

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Diagnostika kritické síly flexorů prstů u sportovních lezců

Bakalářská práce

Vedoucí Práce:

Doc. Mgr. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Albert Musil

Praha, 2024

Abstrakt

Název: Diagnostika kritické síly flexorů prstů u sportovních lezců

Cíle: Cílem práce bylo posoudit validitu stupňovaného testu pro určení kritické síly flexorů prstů a lezecké výkonnosti u sportovních lezců.

Metody: Výzkumný soubor se skládal z 26 probandů z nichž bylo 8 žen a 18 mužů (věk $28,3 \pm 7,6$ let, tělesná hmotnost $70,8 \pm 10,5$ kg, výška $174,6 \pm 6,9$ cm, délka lezení $10,4 \pm 5,1$ let). Měřené byly 2 testy ve dvou návštěvách: all-out test 4 min. a stupňovaný test. Tkáňová saturace (tissue saturation index – TSI), oxy[heme] a deoxy[heme] byly zaznamenány pomocí NIRS Portamon na flexoru digitorum profundus. Diagnostika prahu kritické síly (CF) stupňovaného testu proběhla z hodnot TSI, oxy[heme] a deoxy[heme].

Výsledky: CF stupňovaného testu byla v průměru nižší ($8,4 \pm 3,2$ kg) oproti naměřené CF z all-out testu ($20,6 \pm 6,1$ kg). Korelace CF jako procento tělesné hmotnosti (%TH) obou testů s RP výkonem dosahovala stejných hodnot ($r = 0,79$). Nejvyšší vztah s RP výkonem u stupňovaného testu byl nalezen u maximálního výkonu (%TH) $r = 0,80$. Nejnižší vztah s RP výkonem u stupňovaného testu byl nalezen u CF (%TH) $r = 0,40$. Verifikace testu u jednoho probanda prokázala, že CF by se mohla nacházet na úrovni určené stupňovaným testem.

Závěr: Výsledky práce prokázaly, že pro zjištění kritické síly je vhodnější stupňovaný test, neboť all-out test výrazně nadhodnocuje metabolicky setrvalý stav. Na verifikaci výsledků se bohužel podílel pouze jeden účastník a pro budoucí prokázání tohoto výsledku bude nutná další validace. Výsledná kritická síla velmi dobře korelovala se udávanou výkonností účastněných probandů.

Klíčová slova: Kritická síla, sportovní lezení, NIRS.

Abstract

Title: Critical force of finger flexors in sport climbers

Targets: The aim of this study is to assess the validity of a graded test for determining critical strength of finger flexors and climbing performance in sport climbers.

Methods: The research sample consisted of 26 participants, including 8 women and 18 men (age 28.3 ± 7.6 years, body weight 70.8 ± 10.5 kg, height 174.6 ± 6.9 cm, climbing experience 10.4 ± 5.1 years). Two tests were conducted over two visits: a 4-minute all-out test and a graded test. Tissue saturation index (TSI), oxy[heme], and deoxy[heme] were recorded using NIRS Portamon on the flexor digitorum profundus. The diagnosis of the critical force (CF) threshold of the graded test was based on TSI, oxy[heme], and deoxy[heme] values.

Results: The CF from the graded test was on average lower (8.4 ± 3.2 kg) compared to the measured CF from the all-out test (20.6 ± 6.1 kg). The correlation of CF as a percentage of body weight (%TH) from both tests with RP performance reached the same values ($r = 0.79$). The highest relationship with RP performance in the graded test was found in the peak maximum force (%TH) $r = 0.80$. The lowest relationship with RP performance in the graded test was found in CF (%TH) $r = 0.40$. Verification trials with one participant indicated that CF might be at the level determined by the graded test.

Conclusions: The results of the study demonstrated that the graded test is more suitable for determining critical force, as the all-out test significantly overestimates the metabolically steady state. Unfortunately, only one participant was involved in the verification of the results, and further validation will be required to confirm this outcome in the future. The resulting critical force correlated very well with the reported performance of the participants.

Keywords: Critical strength, sport climbing, NIRS.

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 studenta

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Teoretická východiska, stanovení výzkumného problému	8
2.1 Sportovní lezení	8
2.2 Výkon ve sportovním lezení	9
2.2.1 Hodnocení výkonu.....	10
2.2.2 Stupnice obtížnosti	10
2.2.3 Styl přelezu	11
2.3 Ukazatele lezecké výkonnosti.....	12
2.3.1 Maximální síla flexorů prstů.....	12
2.3.1.1 Typy úchopů	13
2.3.1.2 Poloha paže na liště.....	14
2.3.2 Svalová vytrvalost flexorů prstů.....	14
2.3.3 Kritická síla.....	16
2.3.3.1 3 – parametrový vícenávštěvový protokol CF	16
2.3.3.2 All-out test 4 min.	16
3. Cíle práce.....	18
4. Výzkumné otázky.....	18
5. Metody	18
5.1 Design studie.....	18
5.2 Výzkumný soubor.....	19
5.3 Použité metody měření, přístroje,	19
5.4 Stupňovaný-all out test 7/3 5+5 %.....	20
5.5 NIRS blízká infračervená spektroskopie	21
5.6 Vyhodnocení (zpracování) výsledků/statistická analýza	23
6. Výsledky.....	23
7. Diskuse.....	27

8. Závěr.....	28
9. Použitá literatura	28

1. ÚVOD

Sportovní lezení se poslední dobou velmi rychle rozvíjí a nabírá na popularitě. Tento rostoucí trend byl z velké části podpořen zařazením lezení mezi olympijské sporty. Se stále větším množstvím závodníků i jednotlivců věnujícím se tomuto sportu, vyvstává mnoho otázek ohledně efektivních tréninkových metod a klíčových faktorů ovlivňujících výkonnost lezců.

Diagnostika a měření síly má v dnešní době zásadní význam pro porozumění fyziologickým potřebám lezců. Pojem „kritická síla“ se zaměřuje na stanovení úrovně síly, kterou je jedinec schopen vykonávat velmi dlouhou dobu bez větších známek vyčerpání. Právě diagnostika této síly je nezbytná pro určení výkonnostních limitů jedince.

Jednou z nejdůležitějších svalových skupin pro lezení jsou flexory prstů. Tyto svaly umožňují lezcům udržet se i na těch nejmenších chytech. K měření těchto svalů se využívají různé dynamometry, avšak tradiční ruční nejsou pro sportovní lezení dostačující, proto se pro měření využívají speciální dynamometry s různými velikostmi chytů, v našem případě lišt. Čím přesnější je simulace lezeckých podmínek, tím poskytují validnější data.

V této bakalářské práci se zaměříme na koncept kritické síly, na různé metody měření kritické síly a jejich validitu.

Sám se lezení věnuji již dlouhou řadu let, a prošel jsem si závoděním na české vrcholové úrovni. V rámci českého reprezentačního družstva se plošně prováděla testová baterie IRCRA v laboratoři UK FTVS, která velmi dobře vypovídala o aktuální výkonnosti lezců. Její výsledky se pak využívaly při sestavování tréninkových plánů. Později jsem se zapojil do několika jiných výzkumů v rámci fakulty. Tyto výzkumy mají velký potenciál pro sportovní lezce a jejich výsledky mohou poskytnout cenné poznatky pro trenéry. Do již zaběhlých tréninkových plánů se tak dostanou nové informace, které mohou změnit celý průběh tréninku, jak ho známe.

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA, STANOVENÍ VÝZKUMNÉHO PROBLÉMU

2.1 Sportovní lezení

Sportovní lezení se do současné podoby vyvinulo poměrně rychle. Původně pochází z horolezectví, ale rychle se osamostatnilo. Je to aktivita, kde se lezec pohybuje převážně nahoru ať už po skalách, nebo na umělé stěně. K tomu využívá chyty pro ruce a stupy pro nohy. Pro lezení s lanem se využívá sedací úvazek a jistící lano, na které se lezec naváže. Zesponu je lezec jištěn dalším lezcem – jističem, který mu postupně povoluje lano tak, aby se lezec mohl volně pohybovat. K tomu využívá různé jistící pomůcky, kterými zachytává možný lezcův pád. Lezec si v průběhu lezení zapíná postupová jištění, která mu zajišťují jeho bezpečnost. Při lezení do nižších výšek, kde ještě není nutné lano, se využívají speciální přenosné matrace “boulder matky”.

