelezců (v kontinuálním testu) než u lezců.

Mnoho dalších studií využívá absolutních rozdílů v oxygenaci svalů předloktí. MOXI je schopná zaznamenávat data, jako je TSI (%), TSI rest (%), TSI min (%) a Δ TSI (%), která značí míru desaturace daného svalu. Jedná se o levnější druh NIRS lépe dostupný široké veřejnosti a v budoucnu možná využívaný v tréninku sportovních lezců. Při determinaci zlomu v okysličení svalu nebyla nalezená žádná shoda mezi MOXY a Portamonem. Domníváme se tedy, že MOXY nelze využít pro hodnocení zlomu v okysličení svalu.

Závěr

V práci jsme se snažili determinovat zlom v oxigenaci za pomoci NIRS MOXY a porovnat tento zlom v okysličení s nalezeným zlomem za pomoci NIRS Portamon.

K získání dat jsme využili stupňovaný test na lezeckém na lezeckém ergometru, protože je lezení v reálných podmínkách nejbližší. Z důvodu nejasného zlomu v okysličení u některých respondentů a hodnocení celkové TSI ve svalu NIRS MOXY nelze použít pro hodnocení svalového prahu oxygenace. To však neznamená, že by využití MOXY bylo úplně zbytečné. Pravděpodobně je využitelné pro absolutní rozdíly deoxygenace svalu, nicméně pro hodnocení zlomu okysličení svalu ho nelze použít.

Použitá literatura:

ARAS, D. a C. AKALAN, 2014. The effect of anxiety about falling on selected physiological parameters with different rope protocols in sport rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* [online]. **54**(1), 1–8 [vid. 2021-08-01]. ISSN 0022-4707. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000332051900002>

ASTRAND, I., A. GUHARAY a J. WAHREN, 1968. Circulatory Responses to Arm Exercise with Different Arm Positions. *Journal of Applied Physiology* [online]. **25**(5), 528- [vid. 2021-07-25]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://gateway.webofknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=DOISource&SrcApp=WOS&KeyAID=10.1152%2Fjappl.1968.25.5.528&DestApp=DOI&SrcAppSID=F5JyqZLfvz6KgKsVAU&SrcJTitle=JOURNAL+OF+APPLIED+PHYSIOLOGY&DestDOIRegistrantName=American+Physiological+Society>

BALÁŠ, Jiří. Fyziologické aspekty výkonu ve sportovním lezení. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-2463361-9.

BALAS, Jiri, Jan GAJDOSIK, David GILES, Simon FRYER, Dominika KRUPKOVA, Tomas BRTNIK a Andri FELDMANN, 2021. Isolated finger flexor vs. exhaustive whole-body climbing tests? How to assess endurance in sport climbers? *European Journal of Applied Physiology* [online]. **121**(5), 1337–1348 [vid. 2021-07-20]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: [doi:10.1007/s00421-021-04595-7](https://doi.org/10.1007/s00421-021-04595-7)

BALAS, Jiri, Michaela PANACKOVA, Barbora STREJCOVA, Andrew J. MARTIN, Darryl J. COCHRANE, Milos KALAB, Jan KODEJSKA a Nick DRAPER, 2014. The Relationship between Climbing Ability and Physiological Responses to Rock Climbing. *Scientific World Journal* [online]. 678387 [vid. 2021-07-24]. ISSN 1537-744X. Dostupné z: [doi:10.1155/2014/678387](https://doi.org/10.1155/2014/678387)

BALÁŠ, Jiří, Jan KODEJŠKA, Dominika KRUPKOVÁ, Johan HANNSMANN a Simon FRYER, 2018. Reliability of Near-Infrared Spectroscopy for Measuring Intermittent Handgrip Contractions in Sport Climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. **32**(2), 494–501. ISSN 1533-4287. Dostupné z: [doi:10.1519/JSC.0000000000002341](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002341)

BALÁŠ. J., VOMÁČKO L., FRAINŠIC M., ŠAFRÁNEK J. Multimediální učebnice Turistika a sporty v přírodě: *Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu* [online]. Praha: UK FTVS, © 2013. Dostupné z: <http://www.ftvs.cuni.cz/eknihy/turistika>. ISBN 978-80-87647-13-4.

