

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Ověření kritické síly flexorů prstů jako ukazatele  
maximálního metabolického setrvalého stavu**

Bakalářská práce

Vedoucí diplomové práce:

**Doc. Jiří Baláš, Ph.D.**

Vypracoval:

**Ondřej Outrata**

Praha, květen 2021

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

V Praze, dne

.....

podpis

## Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své bakalářské 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

Rád bych poděkoval Doc. Jiřímu Balášovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracování problematiky této práce.

## **Abstrakt**

**Název:** Ověření kritické síly flexorů prstů jako ukazatele maximálního metabolického setrvalého stavu

**Cíle:** Cílem této práce bylo, zda 4minutový all-out test spolehlivě určí úroveň kritické síly

**Metody:** 7 účastníků podstoupilo 4minutový all out-test ke stanovení kritické síly při intermitentní izometrické kontrakci. Následně podstoupili ještě 2 testy: 2kg pod a 2kg nad kritickou silou, ze kterých by měl být vidět maximální metabolický setrvalý stav.

**Výsledky:** Zjistili jsme, že účastníci nezvládli splnit predikci testu, z toho vyplývá, že kritická síla stanovená 4 min all-out testem nepředstavuje metabolický setrvalý stav.

**Klíčová slova:** sportovní lezení, kritický výkon, anaerobní práh

## **Abstract**

**Title:** Verification of finger flexor critical force as an indicator of maximal metabolic steady state

**Objectives:** The aim of this work was whether the 4-minute all out test reliably determines the level of critical force

**Methods:** 7 participants did a 4-minute all-out test to determine the critical force during intermittent isometric contraction. Then they did 2 more tests: 2kg below and 2kg above the critical force from which the maximum metabolic steady state should be observed.

**Results:** We found that participants failed to meet the prediction of the test that means that the critical strength determined by the 4 min all-out test does not represent a metabolic steady state.

**Keywords:** sport climbing, critical power, anaerobic threshold

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Teoretická východiska .....	10
2.1	Sportovní lezení .....	10
2.2	Lezení s lanem.....	10
2.3	Bouldering.....	10
2.4	Lezení na rychlost .....	10
2.5	Charakter zatížení.....	11
2.5.1	Doba zatížení .....	11
2.6	Kontrola zatížení .....	11
2.6.1	Subjektivní kontroly zatížení .....	11
2.6.2	Objektivní kontroly zatížení .....	13
2.6.3	Externí kontroly zatížení.....	14
2.6.4	Interní kontroly zatížení.....	14
2.7	Kritická síla .....	15
2.7.1	Definice kritické síly.....	15
2.7.2	Kritická síla jako ukazatel maximálního metabolického setrvalého stavu	16
2.7.3	Zóny zatížení.....	18
2.7.4	Vysvětlení W' .....	20
2.7.5	CF pod a nad .....	20
2.8	Setrvalý stav .....	21
2.9	Určení kritické síly u lezců .....	21
3	Shrnutí teoretické části.....	22
4	Cíl práce.....	23
5	Metodika .....	23
5.1	Soubor .....	23
5.2	Realizace měření .....	23

5.3	Vyhodnocení výsledků.....	26
6	Výsledky .....	27
7	Diskuze .....	30
8	Závěr .....	32
9	Seznam literatury: .....	33
10	Přílohy.....	38



# 1 Úvod

V posledních letech sportovní lezení získává větší pozornost u široké veřejnosti, která se čím dál častěji dostává k tomuto sportu. Rostoucímu zájmu, dává najevo fakt, že se jako sport lezení dostalo na olympiádu v Tokiu 2021.

Díky tomu se samozřejmě po profesionálních sportovcích v tomto odvětví, očekávají lepší výkony. K dosažení lepších výkonů je potřeba více začleňovat specifitější tréninkové plány, které nejvíce pasují na daného lezce. K určení zdatnosti lezce se využívá mnoho metod externí kontroly, především ta, k určení síly flexorů prstů nebo interní, pomocí srdeční frekvence nebo  $VO_{2max}$ . Avšak zdá se, že žádný z těchto ukazatelů není úplně vhodný pro lezeckou aktivitu. V poslední době se do popředí z hlediska fyziologických aspektů dostává kritická síla. Z tohoto důvodu je cílem této práce zjistit, zda by mohla kritická síla flexorů prstů být vhodným ukazatelem maximálního metabolického setrvalého stavu.

## **2 Teoretická východiska**

### **2.1 Sportovní lezení**

Od klasického horolezectví postupným vývojem vzniklo mnoho sportovních disciplín. Tou nejpobulárnější je sportovní lezení. Nejdůležitějším pravidlem je, že lezení by se mělo provádět tzv. „volně“. Tudiž bez použití ostatních pomůcek než „lezeček“ a magnézia. Lano a úvazek by se mělo pouze používat jako bezpečnostní prvek (Winter, 2004). Ve sportovním lezení se navíc pro zajištění cest využívá fixní jištění, proto převládají fyzické problémy nad psychickými. Soutěžní lezení se koná ve třech disciplínách: lezení na obtížnost, lezení na rychlost a bouldering, v nich se soutěžící snaží porovnat na úrovni regionální až mezinárodní. Ve sportovním lezení se nachází mnoho dalších disciplín, ty nejdůležitější pro náš výzkum si teď rozebereme.

### **2.2 Lezení s lanem**

V anglickém pojetí „lead climbing“ popisuje lezení, kde se lezci navážou na úvazek a během lezení využívají fixního postupového jištění. Tradiční lezení „Trad climbing“ naopak vyžaduje značnou zkušenost v zakládání vlastního postupového jištění. Z tohoto lezeckého stylu vznikla sportovní disciplína, u nás známá jako Lezení na obtížnost.

### **2.3 Bouldering**

Z anglického „boulder“ balvan, je sportovní disciplína, při které se lezec nepohybuje v takových výškách jako při lezení s lanem. Většinou se snaží překonat několik těžkých kroků a sekvencí za sebou do výšky 3 metrů, kde by případný pád neohrožoval lezce.

### **2.4 Lezení na rychlost**

Jako poslední disciplínu, zmíním lezení na rychlost, která patří mezi dvě zmíněné disciplíny, které budou na Olympijských hrách v Tokiu 2021. Lezení na rychlost je disciplína sportovního lezení, při níž se lezci snaží přelézt danou cestu v co nejkratším čase (Horosvaz.cz, 2021). Ačkoliv se tato disciplína zdá být podobná těm dvou předešlým, vymyká se předešlým disciplínám v tom, že cesta je vždy naprosto stejná a klade naprosto jiné nároky na kondiční a technické předpoklady. Pro náš výzkum jsou důležité lezení na obtížnost a bouldering.

Z hlediska sportovního výkonu těchto dvou disciplín vyplývá, že kondiční předpoklady hrají vysokou roli ve výkonu lezce. Především ta komponenta maximální síly a vytrvalosti flexorů prstů.

## **2.5 Charakter zatížení**

### **2.5.1 Doba zatížení**

Lezecký výkon musíme chápat jako intermitentní zatížení, které se skládá z dynamických a statických fází krokového cyklu (Baláš, 2016). Statické fáze slouží k odpočinku a následné přípravě dalších kroků. Poté v dynamické fázi dochází již k samotnému lezení. Doba při lezení s lanem trvá obvykle 2-7 minut (Watts, 2004), při lezení na skalách 15-20 minut. Při boulderingu je průměrná doba lezení okolo 30 sekund (IFSC, 2015).

Lezecký pohyb je tvořen střídáním izometrických kontrakcí flexorů prstů a dynamických kontrakcí pletence ramenního a lokomocí dolních končetin. Typické pro lezecký pohyb je držení chytu a následné uvolnění při přesunu. Během pohybu se střídá kontrakce a uvolnění svalu. Sportovní lezení je typické intermitentním izometrickým zatížením flexorů prstů (Kodejška, 2018). Kontrakce na chytu trvají 10-12 sekund (Donath et al., 2013).

## **2.6 Kontrola zatížení**

Pro budoucí výkonnost se musí vhodně dávkovat intenzita zatížení, proto v tréninkovém procesu musíme neustále kontrolovat správnou intenzitu zatížení pro každého lezce.

