UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Funkční odpověď organismu na standardizovaný lezecký výkon u sportovních lezců

Disertační práce

Školitel:

doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Mgr. Jan Gajdošík

Praha, duben 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační 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

……..

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli doc. Jiřímu Balášovi, Ph.D. za inspiraci a ochotu kdykoliv pomoci v průběhu celého studia. Své rodině za podporu a pochopení.

Abstrakt

Název: Funkční odpověď organismu na standardizovaný lezecký výkon u sportovních lezců

Cíle: Determinovat efekt výšky, sklonu cesty, rychlosti lezení a lezecké výkonnosti na funkční odezvu organismu při standardizovaném lezeckém zatížení.

Metody: Práce byla rozdělena na tři dílčí studie, kterých se celkem zúčastnilo 75 sportovních lezců (36 žen a 39 mužů). Měření probíhala na lezecké stěně a na lezeckém ergometru. Míra vnímané intenzity byla hodnocena pomocí Borgovy škály. Nepřímá kalorimetrie byla použita pro stanovení fyziologické odpovědi, mezi sledované ukazatele patřila spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), srdeční frekvence (SF), minutová ventilace ($\dot{V}E$) a energetická spotřeba (ES). Z krevních vzorků byla stanovena koncentrace katecholaminů. Tkáňová saturace kyslíkem (StO_2) byla monitorována pomocí blízké infračervené spektroskopie.

Výsledky: Vnímaná intenzita zátěže byla vyšší při lezení vysoko nad zemí ve srovnání s lezením nízko nad zemí (+5,3%; P = 0,013; ηp2 = 0,149) (Studie 1A). Fyziologická odpověď byla vyšší během lezení vysoko nad zemí ve srovnání s lezením nízko nad zemí pro V̇O2 (+6%; P = 0,03; ηp2 = 0,22), SF (+4%; P = 0,04; ηp2 = 0,20), V̇E (+9%; P = 0,01; ηp2 = 0,30) a ES (+16%; P < 0,001; ηp2 = 0,48). Po ukončení výkonu byla koncentrace katecholaminů vyšší u lezců nižší výkonnosti ve srovnání s lezci vyšší výkonnostní úrovně (P < 0,01, ηp2 = 0,28) (Studie 1B). S rostoucí rychlostí lezeckého pohybu byly shledány větší rozdíly pro V̇O2 (P < 0,001, ηp2 = 0,923) než pro StO2 (P < 0,001, ηp2 = 0,448). Srovnávání

lezců různé výkonnostní úrovně (nižší výkonnost, pokročilí, výkonnostní a elitní) ukázalo, že pomocí svalové saturace (StO2, P = 0,001, ηp2 = 0,296, ΔStO2, P = 0,017, ηp2 = 0,177) můžeme rozlišovat mezi výkonnostními skupinami lépe než pomocí systémové odezvy (V̇O2, P = 0,093, ηp2 = 0,151) (Studie 2). Zlom v StO2 byl identifikovatelný během stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru a tento parametr se zdá být využitelný pro determinaci lokálních metabolických zón (Studie 3).

Závěr: Lezci jsou během lezení vysoko nad zemí vystavováni většímu psychickému i metabolickému stresu a daná zátěž je vnímána jako náročnější ve srovnání s lezením nízko nad zemí. Rychlost lezení je primárním faktorem, který ovlivňuje systémovou $\dot{V}O_2$, vliv na lokální StO_2 je podmíněn výkonnostní úrovní daného lezce. Na druhou stranu zvyšování obtížnosti sklonem lezecké cesty vede k prudkému poklesu StO_2, zatímco nárůst u $\dot{V}O_2$ nedosahuje hodnot typických pro lezení o vyšší rychlosti. Lokální spotřeba kyslíku při submaximální zátěži je citlivým ukazatelem schopným rozlišovat výkonnostní kategorie lezců a blízkou infračervenou spektroskopii lze aplikovat k detekci lokálních metabolických zón.

Klíčová slova: energetická náročnost, spotřeba kyslíku, srdeční frekvence, blízká infračervená spektroskopie

Abstract

Title: Physiological responses on standardized climbing task in sport climbers

Purpose: To determine the effect of height, wall angle, climbing speed and climbing ability on physiological responses in sport climbers.

Methods: The study was divided into three parts. 75 sport climbers (36 female and 39 male) completed differing tests on climbing wall and motorized climbing ergometer. Perceived exertion was assessed on a scale suggested by Borg. Indirect calorimetry, venous blood samples and near-infrared spectroscopy were used to assess physiological response, hormonal response and muscle oxygen saturation, respectively.

Results: Perceived exertions were higher when climbing to height as opposes to climbing low to the ground on the treadwall (+5,3%; P = 0,013; η_p^2 = 0,149) (Study 1A). The physiological response was higher on the climbing wall as opposed to the treadwall: $\dot{V}O_2$ (+6%; P = 0,03; η_p^2 = 0,22), SF (+4%; P = 0,04; η_p^2 = 0,20), $\dot{V}E$ (+9%; P = 0,01; η_p^2 = 0,30) a EC (+16%; P < 0,001; η_p^2 = 0,48). There was an interaction for climbing ability and post-climbing catecholamine concentration (P < 0,01, η_p^2 = 0,28) (Study 1B). With increasing climbing speed greater differences were found for $\dot{V}O_2$ (P < 0,001, η_p^2 = 0,923) than for StO_2 (P < 0,001, η_p^2 = 0,448). Between-subject effect suggest that localized muscle oxygenation (StO_2, P = 0,001, η_p^2 = 0,296, ΔStO_2, P = 0,017, η_p^2 = 0,177) rather than systemic oxygen response $\dot{V}O_2$ (P = 0,093, η_p^2 = 0,151) distinguished the ability groups during steady state

climbing task (Study 2). Muscle oxygen breakpoint (MOB) was identifiable during incremental climbing test to exhaustion (Study 3).

Conclusion: Climbers are exposed to greater mental and metabolic stress during climbing high above the ground and the load is perceived as more demanding compared to climbing low above the ground. Climbing speed is the primary factor that affects the system $\dot{V}O_2$, the effect on local StO2 is conditioned by the performance level of the climber. On the other hand, increasing the difficulty with the slope of the climbing wall leads to a sharp decrease in StO_2, systemic $\dot{V}O_2$ does not reach the values typical for climbing at higher speeds. Local oxygen consumption at submaximal exercise is a sensitive indicator capable to distinguish climbing ability level, and near-infrared spectroscopy can be used to detect local metabolic zones.

Keywords: energy cost, oxygen uptake, heart rate, near-infrared spectroscopy

Obsah

1 Úvod ... 11
2 Teoretická východiska ... 12
2.1 Sportovní lezení ... 12
2.2 Hodnocení výkonu ve sportovním lezení ... 14
2.3 Funkční odezva organismu na výkon ve sportovním lezení ... 18
2.3.1 Srdeční frekvence a spotřeba kyslíku ... 20
2.3.2 Laktát ... 22
2.3.3 Diagnostika lezecké výkonnosti ... 23
2.3.4 Hormonální odezva ... 24
2.3.5 Vnímané úsilí a úzkost ... 25
2.3.6 Hemodynamická odezva svalů předloktí ... 26
2.4 Shrnutí teoretické části ... 34
3 Výzkumné otázky ... 37
4 Cíle práce ... 37
5 Hypotézy ... 37
6 Úkoly práce ... 37
7 Studie 1 ... 38
7.1 Úvod ... 38
7.2 Metodika ... 39
7.3 Výsledky části A ... 47
7.4 Diskuze části A ... 50
7.5 Výsledky části B ... 54
7.6 Diskuze části B ... 59
7.7 Závěry Studie 1 ... 61
8 Studie 2 ... 63
8.1 Úvod ... 63
8.2 Metodika ... 64
8.3 Výsledky Studie 2 ... 71
8.4 Diskuze Studie 2 ... 78
8.5 Závěry Studie 2 ... 81
9 Studie 3 ... 82
9.1 Úvod ... 82
9.2 Metodika ... 83
9.3 Výsledky Studie 3 ... 88
9.4 Diskuze Studie 3 ... 96

9.5 Závěry Studie 3 102
10 Závěr 103
11 Literatura 106
12 Přílohy 117

Použité zkratky

DF dechová frekvence

EDC extensor digitorum communis

ES energetická spotřeba

FCP flexor carpi radialis

FDP flexor digitorum profundus

GET gas exchange threshold

MET klidový metabolický obrat

MOB muscle oxygen breakpoint

MVK maximální volní kontrakce

RCP respiratory compensation point

RER respirační poměr

RPE hodnocení vnímaného úsilí

SD směrodatná odchylka

SF srdeční frekvence

StO_2 tkáňová saturace

$\dot{V}CO_2$ výdej oxidu uhličitého

$\dot{V}E$ minutová ventilace při expiriu

$\dot{V}O_2$ spotřeba kyslíku

VT dechový objem

1 Úvod

Sportovní lezení prochází v posledních třech dekádách dynamickým vývojem, který je patrný jak na úrovni rekreačního, tak i závodního pojetí tohoto sportu. Dobře je to vidět na rostoucím počtu osob, které se tomuto sportu věnují, na vzrůstajícím počtu umělých lezeckých stěn i objevování nových oblastí skalního lezení. Mezi výkonnostními lezci je dnes mnoho těch, kteří jsou schopni lézt cesty takové obtížnosti, která byla před několika málo roky myslitelná pouze u elitních lezců. Díky elitním lezcům pak dochází k posouvání obtížnosti cest zdolávaných na skalních terénech. Závodní lezci jsou během soutěží vystavováni takovým obtížím, které na ně kladou zcela specifické nároky z hlediska sportovní přípravy. Právě soutěžní lezení bylo impulsem k rostoucí popularitě tohoto sportu, jejíž počátky lze spojovat s prvními významnými závody, které se konaly roku 1985 na skalách v italské Bardonecchii. Následující rok se konaly závody na umělé stěně ve francouzském Vaulx-en-Vélin a v roce 1988 se pořádal první ročník seriálu závodu v lezení na obtížnost a v lezení na rychlost. O deset let později se přidávají závody v boulderingu. Ačkoliv se jedná o sportovní disciplíny mající stejný základ, tak snad jen lezení na obtížnost si ještě zachovává jistou podobnost se skalním lezením. Nicméně formát soutěže, který bude představen na olympijských hrách v Tokiu v roce 2021, zapříčinil změnu v přístupu k tréninkové přípravě všech lezců, kteří se o účast na OH ucházeli. V Tokiu se bude soutěžit ve všech třech disciplínách o jednu sadu medailí. Každá z těchto disciplín představuje odlišné metabolické zatížení organismu, které si v jistých aspektech odporuje, což klade na lezce zcela nové nároky v co nejefektivnějším způsobu přípravy. Nové poznatky v oblasti funkční odpovědi na lezecký výkon přispívají nejen k hlubšímu pochopení tohoto sportovního odvětví, ale umožňují také například tvorbu efektivnějších tréninkových plánů.