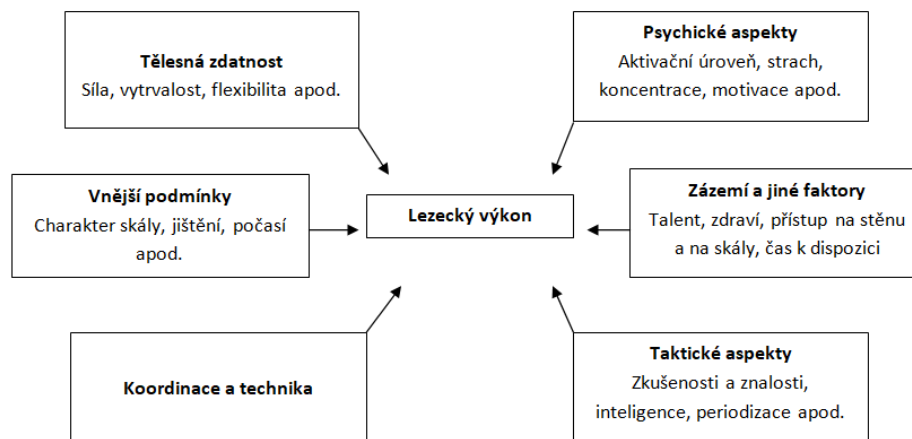
Sportovní lezení se rozděluje na několik disciplín. Lezení na obtížnost, bouldering, lezení na rychlost a ledolezení. V této práci se však budeme zaměřovat pouze na lezení na obtížnost, protože se nejvíce hodí k tomuto tématu. Cílem lezení na obtížnost je překonat (vylézt) danou lezeckou cestu určité obtížnosti, v ideálním případě až do konce cesty (topu), nebo co nejdále až do vyčerpání lezcových sil, kde čas hraje roli pouze jako limitní faktor při závodech, aby lezci nebyli v cestě příliš dlouhou dobu. Na začátku se závodilo na vybraných skalních cestách, avšak se vznikem umělých stěn se přešlo na ně, z důvodů postavení cesty ideální obtížnosti podle výkonnosti závodníků tak, aby do topu vylezl ideálně pouze jeden závodník. Běžně se závod skládá ze dvou kvalifikačních cest, ze kterých postupuje daný počet závodníků do finále. Kvalifikace se leze stylem FLASH, kde se závodníci navzájem vidí a mohou si před lezením radit, finále a semifinále se následně leze stylem OS (on sight), kde si lezci mohou po daný čas cestu prohlédnout ze spodu a cestu lezou, aniž by v ní viděli lézt někoho jiného.

Ke značné popularizaci přispělo zařazení lezení na olympijské hry v Tokiu 2021, kde se kvůli nedostatku série medailí závodilo v trojkombinaci, která zahrnuje lezení na obtížnost, bouldering a lezení na rychlost. Tato kombinace byla pro spoustu lezců obzvlášť náročná, jelikož se lezci specializují buď na obtížnost a bouldering nebo pouze na rychlost. Tato medializace přináší do lezení více pozornosti a nových jedinců.

S rostoucím množstvím lezců ve sportu je potřeba se zaměřit na výkon v lezení samostatně.

2.2 Výkon ve sportovním lezení

Goddard & Neumann (1993) uvádí, že výkon v lezení je vyjádřením celé osobnosti a musí obsahovat součet mnoho vnitřních i vnějších faktorů. Tyto faktory rozdělili do šesti hlavních kategorií: fyzická zdatnost, psychologické aspekty, zázemí a další faktory, taktické aspekty, koordinace a technika, a vnější podmínky.



Obrázek 1 Teoretický model struktury lezeckého výkonu dle (Baláš, 2016; Goddard & Neumann, 1993)

Výkon ve sportovním lezení je složitý a obtížně měřitelný, protože závisí na mnoha faktorech. Hranice mezi těmito faktory jsou často nejasné a vzájemně propojené, což znamená, že se navzájem ovlivňují. Například motivace může ovlivnit fyzickou sílu, absence jištění může zvýšit pocit strachu, strach může ovlivnit koordinaci, flexibilita může ovlivnit techniku a tělesná výška může mít dopad na taktiku (Goddard & Neumann, 1993; Ježková, 2019). Každý z těchto faktorů je částečně ovlivněn geneticky, avšak do jisté míry lze ovlivnit pravidelným tréninkem.

Nejvíce ošemetné jsou psychické aspekty, tato komponenta se vyskytuje hlavně u skalního lezení a jak již bylo zmíněno výše, některé stupnice obtížnosti ji dokonce zohledňují. Tento faktor neplatí univerzálně pro každého a u výkonnostního lezení již nehraje tak velkou roli, přesto nemůže být zanedbatelný. Při lezení se pozornost lezce soustředí na aktuální aktivitu, takže nevnímá, co se děje kolem něj. V momentě, kdy lezec leze, jediná věc, na kterou myslí, je kde se chytnout, kam stoupnout, kde cvaknout, nebo založit další jištění. Díky tomu může být plně koncentrovaný, což mu umožňuje zažít velmi intenzivní zážitek „být tady a teď“ (Chaloupská & Hrušová*, 2019; Luttenberger et al., 2015). Pokud se lezec naučí věřit svým schopnostem a plně se soustředit pouze na lezení, tak lze psychickou komponentu do určité míry natrénovat.

Lezecký pohyb je acyklický a intermitentní, s dynamickými a statickými fázemi, což znamená, že kardiovaskulární systém není zatěžován tak, jako v jiných sportech (Baláš, 2016).

2.2.1 Hodnocení výkonu

Ohodnotit výkon lezce je velmi náročné, musí se zohledňovat několik faktorů, např. velikost chytů, jejich rozmístění, profil stěny, styl přelezu, ale také vnější faktory jako je vlhkost vzduchu, teplota atd. Obtížnost se udává různým způsobem u cest, boulderů, horských cest atd., podle příslušných stupnic. Samotný “stupeň obtížnosti” určuje lezec, nebo skupina lezců, kteří cestu postaví nebo přelezu jako první a subjektivně jí ohodnotí. Mnohdy se u skalních cest/boulderů stává, že se obtížnost postupem času mění důsledkem pozměnění cesty, např. odlomením chytu nebo pozdějšího přelezu po letech, stává se tak výhradně u těžších cest, které leze pouze malé procento lezců. To dělá hodnocení cest velmi obtížné.

2.2.2 Stupnice obtížnosti

Náročnost vylezení cesty se určuje podle různých stupnic obtížnosti. Stupnice se vyvíjely postupem času podle různých lezeckých oblastí, existuje jich několik, ale pouze některé se zachovaly a aktivně se používají. U nás se nejvíce využívá stupnice UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme) a dále Francouzská a na pískovcích Saská, která se však objektivně nedá srovnávat s ostatními, protože zahrnuje mimo jiné i faktor strachu. Viz tabulka č. 1.

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		
	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		
	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		
	5.14c	8c+	E9 7b	34	XIIa	XI-	10,66	5,25		
	5.14d	9a	E10 7b	35	XIIb	XI	11,00	5,25		Vysoce elitní lezci
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		

Tabulka 1 Převodní tabulka stupnic obtížnosti pro lezení s lanem a klasifikace výkonnostních skupin pro muže a ženy. (Baláš, 2016, s. 53-54)

Pro statistické účely ještě využíváme univerzální stupnici IRCRA (International Rock Climbing Research Association), která se skládá z číselného systému o 32 stupních. (Draper et al., 2015)

2.2.3 Styl přelezu

Kromě obtížnosti je důležitý i styl přelezu, který definuje, jestli lezec cestu vylezl v kuse bez pádu, s lanem shora, či zespodu. Styly dělíme na:

TR (Top Rope) – lezec je jištěn horním lanem a cestu vylezl čistě, tzn. bez odsednutí.

RP (Red Point) – lezec je jištěn zespodu a zapíná si expresky do jištění a do lana. Cestu si může nacvičit vícekrát, ale musí jí přelézt čistě, tzn. bez pádu, nebo odsednutí.

PP (Pink point) – stejný jako RP, ale lezec má předem připravené jištění, tzn. expresky.

OS (On Sight) – lezec je jištěn zespodu a vyleze cestu na první pokus, aniž v cestě někoho viděl, nebo o ní měl nějaké informace.

FLASH – stejný jako OS, ale lezec v cestě již někoho viděl nebo o ní má informace.

AF (All Free) – lezec smí při lezení odpočívat u postupového jištění a následně od něj pokračovat dále v lezení. (Vomáčko & Boštíková, 2008)

2.3 Ukazatele lezecké výkonnosti

2.3.1 Maximální síla flexorů prstů

Jedním z častých ukazatelů lezecké výkonnosti je izometrická síla a vytrvalost flexorů prstů, kde nejvíce zastoupený je m. flexor digitorum profundus (Baláš et al., 2021; Giles et al., 2019, 2021; Saul et al., 2019).

Podle aktuálního přehledu obsahujícího 156 studií zaměřených na výkonost v lezení (Langer et al., 2023), bylo jen málo testů označeno jako vysoce spolehlivé. Konkrétně vis do vyčerpání, vis při ohnutí paži, shyby, stisk dynamometru, vyvinutí max. síly na chyt a vertikální přesah. Kvůli rozdílům při implementaci testů jsou korelační rozsahy pro většinu testů velké. Testy s největší korelací k RP výkonnosti byly shledány: vyvinutí max. síly na chyt a stisk dynamometru.

Základní a nejčastěji používaný test maximální izometrické síly svalů předloktí je ruční dynamometrie. Baláš (2016) porovnával výsledky studií provedené ruční dynamometrií a z výsledků vyplývá, že je veliký rozdíl, zda je max. síla vztažena na hmotnost jedince či nikoliv. Dalším problémem měření ruční dynamometrií je, že zohledňuje pouze jeden úchop, a to s palcem v opozici (stisk), nicméně elitní lezci projevovali vysokou relativní sílu flexorů prstů ve srovnání s jejich tělesnou hmotností.

Dalším typem dynamometru, který by testoval úchop bez palce, se zabývali (Grant et al., 1996), kde testování probíhalo ve stoje, při flexi 90° ramenního a loketního kloubu. Lezci tlačili do kovové destičky maximální dobrovolnou silou MVC (maximal voluntary contraction) pouze

konečky prstů (otevřený úchop) a tím cílili hlavně na m. flexor digitorum profundus. Podle výsledků (Grant et al., 1996, 2001) se vyšší absolutní síla vyskytuje pouze u elitních lezců a relativní síla vztažená k hmotnosti lezce se progresivně zvyšuje s rostoucí výkonností. Maximální síla flexorů prstů je ovlivněna celou řadou dalších faktorů, které si rozebereme níže.