BENSON, Roy, CONNOLLY, Declan. *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4036-2

BILLAT, V., P. PALLEJA, T. CHARLAIX, P. RIZZARDO a N. JANEL, 1995. Energy Specificity of Rock Climbing and Aerobic Capacity in Competitive Sport Rock Climbers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* [online]. **35**(1), 20–24 [vid. 2021-07-25]. ISSN 0022-4707. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:A1995RP45300004>

Bloomfield, J., Ackland, T., & Elliott, B. (1994). *Applied Anatomy and Biomechanics in Sport*. (1994 ed.) Blackwell.

BOONE, Jan, Kristof VANDEKERCKHOVE, Ilse COOMANS, Fabrice PRIEUR a Jan G. BOURGOIS, 2016. An integrated view on the oxygenation responses to incremental exercise at the brain, the locomotor and respiratory muscles. *European Journal of Applied Physiology* [online]. **116**(11–12), 2085–2102 [vid. 2021-08-08]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: [doi:10.1007/s00421-016-3468-x](https://doi.org/10.1007/s00421-016-3468-x)

BORG, G., 2001. Borg's range model and scales. *International Journal of Sport Psychology* [online]. **32**(2), 110–126 [vid. 2021-08-07]. ISSN 0047-0767. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000169101000002>

BURNLEY, Mark a Andrew M. JONES, 2007. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science* [online]. **7**(2), 63–79 [vid. 2021-07-18]. ISSN 1746-1391. Dostupné z: [doi:10.1080/17461390701456148](https://doi.org/10.1080/17461390701456148)

DIEŠKA, Ivan. *Horolezectví zblízka*. Praha: Olympia, 1989. Kamarád (Olympia).

DONATH, L., K. ROESNER, V. SCHOEFFL a H. H. W. GABRIEL, 2013. Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: Another link to overuse-induced injuries? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online]. **23**(4), 406–414 [vid. 2021-07-17]. ISSN 0905-7188. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x)

DOVALIL, Josef a Miroslav CHOUTKA. *Výkon a trénink ve sportu*. 4. vyd. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2012. ISBN 978-80.7376-326-8.

ESPANA-ROMERO, Vanesa, Francisco B. ORTEGA PORCEL, Enrique G. ARTERO, David JIMENEZ-PAVON, Angel GUTIERREZ SAINZ, Manuel J. CASTILLO GARZON a Jonatan R. RUIZ, 2009. Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high-level sport climbers. *European Journal of Applied Physiology* [online]. **107**(5), 517–525 [vid. 2021-08-01]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: [doi:10.1007/s00421-009-1155-x](https://doi.org/10.1007/s00421-009-1155-x)

- FERGUSON, R. A. a M. D. BROWN, 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* [online]. **76**(2), 174–180 [vid. 2021-07-29]. ISSN 0301-5548. Dostupné z: doi:10.1007/s004210050231
- FRYER, S., K. J. STONE, J. SVEEN, T. DICKSON, V. ESPANA-ROMERO, D. GILES, J. BALAS, L. STONER a N. DRAPER, 2017. Differences in forearm strength, endurance, and hemodynamic kinetics between male boulderers and lead rock climbers. *European Journal of Sport Science* [online]. **17**(9), 1177–1183 [vid. 2021-07-30]. ISSN 1746-1391. Dostupné z: doi:10.1080/17461391.2017.1353135
- FRYER, Simon, David GILES, Ellis BIRD, Keeron STONE, Craig PATERSON, Jiri BALAS, Mark E. T. WILLEMS, Julia A. POTTER a Ian C. PERKINS, nedatováno. New Zealand blackcurrant extract enhances muscle oxygenation during repeated intermittent forearm muscle contractions in advanced and elite rock climbers. *European Journal of Sport Science* [online]. [vid. 2021-07-19]. ISSN 1746-1391. Dostupné z: doi:10.1080/17461391.2020.1827048
- FRYER, Simon M., David GILES, Inmaculada Garrido PALOMINO, Alejandro de la O. PUERTA a Vanesa ESPANA-ROMERO, 2018. Hemodynamic and Cardiorespiratory Predictors of Sport Rock Climbing Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. **32**(12), 3534–3541 [vid. 2021-07-19]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000001860
- FRYER, Simon M., Lee STONER, Tabitha G. DICKSON, Steve B. DRAPER, Michael J. MCCLUSKEY, Johnathan D. HUGHES, Stephen C. HOW a Nick DRAPER, 2015. Oxygen Recovery Kinetics in the Forearm Flexors of Multiple Ability Groups of Rock Climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. **29**(6), 1633–1639 [vid. 2021-07-30]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000000804
- FRYER, Simon, Lee STONER, K. STONE, D. GILES, Joakim SVEEN, Inma GARRIDO a Vanesa ESPANA-ROMERO, 2016. Forearm muscle oxidative capacity index predicts sport rock-climbing performance. *European Journal of Applied Physiology* [online]. **116**(8), 1479–1484 [vid. 2021-07-30]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-016-3403-1
- GARDINER, Phillip, 2011. *Advanced Neuromuscular Exercise Physiology*. B.m.: Human Kinetics. ISBN 978-1-4925-8375-2.
- GILES, David, Cam HARTLEY, Hamish MASLEN, Josh HADLEY, Nicola TAYLOR, Ollie TORR, Joel CHIDLEY, Tom RANDALL a Simon FRYER, 2021. An All-Out Test to Determine Finger Flexor Critical Force in Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. **16**(7), 942–949 [vid. 2021-08-07]. ISSN 1555-0265. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.2020-0637