2 Teoretická východiska

2.1 Sportovní lezení

Termín *sportovní lezení* označuje několik aktivit, mezi které řadíme lezení s lanem, bouldering a soutěžní lezení. Soutěže se pořádají v lezení na obtížnost, boulderingu a lezení na rychlost a zastřešuje je IFSC (International Federation of Sport Climbing).

Bouldering představuje lezení do malé výšky bez jistících pomůcek, kdy je případný pád tlumen dopadovou matrací. Pro bouldering je typická velká náročnost pohybu koncentrovaná do několika málo lezeckých pohybů (kroků). Bouldering je nejen samostatnou disciplínou, a to i v soutěžní podobě, ale také specifickým tréninkovým prostředkem pro rozvoj techniky a síly.

Lezení s lanem lze provozovat na umělých stěnách i na zajištěných skalách, kdy je díky fixnímu jištění minimalizováno objektivní riziko. Při samotném výkonu se lezec pohybuje nejčastěji ve výšce 10 až 35 m, jištěn je lanem připevněném pomocí uzlu k sedacímu úvazku. Lano je během výstupu zapínáno do postupového jištění a slouží k zachycení případného pádu. Pohyb vysoko nad zemí či strach z pádu může, zejména u méně zkušených lezců, představovat významný psychický stresor. Na rozdíl od anglosaského prostředí se v češtině uplatňuje ještě označení lezení na obtížnost, což je termín týkající se pouze soutěžní formy lezení s lanem.

Soutěžní lezení

Závody v *lezení na obtížnost,* stejně jako v boulderingu a v lezení na rychlost, se odehrávají na umělých stěnách. Závody se skládají ze dvou různých kvalifikačních cest, po jejichž úspěšném absolvování postupuje závodník do semifinále, kde absolvuje jednu cestu a následně určitý počet nejlepších postupuje do finále rovněž k jedné cestě. Na vylezení cesty, jejíž délka musí být minimálně 15 m, kterou nebylo možné předem nacvičovat, má závodník

pouze jeden pokus a časový limit šest minut. Hlavním kritériem pro dosažení nejlepšího výkonu je počet chytů, kterých lezec dosáhnul (IFSC, 2020).

Závody v *boulderingu* zahrnují v rámci kvalifikace pět boulderů, semifinále a finále obsahuje bouldery čtyři. Maximální počet chytů, které může soutěžní boulder obsahovat, je dvanáct. Na absolvování jednoho boulderu v kvalifikaci a semifinále je časový limit pět minut, ve finále jsou to minuty čtyři. Jednotlivé bouldery není možné předem nacvičit. O pořadí rozhoduje počet úspěšně vylezených boulderů, případně další kritéria (IFSC, 2020).

Závody v *lezení na rychlost* se odehrávají vždy na stejné cestě (standardizované, při lezení na obtížnost a boulderingu jsou cesty vždy rozdílné), kterou se závodníci snaží přelézt co nejrychleji. Závěrečná kola se lezou ve dvojicích souběžně vyřazovacím způsobem (IFSC, 2020).

Kombinace je nový formát závodů, který byl zvolen do programu OH v Tokiu. Kvalifikační i finálová kola kombinují soutěže v lezení na rychlost, boulderingu a lezení na obtížnost. Každému závodníkovi jsou přiděleny body za pořadí v jednotlivých disciplínách. Celkový počet bodů, který rozhoduje o konečném umístěný závodníka, se rovná součinu bodů za jednotlivé disciplíny (IFSC, 2020).

Vzhledem k rozmanitosti lezeckých disciplín je obtížné posuzovat univerzálně a objektivně výkon ve sportovním lezení. V následujícím textu se budeme věnovat dílčím faktorům, které ovlivňují hodnocení výkonu sportovních lezců.

2.2 Hodnocení výkonu ve sportovním lezení

Nejsnáze lze hodnotit výkon při lezení na rychlost, jelikož se jedná pouze o závodní disciplínu, která se odehrává vždy na identické cestě a jediným kritériem je čas. U lezení s lanem a boulderingu je problematika složitější už jenom z toho důvodu, že se obě aktivity provozují na umělých stěnách a skalních terénech. Hlavním kritériem pro hodnocení výkonu je obtížnost cesty a styl přelezu. Zejména při lezení na skalních terénech hrají roli také aktuální klimatické podmínky a stav dané cesty. Obtížnost lezecké cesty je ovlivněna délkou a sklonem, velikostí chytů a vzdáleností mezi nimi. Při lezení s lanem na skalách hraje roli také vzdálenost mezi jistícími body. Klasifikaci cesty na umělé stěně určuje její stavěč. Na skalách ji navrhuje prvovýstupce, který zohledňuje místní zvyklosti a jím navržená obtížnost je konzultována s jinými lezci a případně upravena na základě doporučení od dalších lezců. Přesto se často jedná o zcela subjektivní hodnocení. Obtížnost se vyjadřuje pomocí škál, které se liší místem používání. Při lezení s lanem se na evropském kontinentu nejčastěji používají stupnice Francouzská a UIAA (International Climbing and Mountaineering Federation). Ve Spojených státech amerických a Kanadě je to stupnice Yosemitská. Ewbankova škála je nejčastěji používána v Austrálii, na Novém Zélandu a v Jižní Africe. Pro porovnání obtížnosti cest na různých kontinentech slouží srovnávací tabulky (Tabulka 2). V boulderingu je situace jednodušší. Mezi nejčastěji používané stupnice obtížnosti v kontinentální Evropě patří škála Fontainebleau. Hueco V škála našla uplatnění převážně v anglicky mluvících zemích. Jejich vzájemné srovnávání ukazuje Tabulka 1.

Tabulka 1 Převodní tabulka stupnic obtížnosti v boulderingu; Fontainebleau a Hueco V škála (Draper et al., 2016).

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

Ve výzkumných studiích jsou používány různé obtížnostní škály pro hodnocení obtížnosti cesty i výkonnosti zúčastněných lezců. Tuto nejednotnost se pokusili vyřešit (Draper et al., 2016) zavedením jednotné škály a terminologie, které by byly používány napříč odbornými pracemi (Tabulka 2).

Tabulka 2 Převodní tabulka stupnic obtížnosti pro lezení s lanem a klasifikace výkonnostních skupin pro muže a ženy (Draper et al., 2016). Internationak Rock Climbing Research Association (IRCRA), International Climbing and Mountaineering Federation (UIAA).

Lezecká výkonnost (muži)	IRCRA	UIAA	Francouzská	Yosemitská	Ewbankova	Lezecká výkonnost (ženy)
Nižší výkonnost	**1**	I	1	5.1	9	Nižší výkonnost
	2	II	2	5.2	10	
	3	III	2+	5.3	11	
	4	III+	3-	5.4	12	
	5	IV/IV+	3	5.5	13	
	6	IV+/V-	3+	5.6	14	
	7	V-/V	4	5.7	15	
	8	V/V+	4+	5.8	16	
	9	VI-	5	5.9	17	
Pokročilí lezci	**10**	VI	5+	5.10a	18	Pokročilí lezci
	11	VI+	6a	5.10b	19	
	12	VII-	6a+	5.10c	20	
	13	VII	6b	5.10d	21	
	14	VII/VII+	6b+	5.11a	22	
	15	VII+	6c	5.11b	22	Výkonnostní lezci
	16	VIII-	6c+	5.11c	23	
	17	VIII	7a	5.11d	23	
Výkonnostní lezci	**18**	VIII+	7a+	5.12a	24	
	19	VIII+/IX-	7b	5.12b	25	
	20	IX-	7b+	5.12c	26	
	21	IX-	7c	5.12d	27	
	22	IX+	7c+	5.13a	28	Elitní lezci
	23	IX+/X-	8a	5.13b	29	
Elitní lezci	**24**	X-	8a+	5.13c	30	
	25	X-	8b	5.13d	31	
	26	X+	8b+	5.14a	32	
	27	XI-	8c	5.14b	33	Vysoce elitní lezci
	28	XI-/XI	8c+	5.14c	34	
Vysoce elitní lezci	**29**	XI	9a	5.14d	35	
	30	XI+	9a+	5.15a	36	
	31	XII-	9b	5.15b	37	
	32	XII	9b+	5.15c	38	

Při hodnocení výkonu ve sportovním lezení je důležitá nejen obtížnost dané cesty, ale také *lezecký styl,* kterým byl výstup absolvován. Z hlediska dnešního pojetí sportovního lezení jsou nejfrekventovanější následující lezecké styly:

On-sight (OS) - přelezení cesty na první pokus bez pádu v pozici prvolezce a bez jakékoliv předchozí informace o cestě či možnosti vidět cestu lézt jiným lezcem. Tímto stylem se lezou finálová kola soutěží v lezení na obtížnost a boulderingu.