2.3.1.1 Typy úchopů

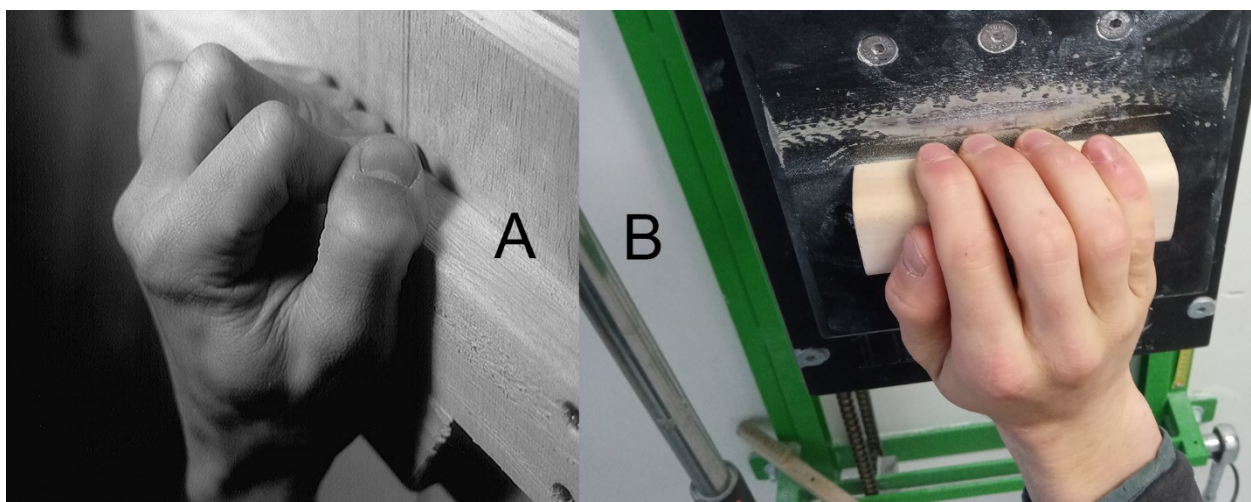
V lezení se nejvíce využívají dva úchopy – otevřený a uzavřený (obr. 1). Existují však i další jako je stisk, dvourstvý, nebo jednorstvý úchop. Podle (Watts et al., 2008) měření síly ruky pomocí stiskových dynamometrů postrádá specifičnost, která se na skalách vyskytuje naprosto běžně. Podle (Baláš, 2016) pokud má lezec preferenční úchop uzavřený, testování otevřeného úchopu nemusí ukázat pravou maximální sílu lezce.

Uzavřený úchop

Uzavřený úchop viz obr 2. je primárně využíván na velmi malých chytech, většinou ostrých lištách. Tento úchop na malých chytech užívá až 90 % lezců. Proximální interphalangeální klouby jsou flektovány do 90 až 100 stupňů a distální interphalangeální klouby jsou v hyperextenzi (Schweizer, 2001).

Otevřený úchop

Otevřený úchop viz obr 2. se využívá na většině chytů od velkých až po oblé lišty. Na rozdíl od uzavřeného úchopu jsou kladeny menší síly na šlachová poutka. Proximální interphalangeální klouby jsou v mírně flektovány v neutrálním postavení. Distální interphalangeální klouby jsou flektovány do 50–70 stupňů. (Schweizer & Hudek, 2011).



Obrázek 2 Uzavřený úchop (a) (Schweizer, 2001) Otevřený úchop (b) (foto autora)

2.3.1.2 Poloha paže na liště

Při lezení se paže vyskytují primárně nahoře, tzn. nad úrovní srdce. Poloha paže je velmi důležitá pro testování síly flexorů prstů. Podle (Baláš, Panáčková, et al., 2014; Watts et al., 2008) nejvyšší validitu výkonu ruční dynamometrie představoval test, kdy je paže nad úrovní ramen a nejnižší pod úrovní ramen. Vysvětleno to bylo tím, že flexory prstů vyvíjejí excentrickou kontrakci proti gravitační síle dané tělesnou hmotností lezce. (Baláš, 2016)

2.3.2 Svalová vytrvalost flexorů prstů

Svalová vytrvalost flexorů prstů spočívá v dlouhodobém zatížení izometrickým intermitentním zatížením. Pro měření využíváme řadu testů:

Lezecké testy

Lezecké testy jsou schopny nám poskytnout maximální spotřebou kyslíku (VO_{2max}) a nejvyšší dosaženou spotřebou kyslíku (VO_{2peak}).

Studie (Baláš, Panáčková, et al., 2014; Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Limonta et al., 2018; watts & drobish, 1998) prokazují, že testy pro zjištění VO_{2peak} a VO_{2max} , které zahrnují intenzivní, nebo postupně se zvyšující rychlost lezení na speciálním lezeckém ergometru, korelují s RP výkonností, zatímco protokoly se zvyšujícím se sklonem ergometru nikoliv (Baláš et al., 2021).

Baláš & Šimkanin, 2016 uvádí, že VO_{2peak} při konstantní rychlosti lezení odpovídá zhruba 35-50 % VO_{2max} při běhu na ergometru. Při lezení do vyčerpání, kde se zvyšuje rychlost nebo sklon lezení (na lezeckém ergometru), však může VO_{2peak} dosáhnout až na 75,4 % VO_{2max} , z toho vyplývá, že aerobní energetický systém má v tomto případě značný význam. Vysoká aerobní zdatnost může být pro lezce výhodná, i když přímo neovlivňuje lezecký výkon.

Tento druh testu nám však neposkytuje údaje potřebné k determinování vytrvalosti flexorů prstů jedince, proto využíváme primárně izolované testy.

Izolované testy flexorů prstů

Tyto testy využívají % z MVC pro přizpůsobení testu individuálně každému jedinci. Starší testy využívaly celou TH a náročnost testu se upravovala velikostí lišty (chytu). Izolované testy jsou velmi dobrým ukazatelem vytrvalosti flexorů prstů. Dělíme je na souvislé a intermitentní.

Souvislé

Testování silové vytrvalosti souvislou metodou se věnoval (Nachbauer et al., 1987). Využíval vis do vyčerpání obouruč na liště o hloubce 1 cm, což u lezců nižší výkonnosti (<6 UIAA) znamenalo velmi kratší čas visu než u lezců vyšší výkonnosti. (Baláš et al., 2012) zvolili jako terénní test vis obouruč na liště o hloubce 3 cm. Výsledky studie potvrzují vysokou závislost s lezeckým výkonem pro muže ($R^2 = 0,76$), i pro ženy ($R^2 = 0,66$), avšak u slabších lezců může tento test spíše indikovat úroveň maximální síly. Tato metoda je opravdu vhodná pouze jako terénní test.

Intermitentní

Studie (Macleod et al., 2007), porovnává lezce a nelezce v kontinuálním a intermitentním testu 10/3 při zatížení 40 % MVC. Tato doba zatížení se již velmi podobá lezeckému pohybu při lezení na obtížnost. Jako míru specifické tělesné vytrvalosti, namísto pouhé doby testu, byla zvolena veličina "force-time integral" ($0,4 \times \text{MVC} \times \text{doba testu}$) pro srovnávání výsledků. Tento integrál byl u intermitentního testu značně vyšší u lezců, než u nelezců, to značí objektivně větší vytrvalost flexorů prstů u lezců způsobená pravidelným tréninkem.

Zhodnocení reliability NIRS při měření intermitentního testu prováděl (Baláš et al., 2018), měřili intermitentní zatížení 8/2 při 60 % MVC pomocí NIRS na flexoru digitorum profundus. K určení indexu saturace využili TSI (tissue saturation index).

Průměrná deoxygenace během kontrakcí (Δ TSI; první test $28,9 \pm 2,9$ %, druhý test $28,8 \pm 2,7$ %, a třetí test $28,4 \pm 2,6$ %; ICC = 0,692; SEM = 1,5 %; CV = 17,2 %; MDC = 4,2 %).

Průměrná reoxygenace svalů během odpočinku (Δ TSI; první test $9,0 \pm 3,1$ %, druhý test $8,8 \pm 2,9$ %, a třetí test $8,5 \pm 2,7$ %; ICC = 0,672; SEM = 1,7 %; CV = 19,0 %; MDC = 4,7 %).

Došli k závěru, že NIRS poskytuje spolehlivé výsledky deoxygenace a reoxygenace flexorů předloktí při přerušovaných kontrakcích u sportovních lezců.

Funkční nezátěžové testy

Využívají různých přístrojů např. NIRS bez přímého zatížení svalů.

NIRS bylo využito ve studii (Fryer et al., 2018) kde zkoumali, zda index oxidační kapacity předloktí předpovídá udávaný výkon ve sportovním lezení. Ukázalo se, že RP výkon velmi koreloval s naměřenou oxidační kapacitou ($R^2 = 0.398, 0.255, \text{ a } 0.374$) na rozdíl od měřeného běžeckého $VO_{2\max}$ ($R^2 = -0.052$).