### **2.6.1 Subjektivní kontroly zatížení**

Pro hodnocení obtížnosti lezecké cesty se používají klasifikační stupnice. V našich zeměpisných šířkách se nejvíce využívá UIAA (z francouzského Union Internationale des Associations d'Alpinisme). Tuto stupnici vždy určuje prvolezec dané lezecké cesty.

Stupnice obtížnosti sportovních cest			
Yosemitská (USA)	Francouzská	UIAA	Austrálie Nový Zéland
3.4	1	I	1,2
5.0			3,4
5.1	2	II	5,6
5.2			7,8
5.3	3	III	9,10
5.4	4a	IV	11,12
5.5	4b	IV+	13
5.6	4c	V	14
5.7	5a	V+	15
5.8	5b	VI-	16
5.9	5c	VI	17
5.10a	6a	VI+	18
5.10b	6a+	VII-	19
5.10c	6b	VII	20
5.10d	6b+	VII+	21
5.11a	6c		22
5.11b	6c+	VIII-	23
5.11c			24
5.11d	7a	VIII	
5.12a	7a+	VIII+	25
5.12b	7b		26
5.12c	7b+	IX-	27
5.12d	7c	IX	28
5.13a	7c+	IX+	29
5.13b	8a		
5.13c	8a+	X-	30
5.13d	8b	X	31
5.14a	8b+	X+	32

(Obrázek č. 1 Tabulka porovnává stupnice nejrozšířenějších klasifikačních stupnic)  
(Multimediální učebnice Turistika a sporty v přírodě, 2013).

Bouldrové stupnice obtížnosti	
Hueco/ V stupnice	Fontainebleau
V0	4
V0+	4+
V1	5
V2	5+
V3	6A
	6A+
V4	6B
	6B+
V5	6C
	6C+
V6	6C+
	7A
V7	7A+
	7B
V8	7B+
	7B+
V9	7C
V10	7C+
V11	8A
V12	8A+
V13	8B
V14	8B+
V15	8C
V16	8C+

(Obrázek č. 2 Tabulka porovnává stupnici nejrozšířenějších boulderových klasifikačních stupnic)(Multimediální učebnice Turistika a sporty v přírodě, 2013).

Díky tomu, že se stupnice obtížnosti vyvíjely v jednotlivých oblastech jinak, dochází k tomu, že není jednoduché posoudit skutečnou obtížnost cesty. Každý lezec má jiné lezecké přednosti a každý lezec může jinak vnímat vzdálenost mezi jednotlivými jištěními (Horosvaz.cz, 2021).

Subjektivní kontrola vnímaného zatížení probíhá během testování, kde testovaný většinou na určité škále popisuje své pocity. Nejčastěji k hodnocení se používá Borgova škála. Tato škála je v rozmezí 6-20 nebo 1-10. 6 nejméně a 20 nejvíce, stejně tak i 1-10 (Čechovská, Dobrý, 2008). Borgova škála se využila při mnoha lezeckých testech např. (Baláš et al., 2014) a (Engel et al., 2018). Avšak pro lezení se tato kontrola zatížení neukázala moc validní.

### 2.6.2 Objektivní kontroly zatížení

Za externí kontrolu zatížení se považuje např. síla naměřená na chytu nebo tlak, který působí na stup.

Naopak interní kontrola zatížení je odrazem systémové odezvy, mezi které patří fyziologické a psychologické ukazatele jako srdeční frekvence (SF) a objemu kyslíku, který je člověk schopen využít ( $VO_2$ ).

### **2.6.3 Externí kontroly zatížení**

Síla naměřená na chytu a tlak působící na stup, se v lezení ukázaly jako nejlepší externí kontroly zatížení. Tlak byl použit v práci (Engel et al., 2018), ze které vychází, že pokládání vysoko nohu na stup, přímo souvisí s výkonem lezce a (Fuss, Niegl, 2008) uvádí, že měření a analýza na specifických chytech jsou vhodné pro určení výkonu lezce.

Síla na chytu nebo tlak v ponožce se jeví jako nevhodný nástroj k posouzení maximálního aerobního výkonu lezců, jelikož zátěž je především lokálního charakteru, tudíž nezískáme vnitřní odezvu.

### **2.6.4 Interní kontroly zatížení**

Nejpoužívanějším ukazatel interní kontroly zatížení je srdeční frekvence (SF). Tento parametr není vhodný u lezení, jelikož zde hrají významnou roli emoce. Studie ukázaly nelineární vzestup  $VO_2$  a SF. Zdá se, že při lezení jednodušších cest se SF pohybuje kolem 70-80% SF a naopak při lezení obtížnějších cest, se SF pohybuje okolo 90-95% SF. Avšak při lezení lehčích cest, se hodnoty  $VO_2$  nachází okolo 40-60%  $VO_2$  a na obtížnějších 60-85%  $VO_2$ . (Billat et al., 1996; Sheel et al., 2003) na základě tohoto modelu prokazuje SF a spotřeba kyslíku spojitost pouze 55%. Srdeční frekvence nekoresponduje se systémovou odezvou, tudíž ji nelze považovat za vhodný indikátor zátěže při sportovním lezení.

V mnoha vytrvalostních disciplínách se laktát využívá k měření tréninkových ukazatelů. U lezení jsou ale z pravidla naměřeny nižší hodnoty kapilární krve u sportovních lezců, v důsledku produkce laktátu v malých svalových skupinách nebo pletence ramenního. (Schöffl, et al., 2007) využili vzestup krevního laktátu, při lezeckém testu do vyčerpání k predikci úrovně silové vytrvalosti flexorů prstů. Ze závěrů vyšlo, že k určení tréninkových intenzit laktát není vhodný.

Tyto ukazatele patří mezi tzv. systémovou odezvu. Tyto míry systémové odezvy nejsou v korelaci s lokální únavou. Na základě toho, se musí hledat jiné markery, které nám jsou schopny popsat již zmíněnou lokální únavu. Jednou z možností je využití modelu kritické síly.

## 2.7 Kritická síla

Kritická síla je v takové intenzitě zatížení, kterou jsme teoreticky schopni vykonávat „nekonečně“ dlouho. Fyziologicky jsme ji schopni vykonávat tak dlouho dokud, nedojde k limitaci metabolických zásob ve svalech.

Když je čas limitu tolerance vyneseno proti konkrétnímu silovému výkonu, tak vztah není lineární (jak by se na první pohled mohlo zdát), ale je spíše křivočarý, s vlastností udržet spád na vyšších hodnotách než na nižších. Tento vztah je matematicky popsán jako hyperbolický (Poole et al., 2016).

Kredit za uznání této hyperbolicity mezi intenzitou cvičení a její udržitelností by měla být připsána britskému fyziologovi A. V. Hillovi. V roce 1925 publikoval v odborném časopisu *Nature*, kde popsal vztah mezi průměrnou rychlostí a udržitelným časem na světových rekordech na různých vzdálenostech běhu a plavání jak mužů, tak žen. Ve všech případech byl vztah hyperbolický (Poole et al., 2016).

Tento vztah je stále evidentní, když se dnešní světové rekordy popíší stejným principem. Ten určuje, že vztah výkonu s dobou trvání je hyperbolický. Je také známo, že tento hyperbolický vztah platí nejenom pro jednotlivce, kteří dělají sport zaměřený na celé tělo (cyklistika, běhání, plavání, veslování), ale také na cvičení omezeno na jediný sval nebo kloub (Burnley 2009).

Kritický výkon byl prvně definován pro dynamické kontrakce. Později byla definována kritická síla, která platí pro izometrické kontrakce.

### 2.7.1 Definice kritické síly

Kritická síla byla původně definovaná jako externí silový výkon, který by mohl být udržitelný „nekonečnou dobu“ nebo na velmi dlouhou dobu bez únavy (Place, Bruton, Westerblad 2009).