Red point (RP) – přelezení cesty v pozici prvolezce bez pádu, cestu je možné předem nacvičovat.

All free (AF) – přelezení cesty v pozici prvolezce, v průběhu přelezení cesty je možné odpočívat odsednutím do jistícího lana.

Top rope (TR) - přelezení cesty v pozici druholezce, kdy je lezec jištěn pomocí horního jištění jističem na zemi či v případě lezení na umělé stěně také pomocí automatického navíjecího zařízení (tak je tomu také v rámci soutěží v lezení na rychlost).

Je evidentní, že různé lezecké disciplíny budou vyžadovat různé zapojení metabolických systémů a budou klást jiné nároky na sportovní přípravu. Stejně tak u rostoucí obtížnosti cest se dá předpokládat zvýšená funkční odezva, která bude dále ovlivněna výkonností a zkušeností jednotlivých lezců.

2.3 Funkční odezva organismu na výkon ve sportovním lezení

Výkon ve sportovním lezení je určován vedle fyzické náročnosti také aspekty psychickými, technickými a taktickými (Orth et al., 2016). Tato komplexnost výkonu komplikuje sledování faktorů z čistě fyziologického hlediska (Baláš et al., 2017; Draper et al., 2008; Draper et al., 2010; Fryer, 2013; Hodgson et al., 2009). Funkční odezva byla sledována na dvou úrovních, a sice systémové a lokální. Mezi nejčastěji sledované ukazatele systémové funkční odpovědi na výkon patří spotřeba kyslíku a srdeční frekvence (Draper et al., 2008; Mermier et al., 1997; Sheel et al., 2003; Watts & Drobish, 1998). Dále je to metabolická náročnost a hormonální odpověď (Baláš et al., 2017; Dickson, Fryer, Draper, et al., 2012; Draper et al., 2012; Fryer et al., 2013). Z hlediska lokální odpovědi se pozornost věnuje sledování hemodynamické odezvě svalů předloktí (Baláš et al., 2018; Feldmann et al., 2020; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015; Macleod et al., 2007).

Nejen různé lezecké disciplíny vykazují odlišnou metabolickou náročnost, ale i lezecké cesty různého charakteru budou na organismus sportovního lezce klást odlišné nároky. Je nutné zohlednit její délku a sklon. Mezi další faktory, které ovlivňují funkční odezvu během výkonu, patří rychlost pohybu, zkušenost lezce a styl přelezu (Baláš, 2016).

Lezení s lanem představuje aktivitu zatěžující celé tělo, při které jsou nicméně dominantně zatěžovanými svaly flexory prstů vykonávající opakovaně vysoce intenzivní intermitentní kontrakce přerušované krátkými periodami odpočinku. Při těchto kontrakcích dochází k lokální ischémii, která je střídána reperfuzí v době relaxace svalu (Michailov, 2014). Únava flexorů prstů je nejčastěji důvodem k ukončení výkonu. Délka jednotlivých kontrakcí a tedy doba kontaktu s chytem se během výkonu liší. Podle provedených analýz výkonu lezení s lanem se pohybuje okolo 8-12 s (Donath et al., 2013). Poměr mezi dobou kontrakce a relaxace, během které dochází k přesunu z chytu na chyt nebo je čas využit pro zotavení, se pohybuje

v rozmezí 1:3-1:7 (Donath et al., 2013; Schädle-Schardt, 1998). Čas potřebný k přelezení cesty na lezecké stěně se pohybuje v rozmezí 2-7 minut (Watts, 2004) a bývá mnohem kratší ve srovnání s časem nutným k přelezení skalní cesty (v některých případech několik desítek minut). Časový limit pro soutěžní cesty je 6 min, reálný soutěžní výkon však trvá mnohem kratší dobu.

Zcela odlišné parametry jsou typické pro bouldering. Především závodní pojetí této disciplíny prošlo v posledních letech velkou proměnou, kdy jsou kladeny velké nároky nejen na maximální a výbušnou sílu horní poloviny těla, ale také na koordinaci pohybu, zejména u boulderů obsahujících prvky parkouru. Díky tomuto pojetí dochází k většímu zapojení dolních končetin a předpokládá se u nich vysoká úroveň dynamických schopností. V rámci soutěže závodníci absolvují kvalifikaci, semifinále a finále. Počet boulderů v kvalifikaci je 5, v semifinále a finále pak 4. Počet lezeckých kroků v rámci každého boulderu může být maximálně 12 a průměrný počet lezeckých kroků na boulderu v jednom kole má být mezi 4 až 8. White a Olsen (2010) provedli analýzu výkonu v boulderingu, kdy čas nutný k úspěšnému přelezu jednoho boulderového problému byl 38,4 ± 4,1 s.

Při lezení na rychlost se největší nároky kladou na rychlost, koordinaci a výbušnost, a to i dolních končetin, které se do výkonu zapojují v mnohem větší míře než u zbylých dvou lezeckých disciplín. Během závodu se leze vždy identická cesta o délce 15 m, kdy světový rekord u mužů má hodnotu 5,60 s a u žen 6,99 s (IFSC, 2020).

V následujícím textu jsou uvedeny studie, které se věnovaly fyziologické odezvě pří lezení za různých podmínek a při působení odlišných faktorů. Pro zájemce o konkrétní sledované proměnné a jejich naměřené hodnoty obsažené v citovaných studiích odkazujeme na práci Baláše (2016). Je nutno zmínit, že naprostá většina studií se zabývá sledováním fyziologické odezvy během lezení s lanem, bouldering a lezení na rychlost stojí zatím na okraji zájmu vědecké obce.

2.3.1 Srdeční frekvence a spotřeba kyslíku

S rostoucí obtížností lezecké cesty dochází ke zvyšování srdeční frekvence (SF) (Sheel et al., 2003), jejíž hodnoty jsou ovlivněny jak intenzitou výkonu, tak zkušeností lezců (Janot et al., 2000). Zatímco hodnoty SF se při submaximálním zatížení pohybují v rozmezí 70-80% SF_{max} (Heil, 2019), tak při lezení s lanem do vyčerpání dosahuje až 95% SF_{max} (Billat et al., 1995; Limonta et al., 2018; Sheel et al., 2003). Při simulovaných závodech v boulderingu dosahovala srdeční frekvence 88-93% SF_{max} (Callender et al., 2021; La Torre et al., 2009). Zatím pouze jedna studie (Fuss et al., 2020) se věnovala sledování SF v průběhu lezení na rychlost, kdy SF_{peak} dosahovala srovnatelných hodnot jako při lezení s lanem. V několika studiích (Billat et al., 1995; Booth et al., 1999; Mermier et al., 1997; Sheel et al., 2003; Watts & Drobish, 1998) bylo poukázáno na disproporční růst $\dot{V}O_2$ a SF. Za příčinu nelineárního nárůstu SF jsou považovány izometrické kontrakce svalů předloktí doprovázené přítomností metaboreflexu (Sheel, 2004), dále pak poloha paží nad úrovní srdce (Åstrand et al., 1968). Dalšími faktory ovlivňujícími SF jsou psychický stres a úzkost, které jsou spojovány se strachem z výšky či z pádu, zejména u méně zkušených lezců (Baláš et al., 2017; Draper et al., 2012; Fryer et al., 2013; Hodgson et al., 2009).

Mezi nejčastěji sledované ukazatele funkční náročnosti lezení patří vedle SF také spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), která dosahuje při lezení s lanem 45-70% $\dot{V}O_{2max}$ (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Billat et al., 1995; Mermier et al., 1997; Sheel et al., 2003). Limonta et al. (2018) ovšem uvádějí při lezení do vyčerpání na lezeckém ergometru $\dot{V}O_2$ na úrovni 95% maximální spotřeby kyslíku. Rozdíl oproti předchozím studiím může pramenit v použití jiného zátěžového protokolu. Při boulderingu dosahuje spotřeba kyslíku ~75% $\dot{V}O_{2max.}$ Studie, které se touto problematikou zabývaly, měřily systémovou $\dot{V}O_2$ prostřednictvím různých typů metabolických analyzátorů. Limitací tohoto přístupu je nemožnost rozlišit mezi relativním zastoupením jednotlivých částí těla na výkonu, tedy i na $\dot{V}O_{2.}$ Jak už bylo zmíněno výše, pro

lezecký výkon je typické dominantní zapojení svalů předloktí a pletence ramenního. Dolní končetiny mají funkci převážně lokomoční, míra jejich zapojení stoupá s rostoucí rychlostí pohybu, což se projeví také na rostoucí $\dot{V}O_2$ (Heil, 2019). Významný vliv rychlosti pohybu na energetickou náročnost lezení lze najít i v dalších studiích (Booth et al., 1999). Naopak svaly horní poloviny těla se zapojují do větší míry s rostoucím sklonem cesty, který má vliv také na zvyšující se obtížnost cesty, v důsledku čehož se předpokládá také vyšší funkční odezva (Baláš, 2016). Právě vliv zvyšujícího se sklonu cesty na spotřebu kyslíku byl sledován v několika studiích, ve kterých se potvrdil významný nárůst energetické náročnosti lezení se zvyšujícím se sklonem (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Mermier et al., 1997; Panáčková et al., 2012). Budeme-li chtít sledovat vliv sklonu cesty na funkční odezvu, je třeba izolovat ostatní faktory, které mají na fyziologickou odpověď vliv. Mezi tyto faktory řadíme kromě rychlosti také velikost, tvar a rozmístění chytů (Baláš, 2016). Ke stanovení vlivu sklonu na funkční odpověď se zdá být nejvhodnější lezecký ergometr, který umožňuje jasně definovat sklon cesty a rychlost pohybu (Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & España-Romero, 2018; Heil, 2019; Limonta et al., 2018; Watts & Drobish, 1998). Při použití lezeckého ergometru pro funkční vyšetření se ovšem může vyskytnout problém se zachováním ekologické validity.