GILES, David, Joel B. CHIDLEY, Nicola TAYLOR, Ollie TORR, Josh HADLEY, Tom RANDALL a Simon FRYER, 2019. The Determination of Finger-Flexor Critical Force in Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. **14**(7), 972–979 [vid. 2021-08-08]. ISSN 1555-0265. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.2018-0809

GODDARD, Dale a Udo NEUMANN. *Performance rock climbing*. Mechanicsburg, PA: Stackpole Books, c1993. ISBN 978-0-8117-2219-3.

HATCH, Tim a François LEONARDON. RULES 2019: VERSION No 1.9.2 [online]. Březen 2019 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: https://cdn.ifsc-climbing.org/images/World_Competitions/IFSC-Rules_2019_v192_PUBLIC.pdf

HODGSON, C. I., N. DRAPER, T. MCMORRIS, G. JONES, S. FRYER a I. COLEMAN, 2009. Perceived anxiety and plasma cortisol concentrations following rock climbing with differing safety rope protocols. *British Journal of Sports Medicine* [online]. **43**(7), 531–535 [vid. 2021-07-24]. ISSN 0306-3674, 1473-0480. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2007.046011

HÖRST, Eric J. Training for climbing: the definitive guide to improving your performance. Third edition. Guilford, Connecticut: Falcon Guides, [2016]. How to climb series. ISBN 978-1-4930-1761-4.

JONES, Andrew M., Daryl P. WILKERSON, Fred DIMENNA, Jonathan FULFORD a David C. POOLE, 2008. Muscle metabolic responses to exercise above and below the „critical power" assessed using P-31-MRS. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* [online]. **294**(2), R585–R593 [vid. 2021-07-18]. ISSN 0363-6119. Dostupné z: doi:10.1152/ajpregu.00731.2007

KELLAWAN, J. Mikhail a Michael E. TSCHAKOVSKY, 2014. The Single-Bout Forearm Critical Force Test: A New Method to Establish Forearm Aerobic Metabolic Exercise Intensity and Capacity. *Plos One* [online]. **9**(4), e93481 [vid. 2021-08-09]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0093481

LIMONTA, Eloisa, Alfredo BRIGHENTI, Susanna RAMPICHINI, Emiliano CE, Federico SCHENA a Fabio ESPOSITO, 2018. Cardiovascular and metabolic responses during indoor climbing and laboratory cycling exercise in advanced and elite climbers. *European Journal of Applied Physiology* [online]. **118**(2), 371–379 [vid. 2021-07-25]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-017-3779-6

MACLEOD, D., D. L. SUTHERLAND, L. BUNTIN, A. WHITAKER, T. AITCHISON, I. WATT, J. BRADLEY a S. GRANT, 2007. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences* [online]. **25**(12), 1433–1443 [vid. 2021-07-29]. ISSN 0264-0414. Dostupné z: doi:10.1080/02640410600944550