Tato definice by měla být brána teoreticky, avšak je zřejmé, že žádné cvičení není možné provádět navždy. Spíše je dnes kritické síle (CF) porozuměno tak, že rozděluje silové výkony, u nichž je předvídatelně omezena tolerance cvičení, od těch, které lze udržet po delší dobu (<CF). Skutečný čas intolerance pro zátěž prováděné nad CF je definováno rovnicí:

$$T_{\text{lim}} = W' / (P - CF)$$

Rovnice popisuje čas do intolerance cvičení <CF. Funkce 1) výstupního výkonu (P), který je udržován do CF a 2) velikost  $W'$  (práce proveditelná nad kritickým výkonem/silou). Když P je značně nad CF, konstantní zátěž reprezentována  $W'$  parametrem bude rychle využita a tudíž  $T_{lim}$ , bude malý. Pokud P bude blíže CF, potom  $W'$  bude využíváno pomaleji a  $T_{lim}$  bude větší. Rozhodujícím faktorem je zde to, že se předpokládá, že  $W'$  je konstantní P nad CF. Tento dvou-parametrový model výkonu a času naznačuje, že absolutní výkon cvičení závisí pouze na hodnotě CP a hodnotě  $W'$  (Vanhatalo A, Jones AM, Burnley M, 2011).

### **2.7.2 Kritická síla jako ukazatel maximálního metabolického setrvalého stavu**

Kritická síla je považována jako nejvyšší intenzita zatížení, pomocí oxidačního zásobování energie. To znamená, zásobování energie prostřednictvím substrátové fosforylace, dosahuje setrvalého stavu a také, že nedochází k postupné akumulaci krevního laktátu nebo rozkladu intramuskulárního kreatinfosfátu (PCr). Míra Intenzity laktátové produkce v pracujícím svalu se shoduje s jinými svaly a tkáněmi. (Smith JC, Hill DW, 1993).

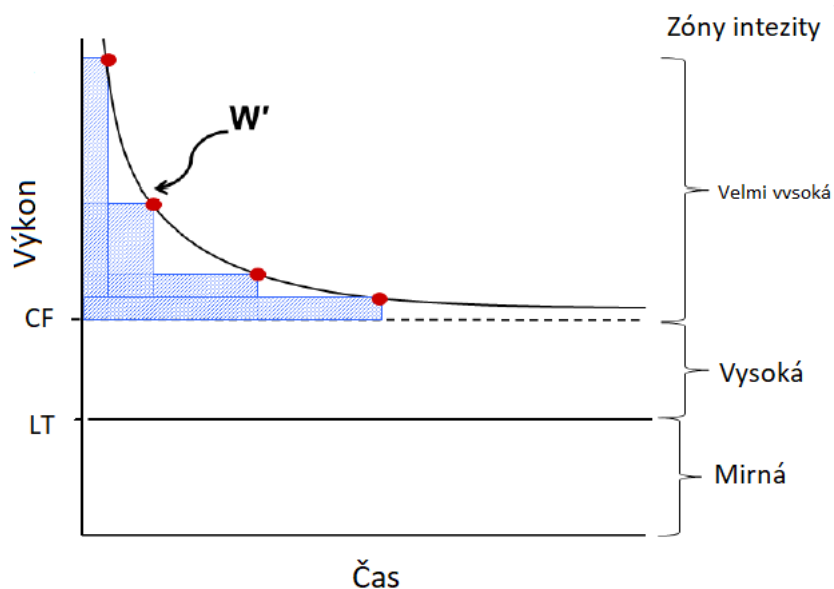
Ačkoliv je možné určit kritický výkon (platí i pro CF) na přesnou hodnotu Wattu (např. 200 W), při typické chybě ~ 5% by se CF mohla pohybovat okolo 190 W a 210 W u daného jedince. Proto by se mělo dbát na to, aby subjekt cvičil přesně na hranici určenou CF, aby se nestalo, že pokud bude cvičit nad svou hranicí CF, vyvolá to související dopady ve fyziologických odezvách a v toleranci cvičení (Poole et al., 2016). Práh kritické síly leží přibližně ve stejné vzdálenosti mezi laktátovým prahem (LT) a maximálním silovým výkonem dosaženým během stupňovaného cvičení. Avšak LT a CF se mohou široce lišit od sebe, díky rozdílnému zdravotnímu stavu nebo trénovanosti. Konkrétně LT a CF nastává na 50%-65% a 70%-80%  $VO_{2max}$  u zdravých mladých subjektů. Naopak u dobře trénovaných jedinců (kde nejvyšší intenzita zatížení aerobního metabolismu je zvýšena díky vytrvalostnímu tréninku) nebo u pacientů s chronickým onemocněním, LT a CF dosahuje přibližně 70%-80% a 80-90%  $VO_{2max}$  (van der Vaart et al., 2014).

Fyziologické chování se mění výrazně podle toho, jestli stálý silový výkon je prováděn na nebo nad predeterminovanou hodnotou CF. (Poole et al., 1988) měřili fyziologické odezvy dobrovolníků na cyklistických ergometrech, při konstantním silovém výkonu nastaveném na a nad 5% predeterminované CF. Během cvičení přesně na CF, subjekty dosáhly setrvalého stavu v plicní výměně plynů, ventilaci i v koncentraci laktátu a byly



všichni schopny, test dokončit ve vymezeném čase 24 minut cvičení bez problémů. Naopak, během cvičení nad hranicí CF, setrvalý stav nebyl zpozorován s narůstající  $VO_2$  a zvyšujícím se laktátem dokud cvičení nebylo ukončeno před cílem 24 minut. Tato studie ukazuje, že CF je práh, který rozděluje zóny intenzity cvičení, v rámci kterého  $VO_2$  a krevní laktát nevzrůstají a naopak, ty které ano. Mimo to, tato studie označuje, že existuje rozsah silových výkonů, které jsou zdánlivě sub-maximální, ale pro které  $VO_{2max}$  bude dosaženo, pokud cvičení je dokonáno do intolerance. Jak pro zátěž v těžké intenzitě (heavy intensity) a velmi vysoké intenzitě (severe intensity) prezence  $VO_2$  pomalých komponent kyslíku narušuje intenzitu zátěže %  $VO_{2max}$  při daném výkonu.  $VO_{2max}$  se zvyšuje v závislosti na čase.

Použitím cvičení na extenzi kolene během P-magnetické rezonanční spektroskopie, (Jones et al., 2008) potvrdili, že tento práh CF se také aplikuje u intramuskulárního metabolismu. Během zátěže 10% pod CF, hodnota kreatinfosfátu (PCr) a koncentrace inorganických fosfátů (Pi) a pH dosáhli konstantních hodnot během prvních 2 minut od začátku zátěže a byly udržovány konstantně 20 minut, zatímco během zátěže 10% nad CF, tyto proměnné se změnily progresivně s časem, dokud toleranční limit nebyl dosažen (přibližně za 12 minut). Během konstantní silové zátěže byly pozorovány pomalá komponenta kyslíku, která se zvyšovala ve  $VO_2$  (Poole et al., 1988) a pokles v koncentraci PCr, které indukují plynulou ztrátu kosterní svalové efektivity s důležitými dopady pro proces únavy (Burnley, Jones 2007),(Grassi, Rossiter, Zoladz, 2015).