Styl přelezení cesty je nedílnou součástí hodnocení výkonu zejména při lezení s lanem (Aras & Akalan, 2014; Dickson, Fryer, Blackwell, et al., 2012; Draper et al., 2008; Draper et al., 2010). Nejčastěji sledovanými styly v rámci vědeckých studií byly RP a TR. Zatímco při jejich srovnání nebyly u pokročilých (Draper et al., 2010) a elitních lezců (Dickson, Fryer, Blackwell, et al., 2012) shledány významné rozdíly ve $\dot{V}O_2$, tak u lezců nižší výkonnosti (Aras & Akalan, 2014) tyto rozdíly ve spotřebě kyslíku významné byly. Ke stejným závěrům došli Draper et al. (2008), kteří porovnávali styly OS a RP. Ve všech uvedených studiích byla monitorována také SF, pro kterou platí stejné závěry jako pro $\dot{V}O_2$. Z výsledků citovaných studií

lze usuzovat, že různé lezecké styly nemají významný vliv na funkční odezvu u lezců zejména vyšší výkonnostní úrovně.

Naopak zkušenost, do které mimo jiné spadá délka lezecká praxe a technika pohybu, se ukázala být faktorem, který má významný vliv na funkční odpověď organismu během lezení (Baláš, Panáčková, Jandová, et al., 2014). Bertuzzi et al. (2007) upozorňují na fakt, že zkušenější lezci, kteří se vyznačují lepší technikou pohybu, vykazují menší energetické nároky spojované s přelezením dané cesty. Při lezení cesty v kolmém profilu byly shledány významné rozdíly ve $\dot{V}O_2$ mezi rekreačními a elitními lezci (Bertuzzi et al., 2007) a stejně tak mezi rekreačními a výkonnostními lezci (Panáčková et al., 2012). Podobně tomu bylo ve studii Baláše, Panáčkové, Jandové et al. (2014), kdy se porovnávala fyziologická odpověď na lezení identické cesty v různých sklonech (85°, 90°, 98°) u lezců nižší výkonnosti a pokročilých lezců. Autoři studie sledovali tlak na oporové plochy pomocí vložek do bot. U lezců nižší výkonnosti byly pozorovány nižší vertikální síly působící na oporu nohou, což vede k většímu zapojení paží a tedy k vyšším naměřeným hodnotám SF a $\dot{V}O_2$.

2.3.2 Laktát

Laktát je produktem rychlé glykolýzy a důležitý metabolický substrát pro řadu dalších reakcí aerobního metabolismu. Při lezení je produkován především svaly předloktí a pletence ramenního, tedy malými skupinami svalů, což se může odrážet v hladině krevního laktátu, která nedosahuje takových hodnot jako při běhu či cyklistice (Baláš, 2016; Sheel, 2004). Po lezení s lanem byly naměřeny hodnoty 2,4-10 mmol/l (Bertuzzi et al., 2007; Limonta et al., 2018; Schöffl, Möckel, et al., 2006; Sheel, 2004; Watts et al., 1996), ale je potřeba zmínit, že se lišily podmínky, při kterých byla hladina krevního laktátu sledována (intenzita zatížení, lezení s lanem vs. lezení na lezeckém trenažeru, různá obtížnost cest, jejich délka a sklon, různé typy chytů, rozdílná výkonnost lezců, vlastní vs. stanovená rychlost pohybu). Při boulderingu

dosahoval krevní laktát hodnot 4-6 mmol/l (La Torre et al., 2009) a při lezení na rychlost hodnot ~7,6 mmol/l (Guo et al., 2019). Není dosud zřejmé, proč je po lezení hladina krevního laktátu malá. Mezi možnými příčinami se uvádí buď okamžitá spotřeba laktátu ve velkých svalových skupinách dolních končetin, nebo je produkce laktátu lokální, a proto je i malá koncentrace v krevním řečišti (Baláš, 2016).

2.3.3 Diagnostika lezecké výkonnosti

Přestože je sportovní lezení již dlouho samostatným sportovním odvětvím, které zahrnuje tři disciplíny a v rámci kterého se pořádají soutěže na nejvyšší úrovni, tak nemáme dostatek informací o posuzování lezecké výkonnosti a určování kritérií, podle kterých by bylo možno efektivně plánovat a řídit tréninkový proces. Testování lezecké výkonnosti je vystaveno problematice vhodně zvoleného typu testu při zachování ekologické validity. Doposud známé testy můžeme svým zaměřením rozdělit na lokální či systémové.

K hodnocení systémové odezvy k diagnostickým účelům byl použit nejčastějii lezecký ergometr (Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Limonta et al., 2018; Schöffl, Einwag, et al., 2006). Například Schöffl et al. (2006) aplikovali stupňovaný test ke sledování hodnot SF a hladiny krevního laktátu, jejíž analýza byla podkladem pro stanovení laktátového prahu a „faktoru silové vytrvalosti“. Tento parametr sloužil k hodnocení úrovně lezecké výkonnosti. Nicméně míra krevního laktátu jakožto odpověď na tento typ zatížení není podle autorů použitelná pro preskripci tréninkové intenzity a tedy řízení tréninkového procesu. Byly navrženy také testy do vyčerpání (Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Limonta et al., 2018) pro hodnocení vytrvalostních schopností, nicméně nebylo dosaženo konzistence při výběru faktorů ovlivňujících intenzitu lezení (sklon stěny x rychlost lezení), ani při volbě sledovaného parametru (čas do vyčerpání x $\dot{V}O_{2peak}$).

Pozornost z hlediska diagnostiky byla věnována také fyziologické odpovědi na lokální úrovni. Stanovení maximální síly flexorů prstů bylo popsáno ve studii Baláše et al. (2014). Realizováno bylo několik studií, v rámci kterých byla sledována lezecky specifická vytrvalost flexorů prstů během souvislých či intermitentních testů na různé úrovni maximální volní kontrakce (40-80% MVK). Testování probíhalo na lezecky specifickém zařízení zvaném „hangboard“ či „fingerboard“ (Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Michailov et al., 2018; Philippe et al., 2012; Vigouroux & Quaine, 2006). Aplikovatelnost konceptu kritického výkonu, v tomto případě spíše kritické síly, flexorů prstů u sportovních lezců byla zjišťována ve dvou studiích (Giles et al., 2019; Giles et al., 2020). Jedná se o test k určení funkční aerobní metabolické kapacity, která odlišuje setrvalý stav od ne-setrvalého. Ačkoliv autoři zmiňují několik limitací, zdá se, že tento koncept by mohl být vhodným prostředkem k určení zátěžové tolerance a preskripci tréninkové intenzity, stejně jako monitorování změn výkonnosti flexorů prstů.

2.3.4 Hormonální odezva

Vliv psychologických faktorů na funkční odpověď během výkonu ve sportovním lezení byl předmětem zájmu několika studií, na základě jejichž výsledků se uvádí, že hrozba pádu během lezení zvyšuje tělesnou úzkost (zadržování dechu, třes, studený pot), způsobuje větší vyplavování kortizolu a katecholaminů, zvyšuje SF a produkci laktátu (Baláš et al., 2017; Draper et al., 2008; Draper et al., 2010; Fryer et al., 2013; Hodgson et al., 2009).

Hladinu kortizolu v krevní plazmě u pokročilých lezců během lezení stylem RP a TR sledovali Hodgson et al. (2009). Při lezení, kdy hrozí pád (styl RP), byla hladina kortizolu vyšší. Podobnou studii provedli Fryer et al. (2013), ve které porovnávali lezení stylem OS a TR u výkonnostních lezců. V tomto případě nebyly shledány významné rozdíly v koncentraci kortizolu v krevní plazmě mezi těmito styly. Ke stejným závěrům došli také autoři dalších studií

(Dickson, Fryer, Draper, et al., 2012; Draper et al., 2012). Z výsledků je zřejmé, že vyšší vyplavování kortizolu v souvislosti s psychickými aspekty je patrné u začínajících lezců, u zkušenějších a výkonnostních lezců nebyly shledány významné rozdíly u hladiny kortizolu v souvislosti s různými styly lezení (Baláš, 2016).

Vliv délky možného pádu na hormonální odpověď u sportovních lezkyň sledovali Baláš et al. (2017). Ženy na výkonnostní úrovni lezly dvakrát identickou cestu v pozici prvolezce. V prvním případě zapínaly lano do každého postupového jištění, v druhém případě zapínaly lano do každého druhého jištění, kdy hrozil delší pád. Mezi sledovanými hormony byl kortizol, adrenalin, noradrenalin, dopamin a serotonin. Výsledky studie ukázaly vyšší odpověď u katecholaminů v souvislosti s možným delším pádem u sportovních lezkyň.

2.3.5 Vnímané úsilí a úzkost

Subjektivní škály pro hodnocení vnímaného úsilí (rating of perceived exertion, RPE) jsou široce užívaným nástrojem ke stanovení intenzity cvičení a byly validizovány v rámci mnoha studií (Chen et al., 2002). Například Americká společnost tělovýchovného lékařství (ACSM, 2014) využívá Borgovu škálu (Borg et al., 1987; Borg, 1982) pro hodnocení intenzity pohybové aktivity a spolu se $\dot{V}O_2$ a SF je pak stanovována vhodná intenzita zátěže. Bylo ukázáno, že RPE je ovlivněno také psychologickými proměnnými (úzkost, deprese a neuróza) (Morgan, 1973; Robertson & Noble, 1997). Pokud je intenzita cvičení nízká, vnímané úsilí je ovlivněno primárně nefyziologickými faktory; pokud je intenzita cvičení vysoká, pak fyziologické nároky jsou dominantním faktorem majícím vliv na hodnocení intenzity zátěže (Hall et al., 2005).

Vnímání psychické a fyzické náročnosti během lezení bylo hodnoceno v rámci několika studií, které porovnávaly nejen styly lezení, ale také lezení s jinými aktivitami. Lezení stylem OS bylo u pokročilých lezců doprovázeno významně vyšším stupněm úzkosti ve srovnání se stylem RP (Draper et al., 2008). U stejně zkušených lezců provedli Draper et al.