2.3.3 Kritická síla

Kritická síla (Critical force – CF) je teoretická hodnota, která popisuje maximální intenzitu zatížení, kterou může jedinec vydržet díky aerobnímu metabolismu, aniž by došlo k vyčerpání. Tato intenzita by v ideálním případě měla být udržitelná nekonečně dlouhou dobu, avšak v praxi odhady CF obvykle vedou k vyčerpání během 1 hodiny i dříve. Ačkoli předchozí výzkum využíval tradiční měřítka aerobního stavu, v literatuře existuje neshoda, zda CF odráží fyziologicky stabilní nebo nestabilní stav. (McGawley, 2010)

CF je vhodná pro využití v tréninku, abychom nemuseli intenzitu cvičení porovnávat se vzdálenými metabolickými ukazateli, jako je laktátový práh nebo VO_{2max} . Pokud je zátěž vyšší než CF, můžeme predikovat tolerovanou dobu cvičení, než dojde k vyčerpání energie, dosažení VO_{2max} a projeví se intolerance laktátu (Poole et al., 2016).

CF může být popsána jako „Práh únavy“ ve smyslu, že odděluje oblast intenzity cvičení, kde jsou fyziologické reakce schopny ustálit se pod CF a nejsou schopny nad CF (Poole et al., 2016).

V lezení můžeme využít práh CF při tréninku, pro přesnější nastavení intenzity zátěže. CF flexorů prstů lze determinovat pomocí následujících laboratorních testů.

2.3.3.1 3 – parametrový vícenávštěvový protokol CF

Jako zlatý standard determinování CF považujeme studii podle (Giles et al., 2019). Využívali „3 – Parameter Multisession CF Protocol“, samotný test se skládal ze 4 návštěv. Při první návštěvě se určila MVC a probandi byli seznámeni s měřením. Následující 3 návštěvy obsahovaly testy do vyčerpání při 80 %, 60 % a 45 % MVC intermitentním zatížením 7/3. Celé měření bylo prováděno na 20 mm hluboké liště (rádius 10 mm) visem obouruč, poloha paže byla podle (Baláš, Panáčková, et al., 2014). Výsledná průměrná CF byla $41 \% \pm 6,2 \% MVC$. Na tuto studii navazuje (Giles et al., 2021), kde navrhl nový test pro určení CF – All-out test.

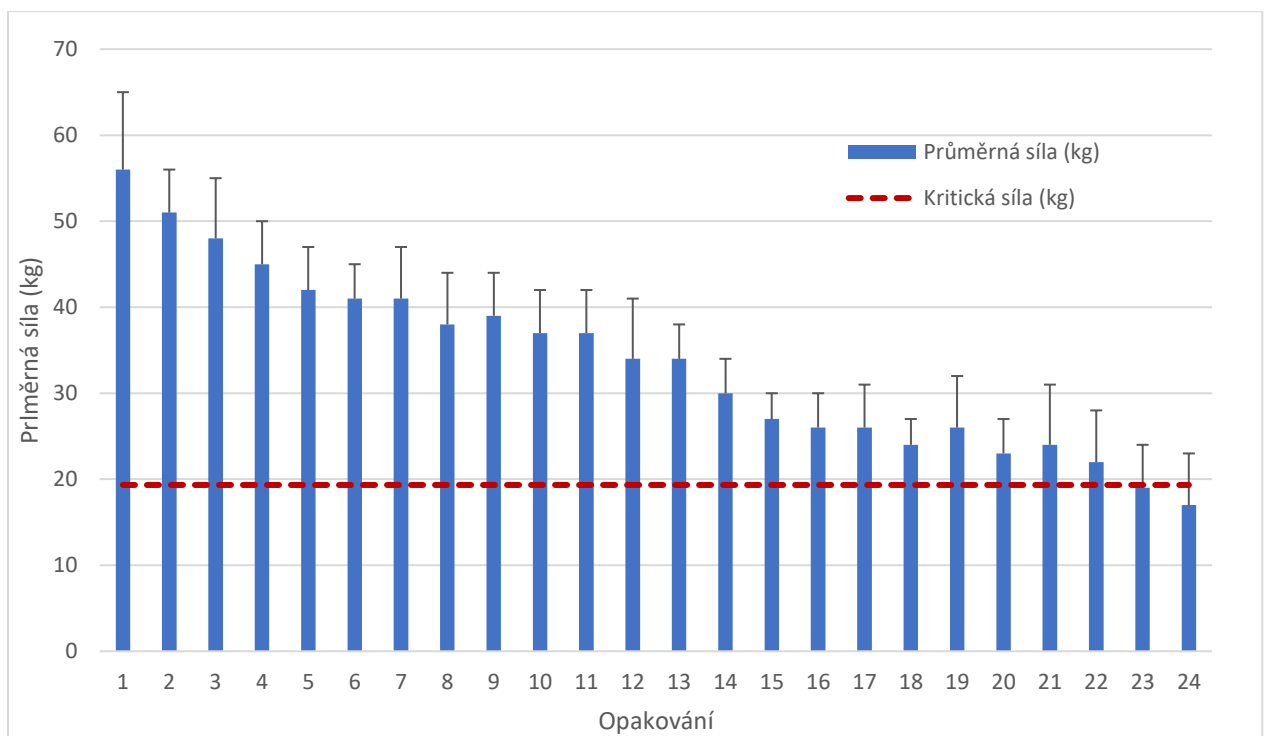
2.3.3.2 All-out test 4 min.

Baláš et al. (2024) provedl validační studii upraveného již zmíněného All-out testu. Průměrná CF byla $38.8 \pm 8.8 \% MVC$. Následně ověřoval výsledek CF pomocí intermitentního testu 7/3 do vyčerpání nebo 720 s, na úrovni CF a nižší (CF, -2, -4, -6 kg). Pouze jeden účastník byl schopen dokončit test na hodnotě CF. Při snížené zátěži (-2, -4, -6 kg) dokončilo test větší množství účastníků (38 %, 69 %, 92 %). Tento výsledek odpovídá tomu, že CF je mnohem

nižší, než uvádí All-out test a to o 20 %, což silně koreluje s hodnotou minimální kritické síly (CF_{min}). CF_{min} je určena jako průměr koncové síly z posledních tří kontrakcí.

All-out test je test měřený na speciálně upravené 23 mm hluboké liště značky AIX, pomocí dynamometru 1D-SAC (Spacelab, Sofia, Bulgaria). Test je prováděn intermitentním zatížením s intervalem 7 s maximální zatížení lišty otevřeným úchopem a 3 s odpočinku (test 7/3). Během odpočinku si proband jednou sklepe paži směrem dolů, aby podpořil přirozenou reoxygenaci svalů předloktí a imitoval tím běžný pohyb lezce při lezení cesty. Podle (Baláš et al., 2016) byly nalezeny velké rozdíly při "vyklepávání" a "nevyklepávání" během pauzy. U méně zkušených lezců nebyl nalezen markantní rozdíl, avšak u sportovních lezců se při vyklepávání čas testu výrazně prodloužil. Kromě sklepnutí paže může proband během pauzy využít nanesení magnézia na prsty pro zabránění pocení a eliminovat tím předčasné sklouznutí z lišty. Každý začátek a konec kontrakce je signalizován zvukovým signálem. Celý test obsahuje 24 izometrických kontrakcí (4 min.) při snaze o MVC každé opakování.

Z průměru posledních 3 kontrakcí testu stanovujeme CF.



Graf 1 Vzor průběhu all-out testu

3. CÍLE PRÁCE

Cílem je posoudit validitu stupňovaného testu pro určení kritické síly flexorů prstů a lezecké výkonnosti u sportovních lezců.

4. Výzkumné otázky

Umožňuje test s progresivním zatížením flexorů prstů determinaci kritické síly a hodnocení lezecké výkonnosti?

5. METODY

5.1 Design studie

Účastníci absolvovali 2 až 3 návštěvy do laboratoře sportovní motoriky UK FTVS. Mezi jednotlivými návštěvami byla dodržována pauza minimálně 48 hodin a maximálně 2 týdny, aby se výrazně neměnila aktuální výkonnost. Probandi byli před návštěvou instruováni, aby se 24 hodin předem zdrželi náročného tréninku a nekonzumovali nápoje obsahující kofein.

První návštěva obsahovala vyplnění vstupního formuláře, změření antropometrických údajů (váhu a výšku). Následně byli probandi seznámeni s následujícím testem. Všem byla změřena oxidační kapacita předloktí pomocí NIRS Portamon, která však byla důležitá k jiné studii a nebudeme se jí dále zabývat. Následovalo standartní rozcvičení: 5 min. běh po schodech, 5 min. mobilizace, 5 min. lezení, 10x vis na liště (5 mm) 5 s obouruč, 5x vis na liště (5 mm) 5 s jednoruč. Po rozcvičení byla změřena maximální síla flexorů prstů (MVC) na dominantní ruce pomocí dynamometru 1D-SAC. Pokud není jasná dominantní HK, byly změřeny obě a určena silnější. Na závěr se měřil all-out test na dominantní HK, ke kterému byla probandovi vysvětlena správná poloha paže podle (Baláš, Panácková, et al., 2014). Průběh testu byl zaznamenáván pomocí NIRS Portamon.

Druhá návštěva se skládala ze standartní rozcvičky (uvedené výše) a měření stupňovaného all-out testu na dominantní HK. Zde byl opět probandovi vysvětlen správný průběh testu a poloha paže. Průběh testu se taktéž zaznamenával pomocí NIRS Portamon.

Pokud se konala třetí návštěva, tak obsahovala rozcvičku a opětovné měření stupňovaného all-out testu kvůli reliabilitě měření.