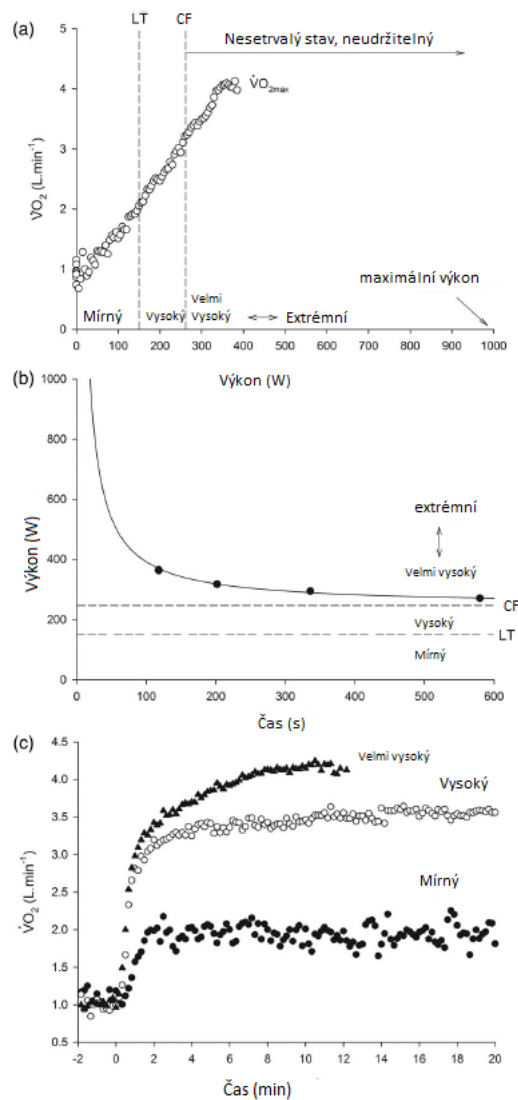


(Obrázek č. 3 Hyperbolická křivka kritického výkonu,  $W'$ = práce proveditelná nad kritickou silou, CF= kritická síla, LT= laktátový práh) (Poole et al., 2016)

Hyperbolická křivka výkonu a času definuje toleranční limit pro cvičení na celé tělo jako cyklistika, běh a hlavně také pro individuální sval nebo kloub nebo svalovou skupinu. Křivka je postavena z cvičícího subjektu při konstantním výkonu do bodu vyčerpání (červené body 1-4). Typicky tyto testy jsou prováděny rozdílné dny a končí vyčerpáním po 2-15 minutách. Tento hyperbolický vztah je definován dvěma parametry; asymptotou kritické síly a konstantou zakřivení  $W'$  (zakreslen obdélníky nad CF, vyjádřený v kJ). Všimněte si, že CF definuje horní hranici zóny vysoké intenzity a reprezentuje nejvyšší výkon udržitelný bez ztráty  $W'$ . Nad hranicí CF (velmi vysoká intenzita zátěže) dochází k vyčerpání, kdy  $W'$  je zcela vyčerpáno. Zátěž velmi vysoké intenzity je charakterizována  $VO_2$ , který se zvyšuje neustále do  $VO_{2max}$  a laktát se zvyšuje do vyčerpání (Poole et al., 2016).

### 2.7.3 Zóny zatížení

Charakteristická bioenergetická odpověď na zátěž se liší zónou intenzity, ve které se dané cvičení provádí. (Burnley, Jones, 2007; Gaesser and Poole, 1996; Poole, Jones 2012; Whipp, 1994). Čtyři zóny intenzity byly doposud určeny. Mírná (moderate) (silová zátěž pod laktátovým prahem, LT), vysoká (silová zátěž mezi laktátovým prahem a prahem kritické síly), velmi vysoká (silová zátěž nad CF, která může být udržována dokud  $VO_{2max}$  není dosaženo) a extrémní (závěrem této silové zátěže je selhání úkolu před dosažením  $VO_{2max}$ ) V každé této zóně časová reakce  $VO_2$  je rozdílná. Při zátěži mírné intenzity dochází k dosažení setrvalého stavu během prvních 2-3 minut od začátku zátěže. Při zátěži vysoké intenzity je setrvalý stav dosažen během 10-20 minut, díky vzniku  $VO_2$  pomalých komponent, které zvyšují výdaje  $O_2$ . Při zátěži velmi vysoké intenzity setrvalý stav není možný, protože  $VO_2$  dosahuje maxima. Při zátěži extrémní intenzity, jak už bylo zmíněno, dochází příliš brzo k nesplnění úkolu tudíž  $VO_2$  nemůže vystoupat na maximum. Rozdíly ve  $VO_2$  reakcích v každé zóně jsou také ve svalově metabolických a acido-bazických reakcích (Jones et al., 2008; Poole et al., 1988; Vanhatalo et al., 2016).



(Obrázek č. 4 Reakce absorpce kyslíku na zátěž (a) vztah výkonu a času (b)  $\dot{V}O_2$  reakce na konstantní zatížení v mírné, vysoké, a velmi vysoké zátěži (c) (Burnley M, Jones, A. M. 2016).

Osa x (a) poskytuje kompletní rozsah dosažitelného silového zatížení v typicky mladém fit účastníkovi (nespecificky trénovaném). Zóny silové zátěže a jejich fyziologické okrajové body jsou anotovány stejně jako  $\dot{V}O_{2max}$  hodnota účastněného. Povšimněme si toho, že je zde velký rozsah silových zatížení, která jsou v nesetrvavém stavu a tedy neudržitelné. (B) vztah výkonu a času toho samého účastníka je vyneseno ze čtyř konstantních výkonů, provedených do nesplnění úkolu. Zóny intenzity jsou také anotovány pro srovnání. (C)  $\dot{V}O_2$  reakce na mírnou, vysokou a silnou zátěž jsou vyneseny se setrvalým stavem v mírné a vysoké zátěži (v druhém případě zpožděný  $\dot{V}O_2$  pomalých komponent). Zatímco bez známky setrvalého stavu ve velmi vysoké zátěži, místo toho bylo dosaženo  $\dot{V}O_2$  maximum (Burnley M, Jones, A. M. 2016).

#### 2.7.4 Vysvětlení $W'$

Zatímco CF parametr je definován jako nejvyšší intenzita zatížení, která může být udržitelná bez plynulého snížení  $W'$ . Fyziologické determinanty  $W'$  jsou složitější na vyřešení. Původně  $W'$  bylo koncipováno jako anaerobní komponenta vysokoenergetických fosfátů a energie získaná z anaerobní glykolýzy, společně s malým množstvím aerobní energie spojená s kyslíkovou zásobou. (Westerblad, Allen, 2003. Moritani et al., 1981). Zatímco matematicky správně, fyziologická interpretace tohoto modelu je více komplexní než se původně myslelo. Kvalitativní vztah mezi rozvojem  $VO_2$  pomalých komponent a dynamickými změnami  $W'$  během zátěže při velmi vysoké intenzitě, společně s pozitivní korelací mezi velikostí  $VO_2$  pomalých komponent a velikostí  $W'$  (Murgatroyd et al., 2011. Vanhatalo et al., 2011) určuje vnitřní souvislost, mezi ztrátou kosterní svalové efektivity a rozvojem únavy. CF a  $W'$  mohou změnit svoji reakci při použití vnějšího zásahu. Např. Vytrvalostní trénink a dýchání hyperoxického plynu (Vanhatalo et al., 2010), které mají tendenci zvyšovat CF do většího rozsahu než  $VO_{2max}$ , čím se snižuje dosah metabolitů v zóně vysoké intenzity; v takových to situacích je tu přiměřená redukce  $W'$ . Z toho je zřejmé, že CF a  $W'$  by měly být považovány jako komponenty integrovaného bioenergetického systému.

#### 2.7.5 CF pod a nad

V studiích (Fitts, 1994. Cooke et al., 1988. Katz, Sahlin, Henriksson, 1986. Sahlin et al., 1997. Westerblad, Allen, 2003) při hledání svalové metabolické odpovědi na zátěž, (posouzeno P-MRS) se hluboce lišily, jestli zvyšující se intenzita práce je buď  $<CF$  nebo  $>CF$ . Výsledky těchto studií byly konzistentní. Konstantní intenzita práce nad CF vyplývá ve využití konečné kapacity ATP resyntézi skrze neoxidační cesty, dokud  $W'$  není vyčerpáno. Během zátěže, která byla pod CF, setrvalý stav ve svalech (PCr) a pH byl dosažen během 3 minut a v (Pi) byl dosažen během první minuty od začátku. Navíc metabolické rozšíření při této intenzitě bylo relativně malé. Po 20 minutách testu (PCr) kleslo na přibližně tři čtvrtiny základní hodnoty a pH bylo 7,01. V přímém kontrastu, během zátěže, které bylo těsně nad CF, přišla strmá změna v pH a (Pi) během prvních 3-6 minut zátěže PCr spadl progresivně s časem, dokud subjekty nebyly schopny udržet intenzitu práce. Výsledky tedy ukazují, že CF vymezuje zónu zátěžové intenzity, v rámci kterého svalové metabolity mohou být rapidně stabilizovány a udržovány na

odpočinkové hodnoty, od těch které strmě mění pH a Pi nebo postupně PCr na hodnoty, které by mohly limitovat výkon.