(2010) porovnání stylů RP a TR. Vnímaná fyzická a psychická zátěž byla významně vyšší po přelezení cesty stylem RP. Srovnání stejných stylů u lezců nižší výkonnosti provedli Aras a Akalan (2014) a došli k závěru, že u lezců této výkonnosti je lezení stylem RP doprovázeno významně vyšší úrovní somatické a kognitivní úzkosti. Při hodnocení náročnosti lezení a běhu bylo konstatováno (Watts & Drobish, 1998), že zkušení lezci nevnímali významné rozdíly (při použití RPE) mezi oběma aktivitami, pokud byly vykonávány za setrvalého stavu při stejné výši SF. Při testu do vyčerpání na lezeckém ergometru vnímali pokročilí a elitní lezci nižší intenzitu zátěže ve srovnání s testem do vyčerpání na cyklistickém ergometru (Limonta et al., 2018). Na základě závěrů výše zmiňovaných studií se lze domnívat, že pro hodnocení intenzity lezeckého výkonu je podstatná lezecká zkušenost a výkonnost, a při porovnávání s jinou aktivitou také náročnost testu.

2.3.6 Hemodynamická odezva svalů předloktí

Při sledování hemodynamické odezvy svalů předloktí u sportovních lezců byla důležitým kritériem lezecká zkušenost (nelezci, mírně pokročilí, pokročilí a elitní) a preferovaná lezecká disciplína (lezení s lanem a bouldering), neboť se předpokládá vyšší adaptační odpověď flexorů prstů na lezeckou zátěž a rovněž odlišné zastoupení metabolických procesů při krátkém intenzivním lezení (bouldering) a vytrvalostním lezení s lanem. Mezi nejčastěji sledované parametry patří průtok krve svalem, deoxygenace svalu a utilizace kyslíku a rychlost reoxygenace.

Perfuze

Změny průtoku krve byly sledovány během souvislé kontrakce o intenzitě 40% MVK do vyčerpání u svalu flexor digitorum profundus (FDP). Testování se zúčastnily tři výkonnostní skupiny lezců a kontrolní skupina. Rozdíl v průtoku krve během zátěže a klidovým stavem nebyl významný při porovnání testovaných skupin (Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015). K

jinému závěru dospěli Fryer, Stoner, Lucero, et al. (2015) a sice u svalů FDP a flexor carpi radialis (FCR). V tomto případě se jednalo o intermitentní typ kontrakce o intenzitě 40% MVK. Autoři studie uvádějí, že byl pozorován zvýšený průtok krve svalem po uvolnění kontrakce a to u elitních lezců ve srovnání s kontrolní skupinou, ale už ne v porovnání s lezci nižších výkonnostních úrovní.

Lezci se ve srovnání s nelezci vyznačují také významně vyšším průtokem krve arterií brachialis při maximální dilataci (Thompson et al., 2014). Celkově je cévní systém na všech úrovních větvení brachiální tepny u populace sportovních lezců jednoznačně vyvinutější ve srovnání s nesportujícími jedinci (Ferguson & Brown, 1997; Thompson et al., 2014).

Deoxygenace svalu a utilizace kyslíku

Často monitorovaným parametrem hemodynamických změn svalů předloktí je utilizace kyslíku, která byla sledována během testů, které simulovaly výkon v lezení (Tabulka 4 a Tabulka 5), především však v průběhu kontinuální izometrické kontrakce do vyčerpání (Tabulka 4). Výkon byl realizován na různých typech specifických lezeckých dynamometrů při různé intenzitě (40% a 60%) MVK. Zatímco Philippe et al. (2012) neshledali u souvislého vytrvalostního testu významné rozdíly v míře deoxygenace FDP mezi lezci a nelezci, závěry studie provedené MacLeodem et al. (2007) vyznívají opačně a autoři uvádějí, že míra deoxygenace svalu FDP je vhodným parametrem k rozlišení mezi skupinami lezců a nelezců. Autoři jiných dvou studií (Fryer, Stoner, Dickson, et al., 2015; Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015) konstatují, že míra deoxygenace FDP a FCR u elitních lezců je významně větší ve srovnání s kontrolní skupinou i s lezci nižších výkonnostních úrovní. Stejně tak při porovnání skupin lezců s lanem a boulderistů lze tento parametr použít pro rozlišení mezi těmito skupinami (Baláš et al., 2016; Kodejška et al., 2015), kdy lezci s lanem vykazují v průběhu souvislé kontrakce větší průměrnou i maximální deoxygenaci FDP. Fryer, Stoner, Lucero, et al. (2015) deoxygenaci u svalů FDP a FCR. U elitních lezců docházelo k významně vyšší

deoxygenaci FDP při intermitentní kontrakci ve srovnání s ostatními skupinami. U FCR byla deoxygenace u elitních lezců významně větší pouze ve srovnání se středně pokročilými lezci (Tabulka 5).

Fryer et al. (2018) použili NIRS pro sledování výkonu na lezeckém ergometru a uvádějí, že s rostoucí výkonností jsou lezci schopni dosáhnout větší deoxygenace FDP také během samotného lezeckého výkonu.

Feldmann et al. (2020) sledovali dynamiku svalové saturace kyslíkem během obouručných visů na liště do vyčerpání za různých podmínek, které se lišily intenzitou zatížení. Vedle tkáňové saturace (SmO_2) svalu FDP sledovali také čas do vyčerpání. Autoři došli k závěrům, že zatímco míra, s kterou byl kyslík extrahován a využit sledovaným svalem, se měnila v závislosti na intenzitě zatížení, tak dosažené minimální hodnoty SmO_2 zůstávali konstantní při vysokých intenzitách a byly v přímé souvislosti s časem do vyčerpání.

Schopnost větší deoxygenace svalu byla pozorována po suplementaci extraktem z černého rybízu (Fryer, Giles, Bird, Stone, Paterson, Balas, et al., 2020; Fryer, Giles, Bird, Stone, Paterson, Baláš, et al., 2020) a také jako následek chlazení svalu vodou o teplotě 8°C (Balas et al., 2020). Nicméně existují pochybnosti o přímé spojitosti mezi mírou deoxygenace svalu a větším vytrvalostním výkonem flexorů prstů (Balas et al., 2020). Míru utilizace kyslíku lze pozitivně ovlivnit pomocí řízeného tréninku v hypoxickém prostředí (Fryer et al., 2019).

Reoxygenace

Míra aerobní kapacity bývá spojována s rychlostí zotavení jak v průběhu fáze relaxace v rámci přerušovaného výkonu (intermitentní kontrakce, Tabulka 5), tak po ukončení výkonu (souvislá kontrakce a intermitentní kontrakce, Tabulka 4 a Tabulka 5). Pro hodnocení tohoto aspektu byl použit index oxidativní kapacity ($T_{1/2}$), který udává čas potřebný k polovičnímu zotavení a je stanoven jako poloviční čas, který uplyne od momentu nejnižší úrovně deoxygenace po moment

dosažení nejvyšší úrovně reoxygenace. Index oxidativní kapacity ukazuje na schopnost kapilárního řečiště a mitochondriální masy obnovit rozdíly mezi poptávkou a spotřebou kyslíku ve svalu (Barstow, 2019).

Průběh reoxygenace byl sledován v rámci několika studií během intermitentního výkonu u svalu FDP. Při porovnávání lezců se skupinou nelezců je zřejmé, že při intermitentním výkonu vykazovali lezci delší čas výdrže, což je spojováno s rychlejší reoxygenací FDP během fáze relaxace (Macleod et al., 2007). Giles et al. (2017) při sledování průběhu okysličení dominantní a nedominantní ruky u lezců různé výkonnosti došli k závěru, že u FDP dominantní ruky dochází k rychlejší reoxygenaci v průběhu fáze odpočinku mezi jednotlivými kontrakcemi.

Fryer, Stoner, Dickson, et al. (2015) sledovali průběh zotavení u svalů FDP a FCR. U elitních lezců byl zjištěn významně kratší čas nutný k polovičnímu zotavení ($T_{1/2}$) ve srovnání s kontrolní skupinou a středně pokročilými lezci po ukončení souvislé kontrakce, a to u obou sledovaných svalů. Během fáze po ukončení intermitentního výkonu byla zjištěna identická odpověď.

V lezecky specifických podmínkách byl také posuzován vliv různých typů odpočinku mezi jednotlivými izometrickými kontrakcemi FDP (Baláš et al., 2016). Aktivní odpočinek v podobě vyklepávání ruky u těla vedl k 28% nárůstu výkonu a o 32% vyšší reoxygenaci (+ΔTSI) při intermitentní zátěži oproti statické poloze ruky nad úrovní hlavy. U lezců s lanem docházelo ke zlepšení výkonu a k větší míře reoxygenace při vyklepávání ruky u těla oproti boulderistům, což vypovídá o rychlejších zotavovacích procesech u lezců s lanem.

Na druhou stranu k jiným závěrům došli Fryer et al. (2017), kteří hledali rozdíly v průběhu hemodynamických změn svalů předloktí u lezců s lanem, boulderistů a kontrolní skupiny. Sledovanými svaly byl FDP a extensor digitorum communis (EDC). Index oxidativní

kapacity ($T_{1/2}$) byl měřen po 5 min arteriální okluzi v rámci klidového testu. U obou lezeckých skupin byl $T_{1/2}$ významně vyšší (rychlejší čas k polovičnímu zotavení) ve srovnání s kontrolní skupinou, mezi lezeckými skupinami však nebyl shledán významnější rozdíl. Příčinou nemožnosti rozlišovat mezi skupinami lezců s lanem a boulderisty pomocí indexu oxidativní kapacity je pravděpodobně to, že obě skupiny mají aerobní kapacitu svalů předloktí adaptovanou na větší zátěž.