5.2 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor se skládal z 26 probandů z nichž bylo 8 žen a 18 mužů. Účastníci byli vybíráni tak, aby celkový soubor obsahoval méně zkušené i velmi pokročilé lezce. RP výkonost se pohybovala od 6 (UIAA) do 10+/11- (UIAA). Všichni probandi se výzkumu účastnili zcela dobrovolně a žádný z nich neměl žádné zdravotní potíže. Výzkum byl schválen etickou komisí FTVS UK pod číslem jednacím 155/2022 a se všemi probandy byl před započítáním výzkumu podepsán informovaný souhlas.

	Průměr	SD
Věk (roky)	28,3	± 7,6
Hmotnost (kg)	70,8	± 10,5
Výška (cm)	174,6	± 6,9
RP obtížnost (IRCRA)	17,0	± 4,8
RP boulder (IRCRA)	19,5	± 4,8
Doba lezení (roky)	10,4	± 5,1
MVC absolutní (kg)	56,2	± 11,0
MVC / TH (%)	80	± 20

SD Směrodatná odchylka, MVC maximální síla, IRCRA (International Rock Climbing Research Association) statistická stupnice RP výkonu, TH tělesná hmotnost

5.3 Použité metody měření, přístroje, ...

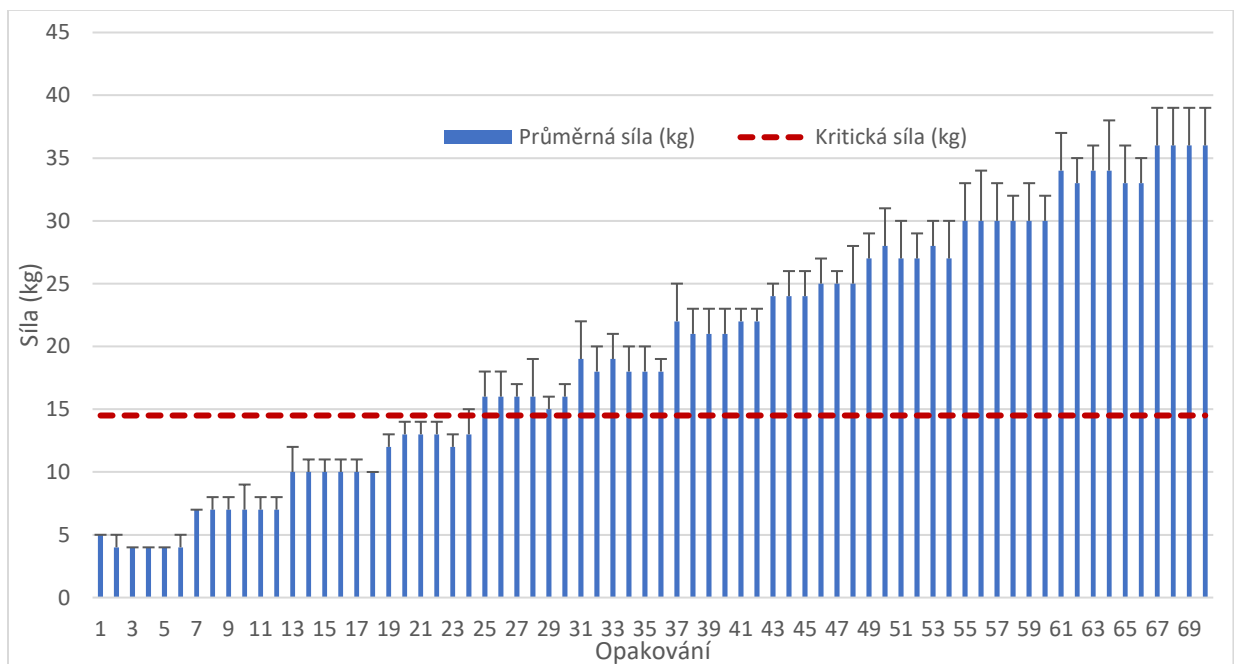
Oba testy zmíněné výše byly měřeny pomocí dynamometru 1D – SAC (Spacelab, Sofie, Bulgaria) na speciálně upravené 23 mm hluboké liště značky AIX. Poloha paže při testu byla zvolena podle (Baláš, Panáčková, et al., 2014). Při měření byli probandi slovně pobízeni k vyššímu výkonu. Během testu se v pauzách čistila lišta od magnézia kartáčkem.

Pro sledování okysličení svalu předloktí byl použitý NIRS Portamon (*PortaMon - Gold standard NIRS muscle oxygenation — Artinis Medical Systems | (f)NIRS devices, b.r.*), který byl umístěný na flexor digitorum profundus (FDP) podle (Baláš et al., 2018). Zařízení bylo na předloktí upevněno oboustrannou lepicí páskou z vnitřní strany a pružnou lepicí páskou z vnější strany, přes zařízení byl přetažen černý kompresní rukáv, aby se zabránilo průniku vnějšího světla na optody.

5.4 Stupňovaný-all out test 7/3 5+5 %

Stupňovaný all-out test se provádí na stejné liště, na stejném přístroji a se stejným intermitentním zatížením jako all-out test (7/3). Hlavní rozdíl je v tom, že test nezačíná hned MVC, ale začíná na 5 % MVC. V průběhu testu se postupně zvedá zátěž po každých 6 kontrakcích (1 min.) o právě 5 %. Proband sleduje v reálném čase na monitoru sílu, kterou tlačí do lišty a zároveň vidí hranici nad kterou se má při zatížení pohybovat. Každý začátek a konec kontrakce je signalizován zvukovým signálem. Test probíhá do úplného vyčerpání, jakmile není proband schopen udržet danou hodnotu zátěže, test se automaticky ukončuje. CF nejde v tomto testu vyhodnotit přímo z výsledných hodnot a k jejímu určení je využíván NIRS Portamon (Artinis Medical Systems, Einsteinweg, Nizozemsko).

CF u stupňovaného testu byla určena z výsledků NIRS měření. Dva nezávislí examinátoři determinovali práh zlomu, na kterém by proband již nebyl schopen se stabilizovat na hladině TSI, HHb a O₂Hb. Tento práh vykazoval významný pokles směrem k plató viz. [Graf 4](#), [Graf 5](#).