## 2.8 Setrvalý stav

Setrvalý stav je stav, při kterém se transportní systém vykompenzoval s vyšší spotřebou pracujících svalů na dodávku O<sub>2</sub> a odvod metabolitů a CO<sub>2</sub>.

Setvalý stav vzniká reakcí transportního systému na dynamickou a statickou zátěž.

Při přechodu z klidového stavu do zatížení jsou popsány u transportního systému dvě fáze:

1) iniciační fáze, která trvá 30–45 sekund a je typická velkými funkčními změnami v transportním systému.

2) přechodová fáze, pomalejší než iniciační fáze. V přechodové fázi dochází k postupné adaptaci transportního systému potřebě pracujících svalů. Tato fáze nastává po několika minutách při zatížení okolo 60 % VO<sub>2max</sub> do setrvalého stavu. V pravém setrvalém stavu se pohybuje SF v rozpětí +-4 tepy/min. Setrvalý stav definuje především intenzita zatížení. Čím větší intenzita zatížení, tím déle přichází setrvalý stav. Při vyšší intenzitě zatížení, ale setrvalý stav nemusí ani nastat. Maximální metabolický setrvalý stav je nejvyšší definovaná intenzita, při které může nastat setrvalý stav, odpovídá anaerobnímu prahu nebo těsně pod ním. Po začátku výkonu se díky funkčním změnám v transportním systému zvyšuje VO<sub>2</sub> a výdej CO<sub>2</sub> (Lehnert et. al, 2014).

Nad hranicí kritické síly postupně dochází k postupnému nesplnění úkolu, jelikož zde již není setrvalý stav, naopak pod hranicí kritické síly nastává setrvalý stav (pouze v setrvalém stavu jsou metabolické procesy v rovnováze), tudíž danou zátěž by šlo vydržet tzv. „nekonečně dlouho“ (fyziologicky dokud by nedošlo k limitaci metabolických zásob ve svalech).

## 2.9 Určení kritické síly u lezců

Metody pro stanovení CF byly prokázány pro řadu svalových skupin. Existuje však nedostatek údajů popisujících použití CF testů na flexorech prstů u lezců. První studie zabývající se tímto problémem byla (Kellawan JM. Tschakovsky, 2014). Ti využili pro stanovení CF ruční dynamometry. Ty se ale ukázaly jako nevhodné, díky nedostatečné specifičnosti dynamometru k lezeckému výkonu. Determinací kritické síly flexorů prstů

by hrálo velkou roli ke zlepšení a monitorování lezeckých tréninků. Studie (Giles et al., 2019) měla za úkol zjistit, zda matematický model CF a  $W'$  je použitelný pro intermitentní izometrické kontrakce flexorů prstů.

### **3 Shrnutí teoretické části**

V teoretické části jsem předložil informace z lezeckého charakteru a lezeckého výkonu, kde především hrají roli komponenta maximální síly a vytrvalosti flexorů prstů.

Z hlediska kontroly intenzity zatížení, systémová odezva není v korelaci s lokální únavou. Na základě toho, se zdá, že model kritické síly by mohl lépe popsat lokální únavu, která je vhodnějším ukazatelem intenzity zatížení v lezení. To především proto, že kritická síla se pohybuje na hranici maximálního metabolického setrvalého stavu, kde dochází k výkonu, kdy ještě jsou metabolické procesy v rovnováze.

## **4 Cíl práce**

Cílem této práce je ověření, zda 4minutový all-out test spolehlivě určí úroveň kritické síly.

## **5 Metodika**

### **5.1 Soubor**

Výzkumný soubor byl vytvořen záměrným výběrem a skládal se ze sedmi lezců dobrovolníků mužského pohlaví (věk  $23,2 \pm 3,8$  let, tělesná hmotnost  $71,7 \text{ kg} \pm 8,3\text{kg}$ , výška  $178,5\text{cm} \pm 6,5\text{cm}$ ) a ženského pohlaví (věk 23 let, tělesná hmotnost 65 kg, výška 170cm). Subjekty byly záměrně vybrány tak, aby jejich výkonnost se pohybovala nad 7+ včetně stupnici obtížnosti UIAA. Výkonnost lezců byla dána aktuálně nejvyšším přelezem ve stylu RP. Žádný dobrovolník netrpěl zdravotními obtížemi, ani nepožíval jakékoliv medikamenty.

### **5.2 Realizace měření**

Všichni subjekty byly pozvány ke třem návštěvám laboratoře sportovní motoriky na Fakultě tělesné výchovy a sportu, jednotlivé návštěvy byly od sebe v rozmezí minimálně 2 až 6 dnů a v posledních 24 hodinách odpočívaly (neprováděly žádné těžké cvičení). 3 hodiny před každým testováním nepožily žádné jídlo ani nic, co by obsahovalo kofein. Před samotným testováním vždy proběhlo standardizované rozcvičení, které se skládalo ze zahřátí pomocí švihadla po dobu tří minut. Následované mobilizací kloubů pomocí odporových gum a zakončené třemi minutami lezení na kolmé boulderové stěně.

Všechny testy probíhaly na trojrozměrném systému pro hodnocení výkonu v lezení (3DSAC), který byl vytvořený Národní sportovní akademií v Sofii v Bulharsku. Jedná se o lezecký chyt, který je namontovaný na speciální konstrukci, která měří sílu tahu. Chyt, má tvar a velikost, aby maximalizoval svalovou aktivaci flexorů prstů a snižoval riziko zranění (Michailov, 2018). Chyt má hloubku 23mm. Všechny výsledné hodnoty z testu se okamžitě zobrazovali v programu na počítači. Tyto hodnoty jsme využily na následné výpočty v našem výzkumu.

Výška aparátu se nastavila tak, aby subjekt měl mírně pokrčenou paži. Cvičenec při testu stojí čelem k chytu. Subjekt tlačí na chyt pomocí polozavřeného nebo otevřeného

úchopu bez zamykání palce. Před každým testem byly vždy subjektům znovu řečeny všechny instrukce k testování.

Při první návštěvě proběhl test k určení maximální síly a all out test k určení kritické síly subjektu. Na určení maximální síly jsme udělali dva pokusy na chytu, kde subjekty měly za úkol, během tří sekund vykonat největší možnou sílu. Po prvním pokusu následovala minutová pauza a poté ještě jeden pokus.

Následný all-out test, který se prováděl na stejném zařízení jako test maximální síly, spočíval v 24 sedmi sekundových kontrakcích, při kterém subjekt měl po celou dobu každé kontrakce, vyvíjet maximální sílu na chyt. Mezi jednotlivými kontrakcemi byla tří sekundová pauza, kde subjekty měly možnost nanést magnézium a vyklepat pro lepší regeneraci mezi kontrakcemi. Jelikož se jednalo o velmi psychicky náročný test, subjekty byly celou dobu povzbuzovány. Toto měření bylo nadefinováno dle (Giles et al., 2020). Tento test nám určil kritickou sílu subjektů, kterou jsme využili v dalším testování.

Následující dva testy probíhaly taktéž na 3DSAC, avšak při těchto testech jsme využili displej na přístroji, který nám dá možnost přesně sledovat, jakou sílu při tahu na lištu vyvíjíme. Pro druhý test jsme předurčili sílu, na které se musí subjekt držet 2kg nad úrovní kritické síly. Program připraví zónu, ve které se musí subjekt držet, další 2kg pod a nad předurčenou kritickou silou. (Např. subjekt má vzorovou hodnotu 33kg, ale může jít 2kg nad i pod, aby se udržel v předurčené zóně). Subjekt se celou dobu dívá na displej, kde si kontroluje, že je skutečně v zóně, která mu je určená. Displej je připevněný tak, aby mu nepřekážel v testu. Kontrakce jako při prvním testu byly opět 7 sekund na liště a 3 sekundy pauza, v tomto čase může subjekt pro rychlejší regeneraci vyklepávat a také použít magnézium. V momentu, kdy subjekt není schopen udržet předurčenou hodnotu během celých sedmi sekund, test je ukončen.