Tabulka 3 Charakteristiky jednotlivých studií a hodnoty naměřené během kontinuálních kontrakcí. Měřené parametry jsou uvedeny tak, jak jsou použity v citovaných studiích. Flexor digitorum profundus (FDP), flexor carpi radialis (FCR), extensor digitorum comunis (EDC), maximální volní kontrakce (MVK), brachialis (brach.), tissue oxygenation index (TOI, index tkáňového okysličení), -ΔTSI rozdíl mezi klidovou hodnotou saturace svalu a nejnižší hodnotou dosaženou během výkonu, O_2 dluh deoxygenace svalové tkáně, čas potřebný k dosažení poloviního zotavení po ukončení výkonu ($T_{1/2}$), nejnižší hodnota saturace svalu dosažená během výkonu (TSI_{min}), průměrná saturace svalu během výkonu ($TSI_{prům.}$).

autor	lezecká disciplína	lezecká výkonnost	sledovaný sval	typ zátěže	měřený parametr	výsledek
Philippe et al. (2012)	lezení s lanem - m.	elitní	FDP	kontinuální, 40% MVK	TOI min. (%)	40,2 ± 10,25
	lezení s lanem - ž.	elitní	FDP	kontinuální, 40% MVK	TOI min. (%)	35,5 ± 14,93
	kontrolní sk. - m.		FDP	kontinuální, 40% MVK	TOI min. (%)	34,2 ± 14,12
	kontrolní sk. - ž.		FDP	kontinuální, 40% MVK	TOI min. (%)	40,5 ± 15,71
Fryer et al. (2015b)	lezení s lanem	elitní	FDP	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	63,1 ± 17,6
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	42,8 ± 9,3
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	34,3 ± 9,5
	kontrolní sk.		FDP	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	32 ± 14,3
	lezení s lanem	elitní	FCR	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	36,5 ± 0,4
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	29,0 ± 15,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	14,6 ± 7,8
	kontrolní sk.		FCR	kontinuální, 40% MVK	-ΔTSI (%)	22,7 ± 16,8
Fryer et al. (2015c)	lezení s lanem	elitní	FDP	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	32,0 ± 9,0
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	22,0 ± 6,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	19,0 ± 4,0
	kontrolní sk.		FDP	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	15,0 ± 7,0
	lezení s lanem	elitní	FCR	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	19,0 ± 5,0
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	15,0 ± 7,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	8,0 ± 4,0
	kontrolní sk.		FCR	kontinuální, 40% MVK	O_2 dluh (%)	11,0 ± 9,0
	lezení s lanem	elitní	FDP	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	8,0 ± 3,0
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	12,0 ± 9,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	47,0 ± 32,0
	kontrolní sk.		FDP	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	95,0 ± 63,0
	lezení s lanem	elitní	FCR	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	7,0 ± 5,0
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	15,0 ± 18,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	97,0 ± 65,0
	kontrolní sk.		FCR	kontinuální, 40% MVK	$T_{1/2}$ (s)	30,0 ± 25,0
Kodejška et al. (2015)	lezení s lanem	pokročilí	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{min.}$ (%)	13,5 ± 8,5
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{prům.}$ (%)	28,7 ± 7,1
	bouldering	pokročilí	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{min.}$ (%)	25,6 ± 8,2
	bouldering	pokročilí	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{prům.}$ (%)	38,9 ± 7,4

Baláš et al. (2016)	lezení s lanem	pokročií a elitní	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{prům.}$ (%)	30,1 ± 8,2
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{prům.}$ (%)	35,4 ± 9,4
	bouldering	pokročií a elitní	FDP	kontinuální, 60% MVK	$TSI_{prům.}$ (%)	39,8 ± 8,0
Fryer et al. (2017)	lezení s lanem	pokročilí	FDP	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	7,79 ± 1,46
	bouldering	pokročilí	FDP	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	7,84 ± 1,82
	kontrolní sk.		FDP	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	8,96 ± 3,58
	lezení s lanem	pokročilí	EDC	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	6,32 ± 2,07
	bouldering	pokročilí	EDC	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	5,54 ± 1,17
	kontrolní sk.		EDC	okluze arterie brach.	$T_{1/2}$ (s)	8,60 ± 3,20

Tabulka 4 Charakteristiky jednotlivých studií a hodnoty naměřené při intermitentních kontrakcích a brachiálních okluzi. Měřené parametry jsou uvedeny tak, jak jsou použity v citovaných studiích. Flexor digitorum profundus (FDP), flexor carpi radialis (FCR), intermitentní (intermit.), (10:3) poměr zatížení a zotavení v rámci intermitentního testu, (8:2) poměr zatížení a zotavení v rámci intermitentního testu, maximální volní kontrakce (MVK), míra reoxygenace svalu během fáze zotavení v rámci přerušovaného výkonu (+TOI), míra reoxygenace svalu během fáze zotavení v rámci přerušovaného výkonu (+ΔTSI), čas potřebný k dosažení polovičního zotavení po ukončení výkonu ($T_{1/2}$), nejnižší hodnota saturace svalu dosažená během výkonu (TSI_{min}), průměrná saturace svalu během výkonu ($TSI_{prům.}$), průměrná saturace svalu během výkonu s aktivním odpočinkem ($TSI_{prům.1}$), průměrná saturace svalu během výkonu s pasivním odpočinkem ($TSI_{prům.2}$), průměrná míra reoxygenace během výkonu s aktivním odpočinkem ($+\Delta TSI_1$), průměrná míra reoxygenace během výkonu s pasivním odpočinkem ($+\Delta TSI_2$).

autor	lezecká disciplína	lezecká výkonnost	sledovaný sval	typ zátěže	měřený parametr	Výsledek
Philippe et al. (2012)	lezení s lanem - m.	elitní	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTOI (%)	23,2 ± 4,93
	lezení s lanem - ž.	elitní	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTOI (%)	19,5 ± 5,75
	kontrolní sk. m.		FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTOI (%)	13,8 ± 3,77
	kontrolní sk. - ž.		FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTOI (%)	16,5 ± 7,41
Fryer et al. (2015a)	lezení s lanem	elitní	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	42,5 ± 18,4
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	33,6 ± 19,7
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	30,3 ± 13,4
	kontrolní sk.		FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	21,2 ± 10,3
	lezení s lanem	elitní	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	33,4 ± 13,9
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	26,9 ± 15,7
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	19,8 ± 10,7
	kontrolní sk.		FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$TSI_{min.}$ (%)	24,8 ± 8,5
Fryer et al. (2015c)	lezení s lanem	elitní	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	20,0 ± 9,0
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	18,0 ± 6,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	13,0 ± 5,0
	kontrolní sk.		FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	12,0 ± 6,0
	lezení s lanem	elitní	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	10,0 ± 9,0
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	9,0 ± 9,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	6,0 ± 2,0
	kontrolní sk.		FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	+ΔTSI (%)	13,0 ± 8,0
	lezení s lanem	elitní	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	8,0 ± 4,0
	lezení s lanem	pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	14,0 ± 15,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	87,0 ± 72,0
	kontrolní sk.		FDP	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	93,0 ± 58,0
	lezení s lanem	elitní	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	16,0 ± 13,0
	lezení s lanem	pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	46,0 ± 84,0
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	50,0 ± 64,0
	kontrolní sk.		FCR	intermit. (10:3), 40% MVC	$T_{1/2}$ (s)	76,0 ± 49,0
Baláš et al. (2016)	lezení s lanem	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.1}$ (%)	19,7 ± 8,7
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.1}$ (%)	32,2 ± 13,9
	bouldering	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.1}$ (%)	23,7 ± 7,3
	lezení s lanem	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.2}$ (%)	22,2 ± 11
	lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.2}$ (%)	27 ± 14
	bouldering	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$TSI_{prům.2}$ (%)	20,7 ± 6,4
	lezení s lanem	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_1$ (%)	18 ± 5,5

lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_1$ (%)	11,8 ± 4,3
bouldering	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_1$ (%)	11,4 ± 5,5
lezení s lanem	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_2$ (%)	12,7 ± 6,1
lezení s lanem	mírně pokročilí	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_2$ (%)	9,2 ± 3,7
bouldering	pokročilí a elitní	FDP	intermit. (8:2), 60% MVC	$+\Delta TSI_2$ (%)	9,9 ± 2,5

Z výsledků (Tabulky 3 a 4) je patrné, že s rostoucí výkonností se lezci vyznačují vyšší oxidativní kapacitou svalů předloktí. Během izometrické kontrakce dochází k lepšímu tkáňovému využití kapilárního kyslíku. Také rychlost reoxygenace se zvyšuje s rostoucí výkonností a je v přímém vztahu s rychlostí deoxygenace. Míra deoxygenace svalu souvisí nejspíše s úrovní mitochondriální denzity (Baláš, 2016). Periferní hemodynamickou adaptaci lze pozitivně ovlivnit řízeným tréninkem v hypoxickém prostředí, který vede k lepší dodávce kyslíku k pracujícím svalům a jeho zvýšené utilizaci (Fryer et al., 2019). Rychlejší reoxygenaci lze zase pozitivně ovlivnit suplementací extraktem z černého rybízu (Fryer, Giles, Bird, Stone, Paterson, Balas, et al., 2020).

2.4 Shrnutí teoretické části

Během výkonu sportovního lezce jsou dominantně zatěžovanými svaly flexory prstů. Doba kontrakce se pohybuje okolo 8-12 s a délka samotného výkonu při lezení s lanem se pohybuje v rozmezí 2-7 min v závislosti na délce a obtížnosti cesty. Pro přelezení jednoho boulderového problému se uvádí průměrný čas okolo 35 s a u lezení na rychlost se jedná o 6-9 s. Z dosavadního poznání je zřejmé, že funkční odpověď organismu na lezecký výkon je nejvíce ovlivněna sklonem cesty a rychlostí pohybu, která má dopad především na systémovou spotřebu kyslíku. Nicméně nevíme, do jaké míry je výkon těmito faktory ovlivněn. Na výkon má dále vliv výkonnost a zkušenost lezců, dále pak také styl lezení.