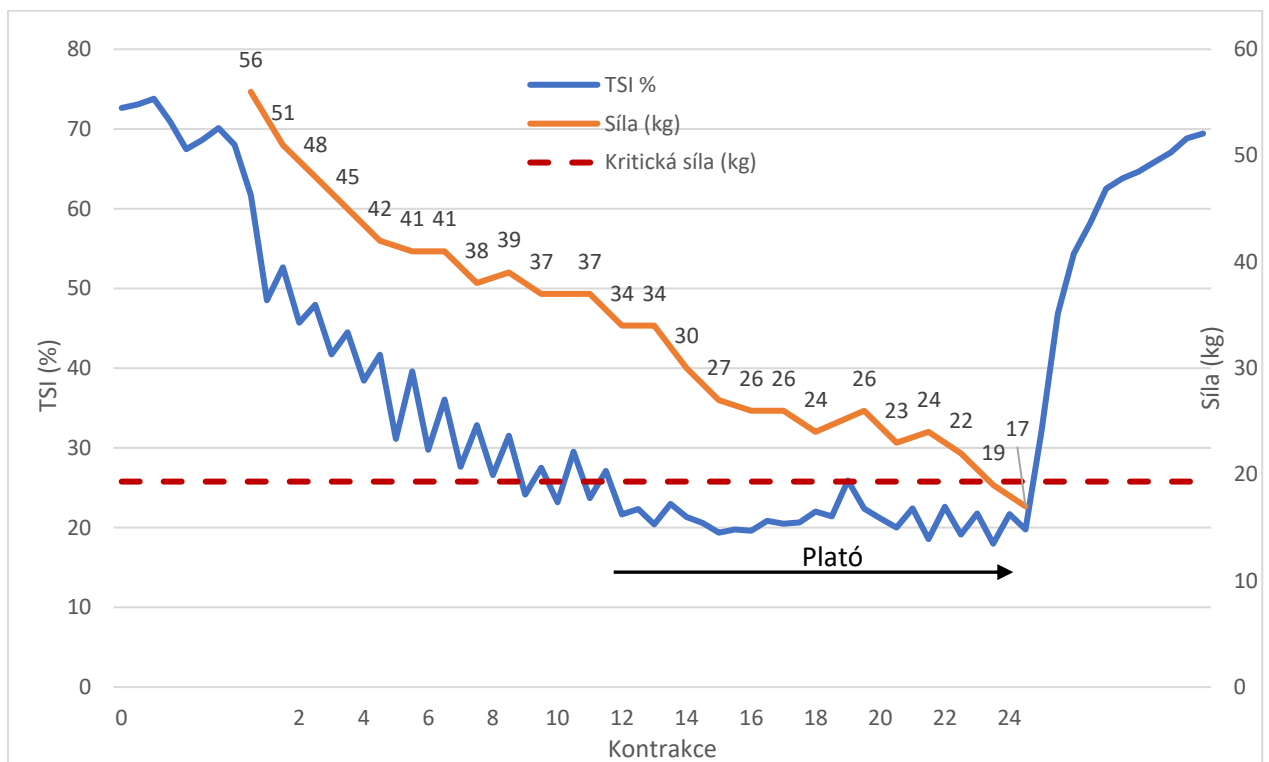


Graf 2 vzor průběhu stupňovaného all-out testu

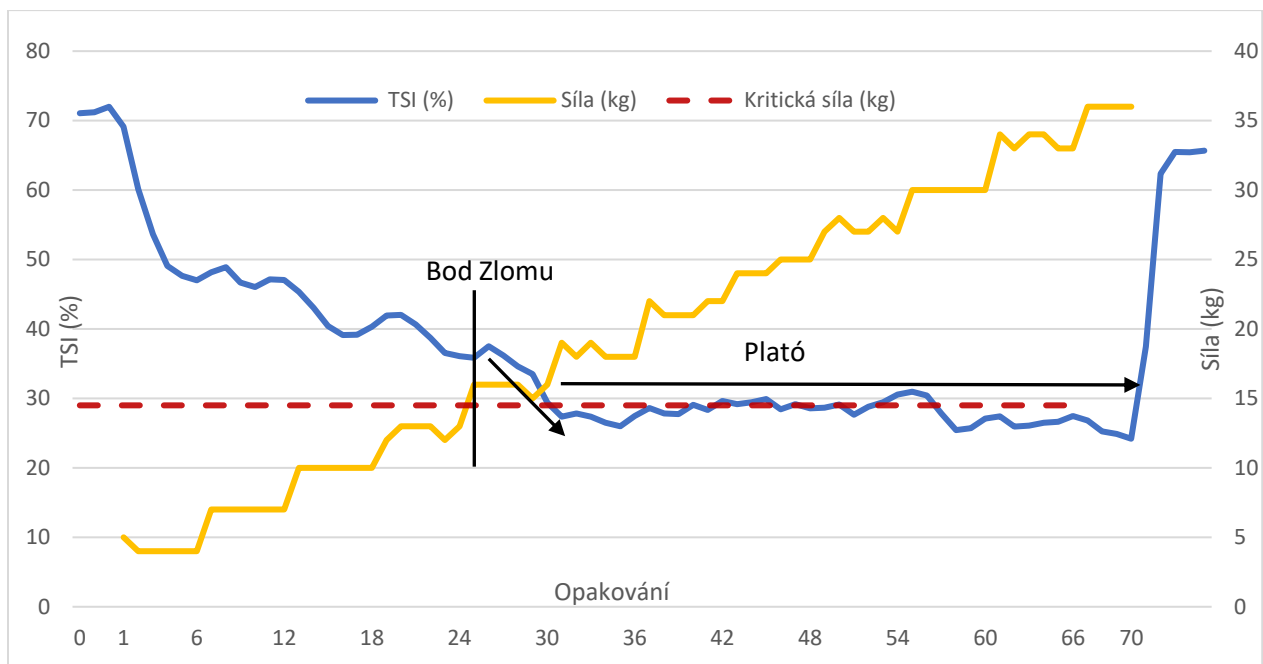
5.5 NIRS blízka infračervená spektroskopie

Blízka infračervená spektroskopie (NIRS) je založena na dvou charakteristikách lidské tkáně. Tkáň v blízkém infračerveném rozsahu dobře propouští světlo a hemoglobin mění své vlastnosti pohlcovat světlo podle toho, jak je nasycen kyslíkem. (*Near Infrared Spectroscopy Introduction Theory — Artinis Medical Systems | (f)NIRS devices, b.r.*) Podle (Perrey et al., 2024) bylo NIRS využito již v 11 studiích zaměřených na lezení s celkovým číslem 279 účastníků. Ze všech ostatních sportovních odvětví bylo lezení na třetím místě s počtem studií využívajících NIRS. Mezi hlavní výhody se řadí neinvazivnost, cenová dostupnost, hluboký průnik záření (až 4 mm Portamon) všestrannost (možnost měřit různé svalové skupiny) a využití jak v laboratoři, tak v terénu.

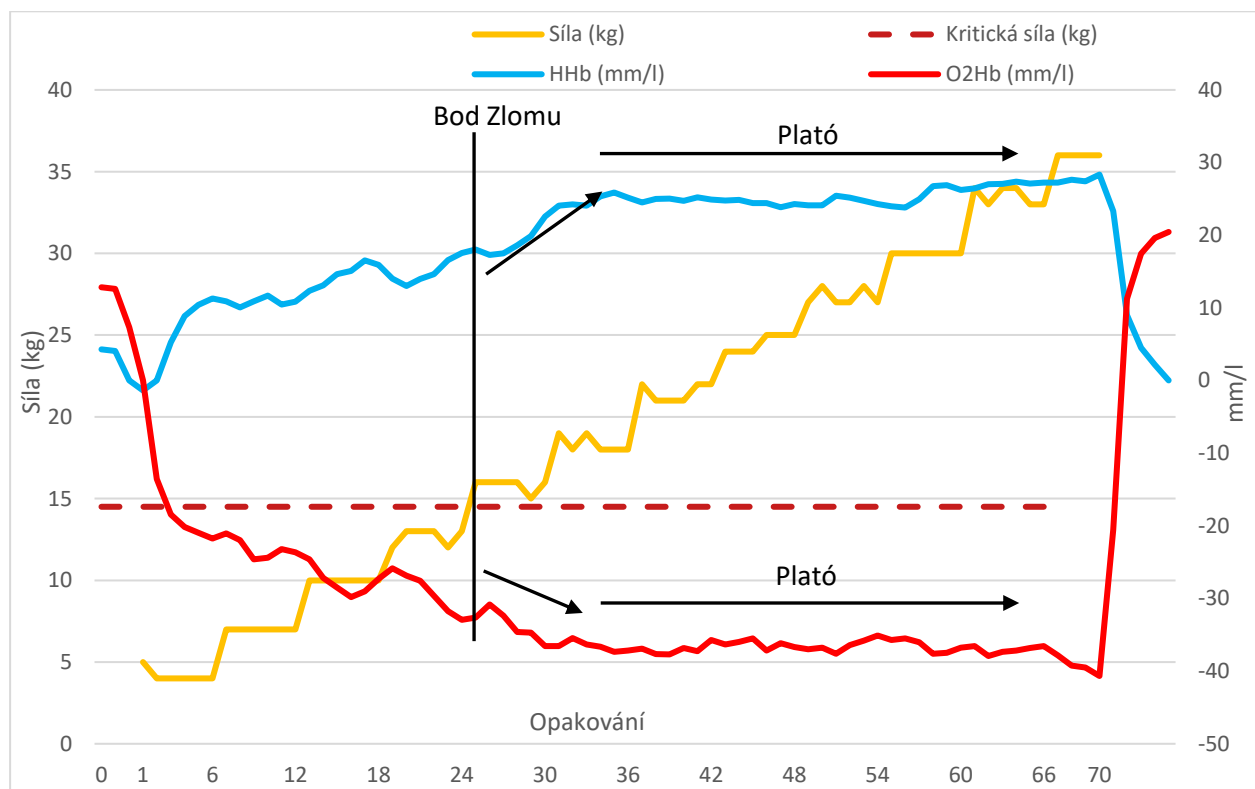
Podle (Tuesta et al., 2022) lze pomocí NIRS v reálném čase s vysokou spolehlivostí měřit hladiny oxyhemoglobinu (oxy[heme]), deoxyhemoglobinu (deoxy[heme]), celkového hemoglobinu (total[heme]) a absolutní saturaci kyslíkem v lokální tkáni (TSI).



Graf 3 Vzor průběhu All-out testu měřeného pomocí NIRS



Graf 4 Vzor průběhu Stupňovaného testu měřeného pomocí NIRS. TSI (tissue saturation index – nasycení tkáně kyslíkem)



Graf 5 Vzor průběhu Stupňovaného testu měřeného pomocí NIRS. HHb oxy[heme] (nasycený hemoglobin), O2Hb deoxy[heme] (nenasycený hemoglobin)

5.6 Vyhodnocení (zpracování) výsledků/statistická analýza

K provedení statistického vyhodnocení byly použity metody deskriptivní statistiky aritmetický průměr a směrodatná odchylka. K hodnocení vztahů mezi výsledky testů a lezeckou výkonností byl využit Pearsonův korelační koeficient.

6. VÝSLEDKY

Tabulka 2 Korelace CF Stupňovaného testu a CF All-out test s RP výkonností (IRCRA)

		Průměr n=26	SD	RP IRCRA
Stupňovaný	Kritická síla (kg)	8,4	± 3,2	0,65
	Kritická síla (%MVC)	14,8	± 4,1	0,40
	Kritická síla (%TH)	12,1	± 5,3	0,79
	Maximální výkon (kg)	23,7	± 6,9	0,66
	Maximální výkon (%TH)	34,3	± 11,7	0,80
	Opakování do vyčerpání	61,9	± 12,0	x
	čas kontrakce	6,5	± 0,4	x
All-out	Kritická síla (kg)	20,6	± 6,1	0,61
	Kritická síla (%MVC)	36,9	± 8,0	0,27
	Kritická síla (%TH)	29,8	± 10,0	0,79
	Kritická síla minimální (kg)	18,0	± 5,6	0,54

MVC maximální síla, TH tělesná hmotnost, Kritická síla minimální – průměr posledních tří konců kontrakce v testu, MVC maximální dobrovolná síla

Můžeme konstatovat, že CF stupňovaného testu vyjádřená jako procento MVC koreluje s RP výkonem více, než u all-out testu. Přestože absolutní hodnoty u stupňovaného testu jsou nižší o 12 kg u CF All-out testu a o 9,7 kg u CF_{min} All-out testu, jejich korelace s RP výkonem je podobná. Korelace s RP výkonem u CF (%TH) u obou testů vyšla téměř stejně. Nejlépe koreluje maximální dosažený výkon (%TH), ale pouze o 0,1 oproti CF (%TH) obou testů.