Třetí test se provádí úplně stejně jako druhý, ale s tím rozdílem, že tentokrát šly subjekty 2kg pod kritickou sílu. Pokud nedošlo k nedokončení úkolu do dvaceti minut, byl test ukončen a splněn. Po obou měřeních měly subjekty ohodnotit obtížnost testu dle Borgovy škály (od 6-20). Pořadí těchto dvou testů bylo náhodně vylosováno.

Čas predikce jsme určili ze vstupních dat all out testu, z kterých vychází, že když subjekt při stejné kritické síle, bude provádět kontrakce 2kg nad, tak by měl mít stejně



velkou anaerobní komponentu, tudíž když známe velikost kritické síly nad (což jsou 2kg), můžeme odvodit sekundy tím, že to vydělíme.



(Obrázek č. 5 Testovací pozice s a bez fixace paže) (Michailov, 2018)



(Obrázek č. 6. Úchop během kontrakce bez použití palce) (Michailov, 2018)

### 5.3 Vyhodnocení výsledků

K vyhodnocení výsledků byly použity základní funkce deskriptivní statistiky a základní aritmetické operace. Výsledky byly porovnány v tabulkách a grafech.

Kritická síla (CF) byla zjištěna pomocí aritmetického průměru posledních tří hodnot (kg) z 22. až 24. kontrakce v all-out testu.

Celková práce (W) byla zjištěna nejprve vynásobením maximální síly v kontrakci, s délkou tlačení na chyt v dané kontrakci, tím jsme získali W pro jednotlivou kontrakci. Poté jsme všechny tyto hodnoty sečetly.

Práce proveditelná nad kritickou silou ( $W'$ ) byla zjištěna, že jsme každé W jednotlivé kontrakce odečetli průměrem W posledních tří finálních kontrakcí.

## 6 Výsledky

Výsledky z měření sedmi lezců s výkonností RP větší než 7+ jsou vyznačeny v následujících tabulkách.

	Věk	Hmotnost	Výška	Dom. ruka	RP výkon	Boulder v	Fmax
Testovaný 1	23	69	173	RH	7+	6a+	51,00
Testovaný 2	27	80	185	RH	7	6a	56,00
Testovaný 3	23	65	170	RH	7+	6a	37,00
Testovaný 4	22	72	178	RH	8+	7B+	63,00
Testovaný 5	23	76	174	RH	8+	7B	73,00
Testovaný 6	22	71	182	RH	8	7C	59,00
Testovaný 7	23	62	179	RH	7+	6C	53,00

(Tabulka č.1 V první tabulce jsou porovnány všechna výchozí vstupní data (která byla nahlášena před prvním testem), jako věk, hmotnost (kg), výška (cm), dominantní ruka, nejvyšší RP výkon v lezení na obtížnost v UIAA, nejlepší boulderový výkon ve francouzské boulderové stupnici a maximální síla ze vstupního testu (kg)

	CF( v kg)	CF%max	W(celková)	W/Kg	W' (kg.s)
Testovaný 1	20,00	0,39	4341,60	62,92	1284,50
Testovaný 2	20,00	0,39	4351,00	54,39	1020,10
Testovaný 3	15,30	0,44	2743,00	42,20	450,50
Testovaný 4	17,00	0,31	4731,90	65,72	2011,70
Testovaný 5	31,30	0,46	6382,30	83,98	1689,50
Testovaný 6	20,00	0,33	4371,80	61,57	1395,20
Testovaný 7	21,00	0,45	4760,80	76,79	1331,30

(Tabulka č. 2 Z all out testu jsme získali tato data; kritická síla (kg), kritická síla (% Fmax-maximální síla), Celková práce (kg.s), práce dělená hmotností, práce proveditelná nad kritickou silou (kg.s). (viz příloha č. 1)

	CF pod (kg)	čas(x0.7) (s)	Borg	celk. čas v zóně (s)	% v zóně	průměrná síla v zóně (kg)
Testovaný 1	17,00	843	17,00	796	0,94	16,38
Testovaný 2	18,00	581	14,00	565	0,97	17,66
Testovaný 3	13,00	845	13,00	756	0,89	12,55
Testovaný 4	15,00	844	19,00	806	0,95	14,17
Testovaný 5	29,00	372	18,00	310	0,83	28,19
Testovaný 6	17,00	844	19,00	803	0,95	16,70
Testovaný 7	19,00	418	13,00	369	0,88	17,90

(Tabulka č. 3 Třetí tabulka obsahuje data z druhého testu měření kontrakcí 2 kg pod hranicí kritické síly. Tabulka obsahuje tyto hodnoty: Predeterminová kritická síla 2kg pod, celkový čas měření(s), hodnota subjektivního hodnocení Borg, celkový čas v zóně (s) Čas v zóně reprezentuje čas, kdy subjekt se pohyboval v rozmezí 2kg pod a nad predeterminovanou hodnotou. Tento čas není stejný jako celkový čas, protože subjektu vždy trvá několik desetin sekundy každé kontrakce, než vystoupá na predeterminovanou hodnotu kritické síly, kolik % z celkového času byl subjekt v predeterminované zóně, průměrná síla v zóně (kg).

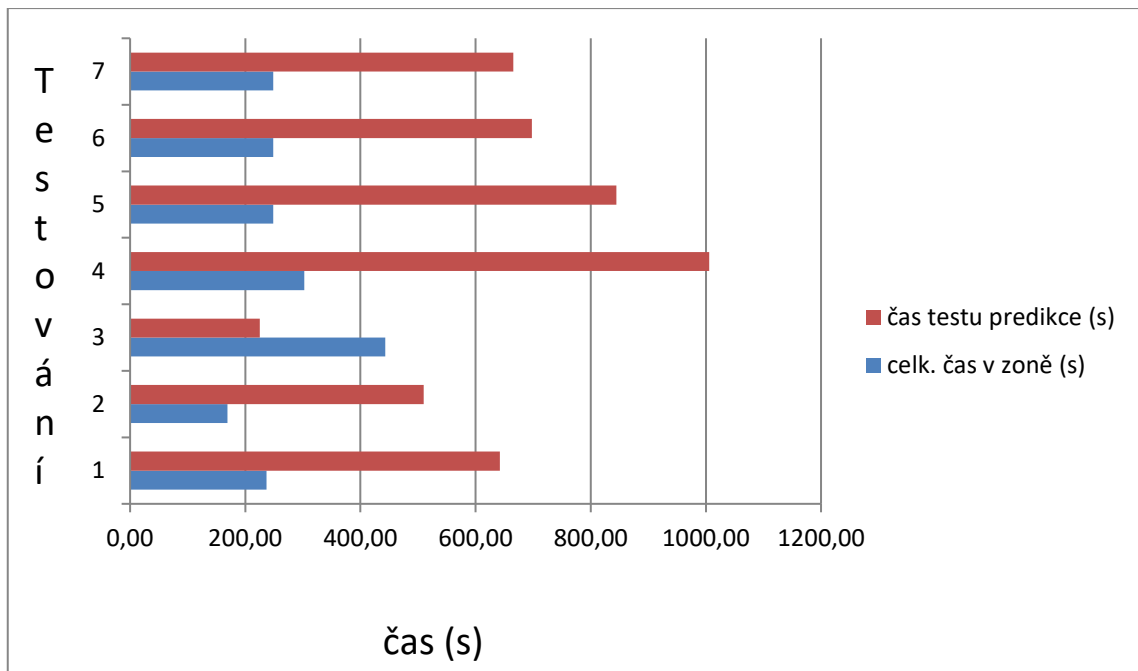
Z tabulky také lze vyčíst, že daný test dokončili 4 subjekty, téměř všichni s velmi vysokým hodnocením vnímaného úsilí.