Sportovní lezci jsou během výkonu vystavováni psychickému stresu, který má původ především v hrozbě možného pádu, pomineme-li stres spojený s předstartovním stavem v rámci soutěží. Právě možný pád je spojován s vyšším vyplavováním kortizolu u začínajících lezců, zatímco u zkušenějších lezců toto nebylo pozorováno. U sportovních lezkyň docházelo k vyššímu vyplavování katecholaminů v souvislosti s hrozbou delšího pádu. Také samotné vnímání psychické a fyzické náročnosti během lezeckého výkonu je ovlivněno stylem lezení. Neznalost cesty, která je spojena se stylem OS, vyvolává u lezců vyšší stupeň úzkosti ve srovnání se stylem RP. Z porovnání stylů RP a TR, kdy hlavním rozdílem je možnost případného pádu lezce do lana, vyplývá, že lezení stylem RP je doprovázeno vyšší úrovní somatické a kognitivní úzkosti a to především u začínajících lezců, zatímco u zkušenějších lezců tyto rozdíly pozorovány nebyly. Rozdíly v odpovědi na stres nemusí mít původ pouze ve způsobu, jakým je lezec během výkonu jištěn (lezení na prvním konci lana vs. lezení s horním jištěním), ale mohou být jednoduše ovlivněny výškou, ve které se lezec během lezení pohybuje. V případě přípravy výzkumné intervence nebo tréninkového plánu by mělo být zváženo, zda fyziologická odpověď je ovlivněna pouze fyzickým úsilím nebo výsledkem působení kombinace faktorů fyziologických a psychických. Toto je obzvláště důležité v případě stanovení intenzity zátěže u zdravotně orientovaných programů, kdy vysoce intenzivní cvičení (vlivem vysoké SF způsobené psychologickým stresem) může způsobovat malou či žádnou adaptaci na úrovni svalů.

Lezci jsou schopni během izometrické kontrakce lépe využívat kapilární kyslík. V průběhu fáze relaxace v rámci intermitentního výkonu dochází u lezců k rychlejší reoxygenaci, dále byl pozorován zvýšený průtok krve svalem po uvolnění kontrakce. Je zřejmé, že výkon při lezení klade značné nároky na lokální i systémovou odpověď organismu, nicméně dosud není jasné, do jaké míry je lokální a systémová odezva v interakci při působení různých faktorů intenzity v lezení (rychlost, sklon a obtížnost cesty).

Ačkoliv je dnes sportovní lezení populárním sportem na všech výkonnostních úrovních, stále nám chybí důležité poznatky v několika oblastech. Např. chybí poznatky o možném efektu výšky na psychofyziologickou odpověď organismu během lezeckého výkonu. Jen málo studií se dosud věnovalo fyziologické odpovědi na lezecký výkon u žen. Dále chybí informace o funkční odezvě na lezení za setrvalého stavu, což je překvapivé, jelikož značná část tréninku nebo i samotného výkonu při lezení s lanem se odehrává při této intenzitě. S tím souvisí také vhodné nastavení intenzity výkonu, pro které se zdá být vhodným nástrojem lezecký ergometr, který umožňuje přesné nadefinování sklonu stěny a rychlosti pohybu. Nicméně dosud nám není známo, jestli je nějaký rozdíl ve fyziologické či psychologické odpovědi při lezení na ergometru a na lezecké stěně, případně na skalních terénech. Další nezodpovězenou otázkou je použití vhodného nástroje pro monitorování tréninkové intenzity, jelikož např. sledování srdeční frekvence se ukázalo v případě lezení jako nepoužitelné. Možností by mohlo být řídit se vnímáním vynaloženého úsilí, nebo prostřednictvím monitorů okysličení svalu. Použití spektroskopu by mohlo také přinést více poznatků o míře zastoupení lokální spotřeby kyslíku během výkonu a případně umožnit stanovení kritických metabolických limitů (breakpointů). Některé z výše popsaných mezer v poznání bychom rádi alespoň částečně vyplnili poznatky získanými na základě realizace předkládané práce.

3 Výzkumné otázky

1. Jaký vliv má výška během lezeckého výkonu na psychofyziologickou odezvu u sportovních lezců?
2. Jaký vliv má rychlost pohybu a sklon stěny na systémovou a lokální odezvu u sportovních lezců?

4 Cíle práce

1. Determinovat efekt výšky, sklonu cesty, rychlosti lezení a lezecké výkonnosti na funkční odezvu organismu při standardizovaném lezeckém zatížení.

5 Hypotézy

1. Lezení stejné cesty vysoko nad zemí oproti lezení v malé výšce bude vyvolávat větší funkční odezvu u lezců s nižší výkonností ve srovnání s lezci vyšší výkonnostní úrovně.
2. Během submaximální zátěže při různých rychlostech pohybu nebudou pozorovány významné rozdíly v okysličení svalu flexor digitorum profundus.
3. Při stupňovaném testu do vita maxima nebudou lokální změny souviset se systémovou odezvou organismu.

6 Úkoly práce

1. Determinace efektu výšky (psychického stresu) na psychofyziologickou odezvu u lezců různé výkonnosti.
2. Stanovení funkční odpovědi organismu na submaximální zátěž při různých rychlostech pohybu.
3. Stanovení lokální a systémové odpovědi na stupňované zatížení do vita maxima.

7 Studie 1

7.1 Úvod

Výkon v lezení není ovlivněn pouze fyzickými nároky výstupu, ale také faktory psychologickými, technickými a taktickými (Orth et al., 2016; Pijpers et al., 2006). Pro pochopení lezeckého výkonu je důležité znát nejen působení jednotlivých faktorů, ale také jejich vzájemnou interakci. Již byla popsána psychofyziologická odpověď na výkon u různých výkonnostních skupin lezců, kdy bylo manipulováno s lezeckými styly (Draper et al., 2010; Hodgson et al., 2009). Nicméně na výkon lezce působí další psychologické faktory, které mohou mít vliv na samotný výkon, mezi které patří například schopnost vykonat fyzicky či technicky náročný pohyb vysoko nad zemí. Dosud nebylo provedeno porovnání psychofyziologických nároků na lezení identické cesty vysoko a nízko nad zemí. Vhodný prostředek pro toto srovnání může představovat lezecký ergometr, který byl použit při popisu kardiorespirační a hemodynamické odpovědi na lezecký výkon (Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Heil, 2019; Limonta et al., 2018). Lezecký ergometr je rotující lezecká stěna, která umožňuje souvislé lezení na vertikálním pásu. Oproti klasické lezecké stěně má ergometr několik výhod, mezi které patří možnost nastavit sklon stěny a rychlost lezení. Dále je to fakt, že pohyb je vykonáván nízko nad bezpečnostní dopadovou matrací a není proto nutné vybavení pro jištění lezce. Nicméně porovnání lezení za těchto podmínek není známé a dosud se pouze předpokládalo, že lezení na lezeckém ergometru vyvolává podobnou fyziologickou odpověď jako lezení na lezecké stěně a tudíž, že lze tyto lezecké podmínky zaměňovat (Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Limonta et al., 2018).

Cílem předkládané studie bylo porovnat psychofyziologickou odezvu na výkon u různých výkonnostních skupin sportovních lezců při lezení identické cesty na 18 metrů vysoké lezecké stěně a na lezeckém ergometru nízko nad zemí.

7.2 Metodika

Design studie

Studie byla rozdělena do dvou částí:

A) porovnání vnímané intenzity zátěže a fyziologické odpovědi při lezení identické cesty nízko a vysoko nad zemí,

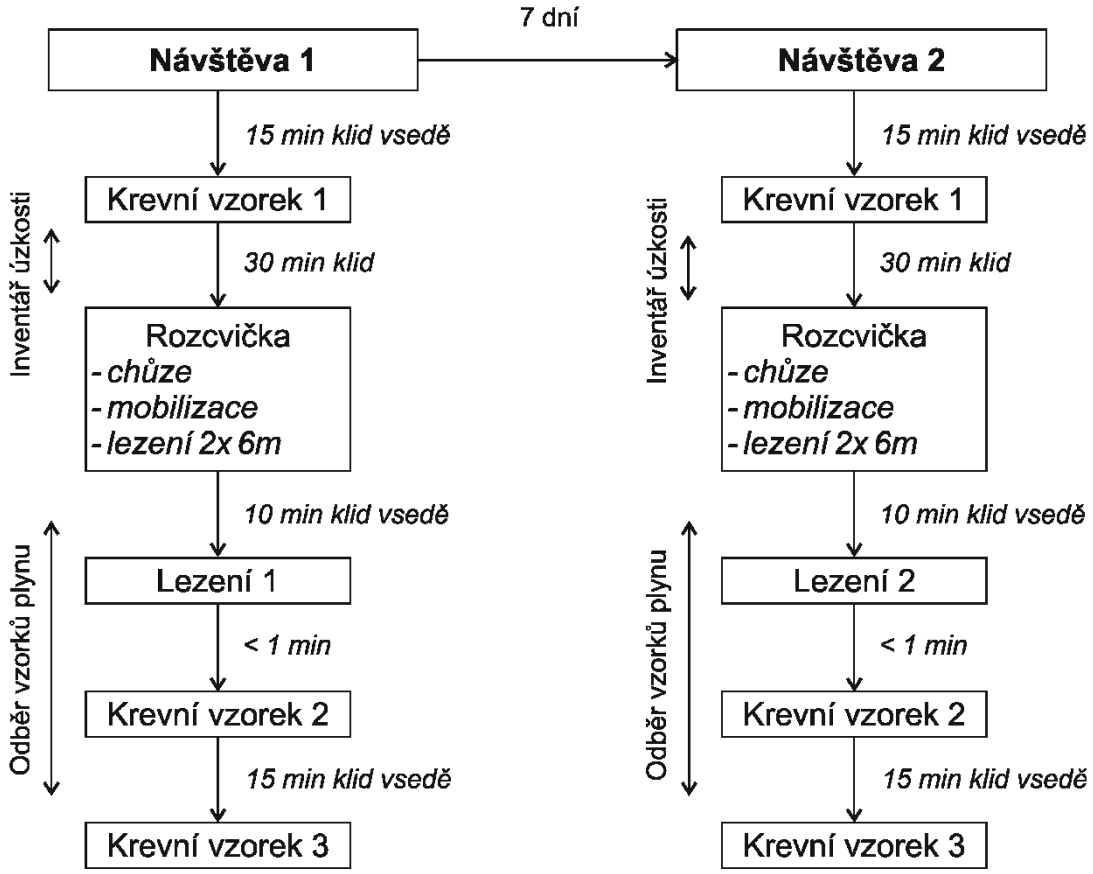
B) stanovení vlivu výšky na hormonální a fyziologickou odpověď u sportovních lezkyň.