Jeden účastník absolvoval testy verifikace CF ze stupňovaného testu. Verifikace proběhla pomocí testu o intermitentním zatížení 7/3 a zátěži okolo CF jedince. CF účastníka byla podle stupňovaného testu 14,5 kg. Celý záznam testu byl zaznamenán pomocí NIRS Portamon. Doba

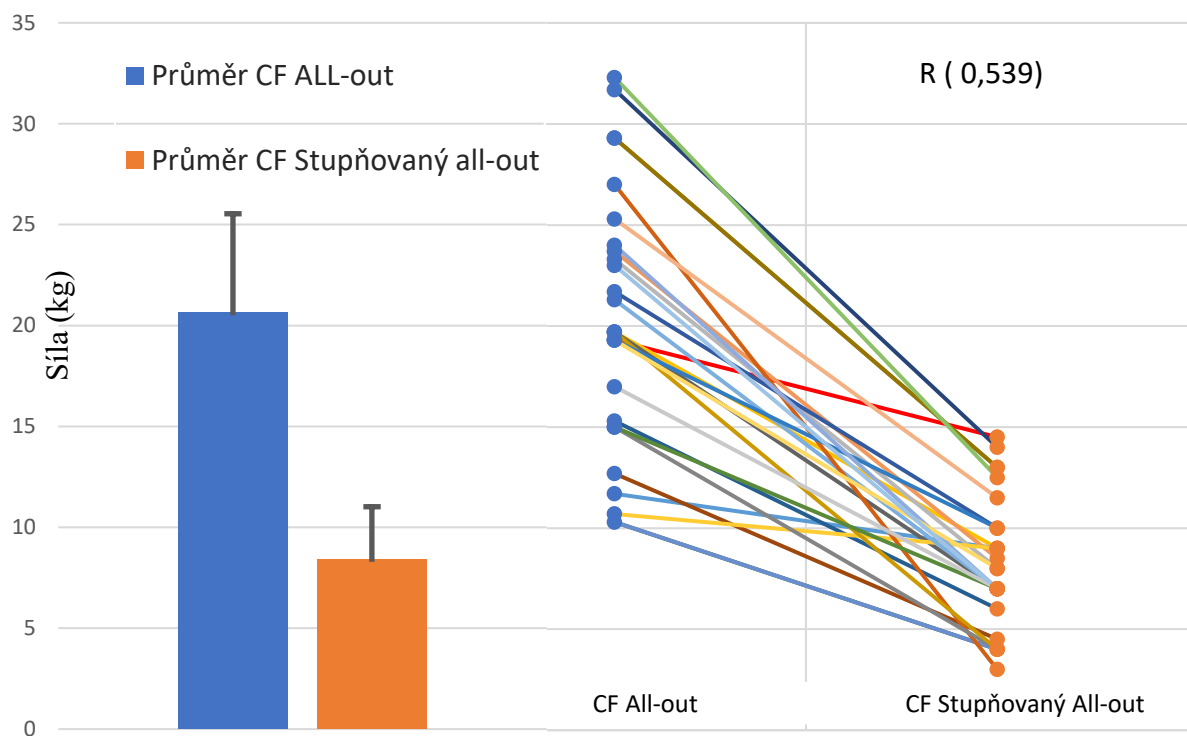
testu byla stanovena na 400 s (40 opakování). Proband provedl testy při zatížení 10, 13, 16, 19 a 22 kg s dostatečnou dobou odpočinku mezi testy (minimálně 1 h, během 2 návštěv). Z NIRS bylo analyzováno, že u testů 10 a 13 kg se účastník byl schopen po začátku testu stabilizovat na téměř původní hladinu TSI. U testu 16 kg se návrat TSI ke konci testu zlomil a začal opět mírně klesat. Test 19 kg nevykazoval veliký návrat TSI na původní hodnoty a subjektivně přišel probandovi dlouhodobě neudržitelný. Test 22 kg vykazoval návrat TSI, avšak v mnohem nižších hodnotách, subjektivně byl ohodnocen jako velmi těžký a dlouhodobě neudržitelný. Viz. [Graf 6](#).

Z těchto výsledků se můžeme domnívat, že CF u probanda se opravdu nachází mezi hodnotami 13 a 16 kg.



Graf 6 Verifikace CF Stupňovaného testu, intermitentním zatížením 7/3, 40 opakování.

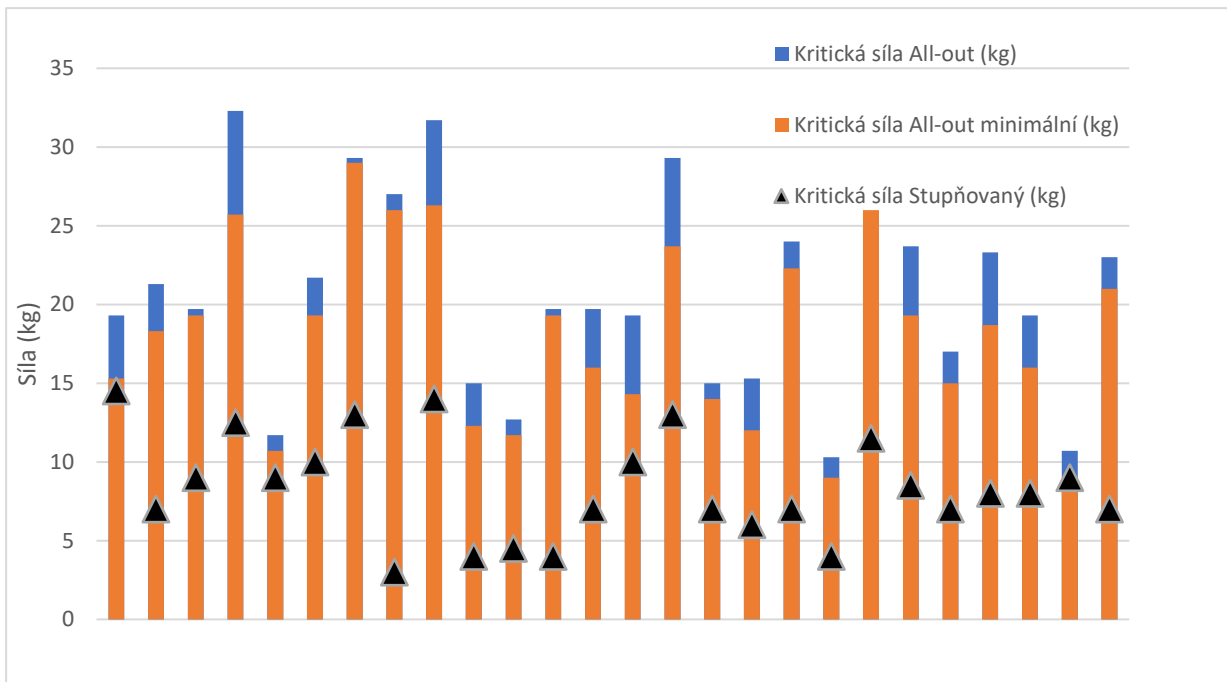
A zobrazuje zatížení pod hranicí CF, **B**, **C** a **D** nad hranicí CF. TSI (tissue saturation index)



Graf 7 Průměrné hodnoty CF All-out testu a CF Stupňovaného testu, směrodatné odchylky, korelační koeficient těchto dvou testů, absolutní hodnoty testů

Graf na levé straně zobrazuje o 12 ± 3 kg nižší hodnotu CF ze stupňovaného testu oproti druhému testu.

Graf na pravé straně zobrazuje individuální hodnoty dvou testů spojeny plnou čarou.



Graf 8 Porovnání absolutních hodnot CF z obou porovnávaných testů.

CF All-out testu je počítána jako průměr posledních třech kontrakcí.

CF_{min} All-out testu je počítána jako průměr koncové síly posledních třech kontrakcí.

CF stupňovaného testu je determinována pomocí NIRS, kde je analyzován bod zlomu viz.

[Graf 4](#), [Graf 5](#).

7. DISKUSE

Cílem této práce bylo posoudit validitu stupňovaného testu pro určení kritické síly flexorů prstů a lezecké výkonnosti u sportovních lezců. Pro určení CF byl vytvořen speciální test, který se prováděl na dynamometru 1DSAC (Spacelab, Sofia, Bulgaria). Test využíval intermitentní zatížení 7/3, začínal na 5 % MVC a stupňoval se každých 6 kontrakcí (1 min.) až do selhání, tzn. jedinec nedokázal udržet danou zátěž. Výzkum (Baláš et al., 2024) prokázal, že CF z all-out testu není možné dlouhodobě udržet. Z verifikace výsledků vyplynulo, že CF určená ze stupňovaného testu je udržitelná po stanovenou dobu (400 s) se stabilizací hladiny TSI. CF stupňovaného testu byla určena dvěma nezávislými examinátory pomocí NIRS a následně zprůměrována. Reliabilitu NIRS pro měření intermitentních kontrakcí již pokryla studie (Baláš et al., 2018). Práh CF byl určen pomocí TSI, oxy[heme] a deoxy[heme]. Při determinaci prahu byl hledán zlom, kdy již nebylo možné dojít k ustálenému stavu a nastal výrazný pokles ke spodnímu prahu, kde se tvořil stav plató. Z toho lze dedukovat, že druhý práh by se mohl nacházet právě na úrovni plató. Co tento práh však znamená, zatím není jasné.