CF nad	čas (x 0.7)	celk. čas v zóně (s)	průměrná síla v zóně	W=	čas testu predikce (s)	Borg
22,00	259	237	21,29	5043,47	642	11,00
22,00	174	169	21,89	3706,44	510	13,00
17,00	527	443	16,60	7354,85	225	18,00
19,00	322	303	18,76	5677,55	1006	13,00
33,00	272	248	33,06	8211,01	845	14,00
22,00	287	251	21,36	5364,22	698	13,00
23,00	287	239	21,40	5111,58	666	11,00

(Tabulka č. 4 Čtvrtá tabulka obsahuje data z třetího testu měření kontrakcí 2kg nad hranicí kritické síly a vypočítané predikce testu z našeho měření na základě all out testu (Giles et al., 2020)

(Tabulka obsahuje tyto hodnoty: Predeterminová kritická síla 2kg nad, celkový čas měření(s), celkový čas v zóně(s) (čas v zóně reprezentuje čas, kdy subjekt se pohyboval v rozmezí 2kg pod a nad predeterminovanou hodnotou. Tento čas není stejný jako

celkový čas, protože subjektu vždy trvá několik desetin sekundy každé kontrakce, než vystoupá na predeterminovanou hodnotu kritické síly), průměrná síla v zóně (kg), celková práce(kg.s), čas predikce testu (s) (čas predikce testu jsme vypočítali vydělením 2kg od W' (práce proveditelná nad kritickou silou (kg.s). Poslední hodnota v tabulce je subjektivního hodnocení Borg)



Graf č. 1 Porovnání reálného času v zóně s predikovaným časem testu

Z grafu č. 1 lze vyčíst, že všichni testovaní kromě jednoho nedokázali naplnit predikce.

Testem 2kg nad kritikou silou u všech subjektů došlo k nesplnění cvičení, u všech kromě jednoho subjektu, mezi 40-50 kontrakcemi.

## 7 Diskuze

Záměrem této studie bylo zjistit, zda kritická síla flexorů prstů určená ze 4 min all-out testu, může být vhodným ukazatelem maximálního metabolického setrvalého stavu. V práci (Giles et al., 2020) podstoupilo 129 subjektů dvě měření. První měření spočívalo v určení maximální síly. To bylo zjištěno na základě tří 5sekundových maximálních kontrakcí na liště a mezi každým pokusem byla vždy pauza 120 sekund. Měřena byla pouze dominantní ruka.

Obě měření probíhala na specifickém dynamometru na chytu s hloubkou 20mm.

Kritická síla byla determinována druhým testem pomocí maximálních kontrakcí s poměrem 7:3 cvičení-pauza. Subjekty byly instruovány, aby při každé kontrakci vyprodukovaly maximální sílu na chyt a zároveň udržely pozici polozavřeného úchopu bez použití palce. Při odpočinku mezi kontrakcemi nemohly vyklepávat, ale mohly použít magnézium.

Původně bylo stanoveno 30 kontrakcí k dosažení plató, ale postupně došli k závěru, že tento stav nastává již po 24 kontrakcích.

Všechny subjekty dokončily stejný all-out test a dosáhly plató po 24 kontrakcích. Průměrná hodnota kritické síly jím vyšla 40% maximální síly.

Jelikož nám vyšli stejné výsledky jako Giles a spol. tak jsme stanovili dva testy jeden 2kg pod a 2kg nad, abychom zjistili, zda tedy subjekty budou prokazovat podobné výsledky pro kritickou sílu.

Dle konceptu kritické síly by měly subjekty 2kg pod určenou kritickou silou vydržet tzv. „nekonečně dlouho“ (a zároveň by tento test subjektivně neměl být na hranici „morální výdrže“), proto pro ukončení testu jsme stanovili hranici 20 minut. Tuto hranici splnily 4 subjekty ze všech sedmi subjektů. 3 z těchto subjektů tento test ohodnotily na Borgově škále jako velmi obtížný (známkami 17, 19, 19). Jednomu z testovaných byla během testu poskytnuta v pauze voda (jinak by dle jeho pocitu mohl během testu omdlít). Zároveň dvou testovaným, kteří test dokončili, byla chybou měření vložena špatná hodnota pod kritickou silou a to 3kg pod a i oni ohodnotili test na Borgově škále velmi vysoko.

Jeden testovaný dosáhl celkového predikovaného času, tento výsledek může být spojován s tím, že má velkou složku anaerobní kapacity.

U testů do vyčerpání vždy bývá jedna velká limitace a to je morální obtížnost těchto testů. Ne všichni testovaní mají předpoklady, na to vydržet to neustálé zatěžování, proto při těchto testech je potřeba volit testované, kteří mají určitou zkušenost na lištách, aby byli zvyklí podstupovat takovéto testy. Zároveň pro další testování by určitě bylo lepší, změřit mnohem více testovaných pro přesnější výsledek.

## **8 Závěr**

Po dokončení všech testů jsme došli k závěru, že nedošlo ke splnění hypotézy a účastníci nesplnili očekávaná kritéria, z toho vyplývá, že kritická síla stanovená 4 min all-out testem, nepředstavuje metabolický setrvalý stav.

4 min all-out test pro zjištění kritické síly nadhodnocuje predikci kritické síly průměrně o 3 kg.

Kritická síla v sobě jednoznačně skrývá mnoho nevyřešených otázek, na které má stále více smysl hledat řešení. Z hlediska lezeckého výkonu má tato oblast velký potenciál a je vhodné v této oblasti bádát dál.



## 9 Seznam literatury:

BALÁŠ J. (2016). *Fyziologické aspekty výkonu ve sportovním lezení*. Praha Karolinum. První vydání. ISBN 978-80-246-3361-9

BALÁŠ J, PANÁČKOVÁ M, JANDOVÁ S, MARTIN AJ, STREJCOVÁ B, VOMÁČKO L, CHAROUSEK J, COCHRANE DJ, HAMLIN M, DRAPER N. The effect of climbing ability and slope inclination on vertical foot loading using a novel force sensor instrumentation system. *Journal of Human Kinetics*. 2014 Dec 30;44:75-81. doi: 10.2478/hukin-2014-0112. PMID: 25713667; PMCID: PMC4327382.

BILLAT V, PALLEJA P, CHARLAIX T, RIZZARDO P, JANEL N, Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. (1995). *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 20-24.

BURNLEY M, JONES, A. M. Power duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. (2018) Vol. 294, No. 22016 European College of Sport science.

BURNLEY M, JONES AM. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal Sports Science*. 2007; 7:63–79.

BURNLEY M. Estimation of critical torque using intermittent isometric maximal voluntary contractions of the quadriceps in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2009; 106:975-83. [PubMed:19160854]

COOKE R, FRANKS K, LUCIANI GB, PATE E. The inhibition of rabbit skeletal muscle contraction by hydrogen ions and phosphate. *Journal of Applied Physiology* 395: 77–97, 1988.

ČECHOVSKÁ, I., & DOBRÝ, L. Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití. *Tělesná výchova a sport mládeže*, 2008

DONATH, L., ROESNER, K., SCHÖFFL, V., & GABRIEL, H. H. W. (2013). Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: Another link to

overuse-induced injuries? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(4), 406-414. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x

ENGEL FA, SPERLICH B, STÖCKER U, WOLF P, SCHÖFFL V, DONATH L. Acute Responses to Forearm Compression of Blood Lactate Accumulation, Heart Rate, Perceived Exertion, and Muscle Pain in Elite Climbers. *Frontiers in Physiology*. 2018 May 23;9:605. doi: 10.3389/fphys.2018.00605. PMID: 29877508; PMCID: PMC5974167.

FITTS RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews* 74: 49–94, 1994.

FUSS FK, NIEGL G. Instrumented climbing holds and performance analysis in sport climbing. *Sports Technology* 2008; 1: 301–313.