- MAGIERA, Artur, Robert ROCZNIOK, Ewa SADOWSKA-KREPA, Katarzyna KEMPA, Oskar PLACEK a Aleksandra MOSTOWIK, 2018. The Effect of Physical And Mental Stress on the Heart Rate, Cortisol and Lactate Concentrations in Rock Climbers. *Journal of Human Kinetics* [online]. **65**(1), 111–123 [vid. 2021-07-24]. ISSN 1899-7562. Dostupné z: doi:10.2478/hukin-2018-0024
- MERMIER, C. M., R. A. ROBERGS, S. M. MCMINN a V. H. HEYWARD, 1997. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine* [online]. **31**(3), 224–228 [vid. 2021-07-25]. ISSN 0306-3674. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.31.3.224
- MICHIKAMI, Daisaku, Atsunori KAMIYA, Qi FU, Yuki NIIMI, Satoshi IWASE, Tadaaki MANO a Akio SUZUMURA, 2002. Forearm elevation augments sympathetic activation during handgrip exercise in humans. *Clinical Science* [online]. **103**(3), 295–301 [vid. 2021-07-24]. ISSN 0143-5221. Dostupné z: doi:10.1042/cs1030295
- PERIČ, Tomáš a Josef DOVALIL. Sportovní trénink. Praha: Grada, 2010. Fitness, síla, kondice. ISBN 978-80-247-2118-7.
- PLACE, Nicolas, Joseph D. BRUTON a Hakan WESTERBLAD, 2009. Mechanisms of Fatigue Induced by Isometric Contractions in Exercising Humans and in Mouse Isolated Single Muscle Fibres. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* [online]. **36**(3), 334–339 [vid. 2021-07-18]. ISSN 0305-1870. Dostupné z: doi:10.1111/j.1440-1681.2008.05021.x
- POOLE, David C., Mark BURNLEY, Anni VANHATALO, Harry B. ROSSITER a Andrew M. JONES, 2016. Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. **48**(11), 2320–2334 [vid. 2021-07-18]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/MSS.0000000000000939
- ROWLEY, Nicola J., Ellen A. DAWSON, Gurpreet K. BIRK, N. Timothy CABLE, Keith GEORGE, Greg WHYTE, Dick H. J. THIJSEN a Daniel J. GREEN, 2011. Exercise and arterial adaptation in humans: uncoupling localized and systemic effects. *Journal of Applied Physiology* [online]. **110**(5), 1190–1195 [vid. 2021-07-20]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.01371.2010
- SALTIN, Bengt, 2007. Exercise hyperaemia: magnitude and aspects on regulation in humans. *Journal of Physiology-London* [online]. **583**(3), 819–823 [vid. 2021-07-19]. ISSN 0022-3751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.2007.136309
- SANCHEZ, Xavier, M. TORREGROSSA, T. WOODMAN, G. JONES a D. J. LLEWELLYN, 2019. Identification of Parameters That Predict Sport Climbing Performance. *Frontiers in Psychology* [online]. **10**, 1294 [vid. 2021-07-19]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2019.01294

- SECOMB, Timothy W., 2016. Hemodynamics. *Comprehensive Physiology* [online]. **6**(2), 975–1003 [vid. 2021-08-01]. ISSN 2040-4603. Dostupné z: doi:10.1002/cphy.c150038
- SHEEL, A. W., 2004. Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine* [online]. **38**(3), 355–359 [vid. 2021-07-25]. ISSN 0306-3674. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2003.008169
- SCHOFFL, V. R., F. MOCKEL, G. KOSTERMEYER, I. ROLOFF a T. KUPPER, 2006. Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *International Journal of Sports Medicine* [online]. **27**(3), 205–211 [vid. 2021-07-18]. ISSN 0172-4622. Dostupné z: doi:10.1055/s-2005-837622
- SMITH, Jc a Dw HILL, 1993. Stability of Parameter Estimates Derived from the Power Time Relationship. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee* [online]. **18**(1), 43–47 [vid. 2021-07-18]. ISSN 1066-7814. Dostupné z: doi:10.1139/h93-005
- TSCHAKOVSKY, M. E. a D. D. SHERIFF, 2004. Immediate exercise hyperemia: contributions of the muscle pump vs. rapid vasodilation. *Journal of Applied Physiology* [online]. **97**(2), 739–747 [vid. 2021-07-19]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00185.2004
- VANHATALO, Anni, Andrew M. JONES a Mark BURNLEY, 2011. Application of Critical Power in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. **6**(1), 128–136 [vid. 2021-07-18]. ISSN 1555-0265. Dostupné z: doi:10.1123/ijsp.6.1.128
- WATTS, P. B. a K. M. DROBISH, 1998. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. **30**(7), 1118–1122 [vid. 2021-07-23]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-199807000-00015
- WHITE, Dominic J. a Peter D. OLSEN, 2010. A Time Motion Analysis of Bouldering Style Competitive Rock Climbing. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. **24**(5), 1356–1360 [vid. 2021-07-17]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0b013e3181cf75bd
- VOMÁČKO, Ladislav a Soňa BOŠTÍKOVÁ. Lezení na umělých stěnách. Praha: Grada, 2002. Sport (Grada). ISBN 80-247-0406-4.