Velké rozdíly mezi výsledky dvou měřených testů mohou být dány tím, že hodnotící metody jsou naprosto rozdílné. CF z all-out testu se udává jako průměr posledních tří kontrakcí, zatímco druhý test ji určuje pomocí metabolických prahů ze záznamu NIRS.

Verifikace stupňovaného testu potvrdila, že je hodnota CF je relativně nízká. To potvrzuje, že CF all-out testu z předchozích studií (Baláš et al., 2024; Giles et al., 2019, 2021) je nadhodnocená. Při korelaci CF ze stupňovaného testu s udávaným RP výkonem ze vstupních formulářů, byl výsledný Personův koeficient 0,65. Oproti druhému testu byl pouze o 0,05 vyšší. Tudíž korelace k RP výkonnosti je velmi podobná, avšak jak zmiňuje (Baláš et al., 2024), hodnota z all-out testu byla neudržitelná. Z těchto dat můžeme předpokládat, že určení CF pomocí stupňovaného testu je přesnější a blíží se skutečné hodnotě CF. Avšak limitací této studie je fakt, že verifikace byla provedena pouze jedním jednotlivcem.

Vysoké korelace s RP výkonem naznačují, že kritická síla může být dobrým prediktorem výkonnosti. Trenéři a sportovci mohou využít měření kritické síly stupňovaným testem k předpovídání budoucí výkonnosti a k identifikaci oblastí, které je nutné zlepšit.

8. ZÁVĚR

Analyzované výsledky prokázaly, že pro zjištění kritické síly je vhodnější stupňovaný test, neboť all-out test výrazně nadhodnocuje metabolicky setrvalý stav. Na verifikaci výsledků se bohužel podílel pouze jeden účastník a pro budoucí prokázání tohoto výsledku bude nutná další validace. Výsledná kritická síla velmi dobře korelovala s udávanou výkoností účastněných probandů.

9. POUŽITÁ LITERATURA

Baláš, J. (2016). *Fyziologické aspekty výkonu ve sportovním lezení*. Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.

Baláš, J., Gajdošík, J., Giles, D., Fryer, S., Krupková, D., Brtník, T., & Feldmann, A. (2021). Isolated finger flexor vs. exhaustive whole-body climbing tests? How to assess endurance in sport climbers? *European Journal of Applied Physiology*, 121(5), 1337–1348. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04595-7>

Baláš, J., Kodejška, J., Krupková, D., Hannsmann, J., & Fryer, S. (2018). Reliability of Near-Infrared Spectroscopy for Measuring Intermittent Handgrip Contractions in Sport Climbers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(2). https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/2018/02000/reliability_of_near_infrared_spectroscopy_for.24.aspx

Baláš, J., Michailov, M., Giles, D., Kodejška, J., Panáčková, M., & Fryer, S. (2016). Active recovery of the finger flexors enhances intermittent handgrip performance in rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 764–772. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1119198>

Baláš, J., Panáčková, M., Kodejška, J., Cochrane, D. J., & Martin, A. J. (2014). The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 345–354. <https://doi.org/10.1080/24748668.2014.11868726>

Baláš, J., Panáčková, M., Strejcová, B., Martin, A. J., Cochrane, D. J., Kaláb, M., Kodejška, J., & Draper, N. (2014). The relationship between climbing ability and

physiological responses to rock climbing. *TheScientificWorldJournal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/678387>

Baláš, J., Pecha, O., Martin, A. J., & Cochrane, D. (2012). Hand–arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16–25. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.546431>

Booth, J., Marino, F., Hill, C., & Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine*, 33(1), 14–18. <https://doi.org/10.1136/BJSM.33.1.14>

Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F. K., Watts, P., Wolf, P., Baláš, J., Espana-romero, V., Gonzalez, G. B., Fryer, S., Fanchini, M., Vigouroux, L., Seifert, L., Donath, L., Spoerri, M., Bonetti, K., Phillips, K., Stöcker, U., Bourassa-moreau, F., & Garrido, I. (2015). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping. *Sports Technology*, 8(3–4), 88–94. <https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081>

España-Romero, V., Ortega Porcel, F. B., Artero, E. G., Jiménez-Pavón, D., Gutiérrez Sainz, Á., Castillo Garzón, M. J., & Ruiz, J. R. (2009). Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high-level sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 517–525. <https://doi.org/10.1007/S00421-009-1155-X/TABLES/5>

Fryer, S. M., Giles, D., Palomino, I. G., de la O Puerta, A., & España-Romero, V. (2018). Hemodynamic and cardiorespiratory predictors of sport rock climbing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3534–3541. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001860>

Giles, D., Hartley, C., Maslen, H., Hadley, J., Taylor, N., Torr, O., Chidley, J., Randall, T., & Fryer, S. (2021). An All-Out Test to Determine Finger Flexor Critical Force in Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(7), 942–949. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2020-0637>

Giles, D., Chidley, J. B., Taylor, N., Torr, O., Hadley, J., Randall, T., & Fryer, S. (2019). The determination of finger-flexor critical force in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(7), 972–979. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0809>

- Goddard, D., & Neumann, U. (1993). *Performance Rock Climbing*. Stackpole Books. <https://books.google.cz/books?id=zduhTLP2rG0C>
- Grant, S., Hasler, T., Davies, C., Aitchison, T. C., Wilson, J., & Whittaker, A. (2001). A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *Journal of Sports Sciences*, *19*(7), 499–505. <https://doi.org/10.1080/026404101750238953>
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Sciences*, *14*(4), 301–309. <https://doi.org/10.1080/02640419608727715>
- Chaloupská, P., & Hrušová*, D. (2019). *Experiencing In Climbing And Psychological Effects Of Sport Climbing*. 118–126. <https://doi.org/10.15405/EPSBS.2019.02.02.14>
- Baláš, J., Gajdošík, J., Javorský, T., Berta, P., & Feldmann, A. (2024). Measuring critical force in sport climbers: a validation study of the 4 min all-out test on finger flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/S00421-024-05490-7/FIGURES/6>
- Baláš Jiří, & Šimkanin Martin. (2016). *Efekt doby zatížení a zotavení na fyziologickou odezvu sportovního lezce*. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/76014>
- Langer, K., Simon, C., & Wiemeyer, J. (2023). Physical performance testing in climbing—A systematic review. *Frontiers in Sports and Active Living*, *5*, 1130812. <https://doi.org/10.3389/FSPOR.2023.1130812/BIBTEX>
- Limonta, E., Brighenti, A., Rampichini, S., Cè, E., Schena, F., & Esposito, F. (2018). Cardiovascular and metabolic responses during indoor climbing and laboratory cycling exercise in advanced and elite climbers. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(2), 371–379. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3779-6>
- Ludmila Ježková, B. (2019). Kinematická analýza elitních lezců v soutěžní cestě Českého poháru ve sportovním lezení na obtížnost. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/109277>
- Luttenberger, K., Stelzer, E. M., Först, S., Schopper, M., Kornhuber, J., & Book, S. (2015). Indoor rock climbing (bouldering) as a new treatment for depression: Study design of a

- waitlist-controlled randomized group pilot study and the first results. *BMC Psychiatry*, *15*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12888-015-0585-8/TABLES/4>
- Macleod, D., Sutherland, D. L., Buntin, L., Whitaker, A., Aitchison, T., Watt, I., Bradley, J., & Grant, S. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, *25*(12), 1433–1443. <https://doi.org/10.1080/02640410600944550>
- McGawley, K. (2010). The application of the critical power construct to endurance exercise.
- Nachbauer, W., Friedrich, F., & Burtscher, M. (1987). Testprofil zur Erfassung spezieller sportmotorischer Eigenschaften der Felskletterer. *Sportwissenschaft*, *17*, 423–428.
- Near Infrared Spectroscopy Introduction Theory — Artinis Medical Systems | (f)NIRS devices. (b.r.). Získáno 24. duben 2024, z <https://www.artinis.com/theory-of-nirs>
- Perrey, S., Quaresima, V., & Ferrari, M. (2024). Muscle Oximetry in Sports Science: An Updated Systematic Review. In *Sports Medicine*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01987-x>
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(11), 2320–2334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000939>
- PortaMon - Gold standard NIRS muscle oxygenation — Artinis Medical Systems | (f)NIRS devices. (b.r.). Získáno 1. květen 2024, z <https://www.artinis.com/portamon>
- Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *Journal of exercise science and fitness*, *17*(3), 91–100. <https://doi.org/10.1016/J.JESF.2019.04.002>
- Schweizer, A. (2001). Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of Biomechanics*, *34*(2), 217–223. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00184-6)
- Schweizer, A., & Hudek, R. (2011). Kinetics of crimp and slope grip in rock climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, *27*(2), 116–121. <https://doi.org/10.1123/jab.27.2.116>

Tuesta, M., Yáñez-Sepúlveda, R., Verdugo-Marchese, H., Mateluna, C., & Alvear-Ordenes, I. (2022). Near-Infrared Spectroscopy Used to Assess Physiological Muscle Adaptations in Exercise Clinical Trials: A Systematic Review. In *Biology* (Roč. 11, Číslo 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biology11071073>

Vomáčko, L., & Boštíková, S. (2008). *Lezení na umělých stěnách* (2., upr. vyd). Grada.

Watts, P. B., & Drobish, K. I. P. M. (1998). Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7). https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1998/07000/physiological__responses_to_simulated_rock.15.aspx

Watts, P. B., Jensen, R. L., & Sansom, J. K. (2008). *Forearm EMG During Rock Climbing Differs from EMG During Handgrip Dynamometry*. <https://www.researchgate.net/publication/28330576>