GILES D, An all-out test to determine finger flexor critical force in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2020. IJSPP.2020-0637

GILES D, CHIDLEY J B, TAYLOR N, TORR O, HADLEY J, RANDALL T, FRYER S The Determination of Finger-Flexor Critical Force in Rock Climbers *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 14, 972-979

GRASSI B, ROSSITER HB, ZOLADZ JA. Skeletal muscle fatigue and decreased efficiency: two sides of the same coin? *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2015; 43:75–83. [PubMed: 25688762]

HOROSVAZ.CZ: *sportovni lezeni a bouldering* [online] 2021. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.horosvaz.cz/sportovni-lezeni-a-bouldering/>

HOROSVAZ.CZ: *soutěžní lezení* [online] 2021. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.horosvaz.cz/soutezni-lezeni/informace-o-souteznim-lezeni/>

JONES A. M, WILKERSON D. P, DIMENNA F, FULFORD J, POOLE D C. Musclemetabolic responses to exercise above and below the ‘critical power’ assessed using <sup>31</sup>P-MRS. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 294, R585–R593. doi:10.1152/ajpregu.00731.2007

KATZ A, SAHLIN H, HENRIKSSON J. Muscle ATP turnover rate during isometric contraction in humans. *Journal of Applied Physiology* 60: 1839–1842, 1986.

KELLAWAN JM, TSCHAKOVSKY ME. The single-bout forearm critical force test: a new method to establish forearm aerobic metabolite exercise intensity and capacity. *PLoS ONE*. 2014;9(4):e93481.

KODEJŠKA J. Efekt ponořování předloktí do studené vody na opakované izometrické kontrakce flexorů prstů do vyčerpání u sportovních lezců. Praha, 2018. Disertační práce na UK FTVS. Vedoucí disertační práce BALÁŠ J.

LUBOMIROV M, MICHAĽOV, BALÁŠ J, TANEV, ANDONOV, KODEJŠKA, BROWN (2018) Reliability and Validity of Finger Strength and Endurance Measurements in Rock Climbing, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89:2, 246-254, DOI: 10.1080/02701367.2018.1441484

LEHNERT M, BOTEK M, SIGMUND M, SMĚKAL D et. al. *Kondiční trénink* [online]. Univerzita Palackého v Olomouci, 2014 [cit. 2021-01-12].

MORITANI T, NAGATA A, DEVRIES HA, MURO M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*. 1981; 24:339–50. [PubMed: 7262059]

Multimediální učebnice Turistika a sporty v přírodě: *Hodnocení obtížnosti sportovních cest* [online]. 2013 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: [http://web.ftvs.cuni.cz/eknihy/turistika/?stranka=lezeni\\_lano](http://web.ftvs.cuni.cz/eknihy/turistika/?stranka=lezeni_lano)

Multimediální učebnice Turistika a sporty v přírodě: *Hodnocení obtížnosti bouldrů* [online]. 2013 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <http://web.ftvs.cuni.cz/eknihy/turistika/?stranka=bouldering>

MURGATROYD SR, FERGUSON C, WARD SA, WHIPP BJ, ROSSITER HB. Pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2011; 110:1598–606. [PubMed: 21415174]

PLACE N, BRUTON JD, WESTERBLAD H, Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in mouse isolated single muscle fibres. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2009;36:334-339.

POOLE DC, WARD SA, GARDNER GW, WHIPP BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*. 1988; 31:1265–79. [PubMed: 3191904]

- POOLE, BURNLEY, VANHATALO, ROSSITER, JONES. Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016 November ; 48(11): 2320-2334. Doi:10.1249/MSS.0000000000000939
- POOLE, D. C., WARD, S. A., GARDNER, G. W., & WHIPP, B. J. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31, 1265–1279.
- SAHLIN K, SODERLUND K, TONKONOGI M, HIRAKOBA K. Phosphocreatine content in single fibers of human muscle after sustained submaximal exercise. *American Journal of Physiology-Cell Physiology* 273: C172–C178, 1997.
- SCHÖFFL I, EINWAG F., STRECKER W., HENNIG F., SCHÖFFL V., (2007). Impact of taping after Finger flexor tender pulley ruptures in rock climbers. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(1), 52-62.
- SHEEL A W, SEDDON N, KNIGHT A, MCKENZIE D C, WARBURTON D E R, Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. (2003). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1225-1231.
- SMITH JC, HILL DW. Stability of parameter estimates derived from the power/time relationship. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 1993; 18:43–7. [PubMed: 8471993]
- VAN DER VAART H, MURGATROYD SR, ROSSITER HB, CHEN C, CASABURI R, PORSZASZ J. Selecting constant work rates for endurance testing in COPD: the role of the power-duration relationship. *Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. 2014; 11:267–76. [PubMed: 24182350]
- VANHATALO, A., BLACK, M. I., DIMENNA, F. J., BLACKWELL, J. R., SCHMIDT, J. F., THOMPSON, C.,...JONES, A. M. (2016). The mechanistic bases of the power–time relationship: Muscle metabolic responses and relationships to muscle fibre type. *Journal of Physiology*, 594, 4407–4423. doi:10.1113/JP271879
- VANHATALO A, FULFORD J, DIMENNA FJ, JONES AM. Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a <sup>31</sup>P magnetic resonance spectroscopy study. *Experimental Physiology*. 2010; 95:528–40. [PubMed: 20028850]

VANHATALO A, JONES AM, BURNLEY M. Application of critical power in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2011; 6:128–36. [PubMed: 21487156]

VANHATALO A, POOLE DC, DIMENNA FJ, BAILEY SJ, JONES AM. Muscle fiber recruitment and the slow component of O<sub>2</sub> uptake: constant work rate vs. all-out sprint exercise. *The American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2011; 300:R700–7. [PubMed: 21160059]

WESTERBLAD H, ALLEN DG. Cellular mechanisms of skeletal muscle fatigue. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 538: 563–570, 2003.

WINTER, Stefan. *Sportovní lezení*. České Budějovice: Kopp, 2004. 127 pp.

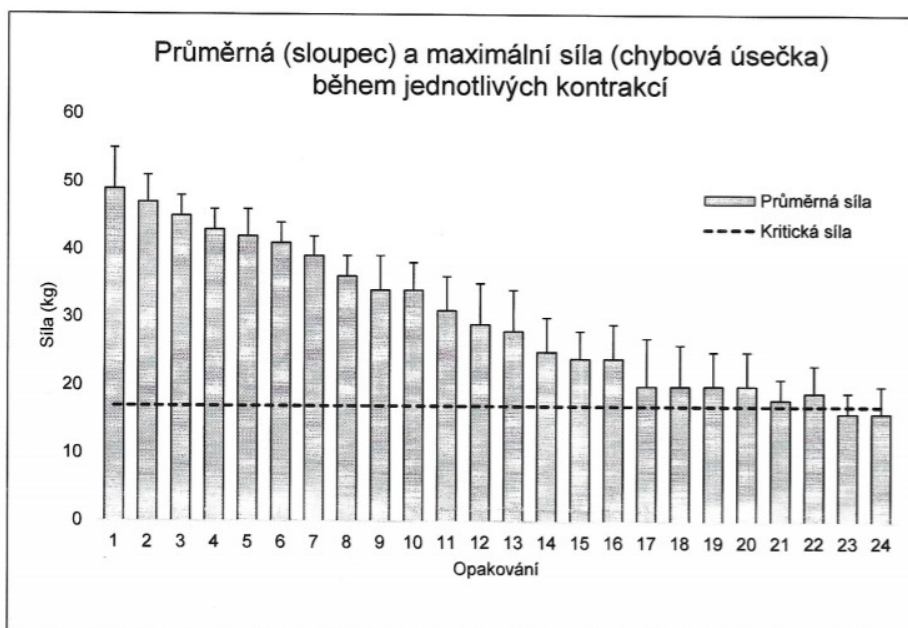
## 10 Přílohy

Příloha č.1 - graf a hodnoty vycházející z all-out testu ( $W'$ = práce proveditelná nad kritickou silou).

### All-out 4 minutový test

s vyklepáváním

Jméno Datum **08-Apr-21**  
Příjmení Hmotnost (kg) **73.0**



Maximální síla (kg)	<b>55</b>	Kritická síla (kg)	<b>17.0</b>
Maximální síla (% TH)	<b>75%</b>	Kritická síla (%TH)	<b>23%</b>
Celková práce (kg.s)	<b>4731.9</b>	Kritická síla (% Fmax)	<b>31%</b>
$W'$ (kg.s)	<b>2011.7</b>	Dosažení kritické síly (opakování)	<b>17</b>
Index únavy (%)	<b>69%</b>		