Hlavním důvodem tohoto dělení bylo stanovení hormonální odpovědi na výkon, které je spojeno s náročností odběru a vyhodnocováním krevních vzorků. Dále fakt, že velmi málo odborných prací se věnovalo funkční odezvě na výkon ve sportovním lezení u žen.

Účastníci studie absolvovali v náhodném pořadí dvě jednotlivá měření realizovaná na lezeckých stěnách, mezi kterými byl interval 7 dnů. Obě návštěvy měly stejný časový harmonogram (Obrázek 1) a odehrály se ve stejnou denní dobu ± 30 minut. Během první návštěvy byl účastníkům vysvětlen záměr studie a byly zodpovězeny případné dotazy. Ve chvíli, kdy bylo vše osvětleno, účastníci studie podepsali informovaný souhlas (část A, B). Po 15 min. klidu v sedě byl odebrán první vzorek krve, následovalo dalších 30 min. klidu, během kterých účastníci vyplnili dotazník týkající se úzkosti (část B). Po uplynutí doby klidu podstoupili účastníci standardizovanou rozcvičku, která obsahovala běh po dobu 5 min., mobilizační cvičení a lezení nízko nad zemí pro osvojení lezeckých sekvencí, které byly součástí testovací cesty. Lezení během rozcvičky bylo v rozsahu 2 x 6 min. (vlastní rychlostí a

danou rychlostí). Po rozcvičení následoval samotný test, který spočíval ve vylezení 18,5 m dlouhé cesty a to buď na lezeckém ergometru, nebo na umělé stěně (část A, B). Bezprostředně po ukončení výkonu byl odebrán druhý vzorek krve a po 15 minutách v klidu v sedě byl odebrán třetí vzorek krve (část B).

Obrázek 1 Experimentální plán studie – část B. Pro část A platí stejný design bez odběrů krevních vzorků.



Výzkumný soubor

Část A

Výzkumný soubor tvořilo 42 sportovních lezců (24 žen a 18 mužů). Účastníci studie byli rozděleni na základě nejlepšího výkonu realizovaného v posledních 3 měsících (Draper et al., 2011) do 3 skupin: lezci s nižší výkonností (N = 14), pokročilí (N = 14) a výkonnostní lezci (N = 14) (Draper et al., 2016). Antropometrické a tréninkové charakteristiky shrnuje Tabulka 5.

Tabulka 5 Antropometrické a tréninkové charakteristiky (průměr ± SD) lezců nižší výkonnosti, pokročilých a výkonnostních lezců. International Rock Climbing Research Association (IRCRA)

Ženy	**Nižší výkonnost** (N = 14)	**Pokročilí** (N = 8)	**Výkonnostní** (N = 4)
Věk (roky)	31,6 ± 11,3	25,7 ± 4,3	31,3 ± 7,5
Tělesná hmotnost (kg)	62,6 ± 6,0	56,4 ± 7,1	53,5 ± 1,3
Výška (cm)	168,1 ± 4,6	169,6 ± 7,2	162,8 ± 7,6
Lezecká výkonnost (IRCRA)	9,0 ± 1,3	13,5 ± 1,2	19,8 ± 1,3
Lezecké zkušenosti (roky)	9,7 ± 12,4	5,6 ± 3,8	10,0 ± 5,6
Muži	**Nižší výkonnost** (N = 2)	**Pokročilí** (N = 6)	**Výkonnostní** (N = 10)
Věk (roky)	26,3 ± 4,4	29,6 ± 2,6	31,3 ± 6,5
Tělesná hmotnost (kg)	75,5 ± 6,4	74,2 ± 5,5	69,2 ± 5,5
Výška (cm)	182 ± 5,7	183,3 ± 6,6	178,3 ± 8,1
Lezecká výkonnost (IRCRA)	9,5 ± 0,7	12,6 ± 0,6	19,2 ± 1,6
Lezecké zkušenosti (roky)	1,8 ± 0,4	3,1 ± 2,1	13 ± 5,2

Část B

Výzkumný soubor tvořilo 22 žen, které byly rozděleny na základě nejlepšího výkonu realizovaného v posledních 3 měsících (Draper et al., 2011) do 2 výkonnostních skupin: lezci nízké výkonnosti (N = 11) a výkonnostní lezci (N = 11) (Draper et al., 2016). Antropometrické a tréninkové charakteristiky shrnuje Tabulka 6.

Tabulka 6 Antropometrické a tréninkové charakteristiky (průměr ± SD) lezců nižší výkonnosti a výkonnostních lezců. International Rock Climbing Research Association (IRCRA)

Ženy	**Nižší výkonnost** (N = 11)	**Výkonnostní** (N = 11)
Věk (roky)	32,6 ± 11,3	29,8 ± 7,4
Tělesná hmotnost (kg)	63,0 ± 5,7	58,1 ± 6,5
Výška (cm)	168,9 ± 5,7	168,3 ± 5,9
Lezecká výkonnost (IRCRA)	10,0 ± 2,0	16,0 ± 3,0
Lezecké zkušenosti (roky)	6,0±5,0	10,0 ± 7,0

Účastníci studie byli vyzváni, aby se vyhnuli intenzivní fyzické zátěži 24 hodin před konáním testování, nekonzumovali kofein v den testování a těžké jídlo minimálně 3 hodiny před testováním. Všichni účastníci potvrdili svou dobrovolnou účast na studii svým podpisem. Studie byla schválena etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem 61/2019.

Testovací cesta

Část A, B

Lezecká cesta na lezeckém ergometru a lezecké stěně měla identickou konfiguraci chytů a stupů, byla dlouhá 19,5 m a měla sklon 90°. Lezecká cesta byla ohodnocena stupněm 7 na obtížnostní škále IRCRA (Draper et al., 2016). Nástupový chyt byl v obou případech umístěn ve výšce 1,5 m. Cesta byla postavená profesionálním stavěčem lezeckých cest tak, aby se opakovaly tři jednoduché identické sekvence, čímž se eliminoval efekt zaučení. Během lezení na umělé stěně byli lezci jištěni zkušeným jističem pomocí horního jištění, kdy bylo minimalizováno nebezpečí pádu lezce. Pro kontrolu rychlosti lezení byly použity barevné značky umístěné přímo na stěně s rozestupem 1 m. Čas potřebný pro překonání vzdálenosti mezi značkami byl 15 s, lezci byli verbálně informováni o rychlosti lezení. Lezec dokončil cestu tak, že se dotknul oběma rukama posledního chytu.

Lezecký ergometr (ClimbStation generation 1, Forssa, Finland) obsahuje pás dlouhý 6,5 m, jehož sklon (interval 1°) a rychlost (interval 1 $m \cdot s^{-1}$) lze nastavit. Během lezení na lezeckém ergometru se lezci pohybovali maximálně ve výšce 0,5 m nad bezpečnostní dopadovou matrací,

k čemuž nepotřebovali bezpečnostní vybavení pro zachycení pádu jako je lezecký úvazek a horolezecké lano. Pokud došlo ke sklouznutí lezce z ergometru, byl vyzván, aby ihned pokračoval v lezení.

Analýza plynů a energetická spotřeba

Část A, B

Fyziologická odpověď byla sledována pomocí přenosného metabolického analyzátoru (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Německo), analýza dýchacích plynů byla provedena za použití techniky „dech po dechu“. Zařízení bylo na účastníky studie umístěno v oblasti hrudníku pomocí pásu (celková váha 1,4 kg). Kalibrace plynů byla provedena pomocí kalibrační směsi (15% O_2 a 5% CO_2) a kalibračního válce dle doporučení výrobce. Měření probíhalo souvisle: 5 min. před testem, v průběhu testu a po ukončení testu 10 min. k zaznamenání klidových hodnot v sedě. Data „dech po dechu“ byla zaznamenávána jako průměry z 20 s. intervalu vzorkování a exportována do programu Microsoft Excel k další analýze. Průměr z poslední minuty testu byl brán jako „setrvalý stav“ dané aktivity. Pomocí MetaMaxu 3B byla měřena spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), výdej oxidu uhličitého ($\dot{V}CO_2$), plicní ventilace ($\dot{V}E$) a dechová frekvence (DF). Respirační poměr (RER) byl vypočítán jako $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$. Pozátěžová spotřeba kyslíku (EPOC) byla počítána jako celková pozátěžová $\dot{V}O_2$ během 10 min. odpočinku v sedě mínus klidová $\dot{V}O_2$. Klidová $\dot{V}O_2$ představovala nejnižší $\dot{V}O_2$ po dobu 1 min. buď před zahájením testu, nebo po jeho ukončení. Pokud se lišily hodnoty klidové $\dot{V}O_2$ v rámci dvou měření, byla použita nižší hodnota. Energetická spotřeba (ES) byla vypočítána z $\dot{V}O_2$ během zátěže a EPOC za použití ekvivalentu pro kyslík 4,924 kcal. Srdeční frekvence byla měřena pomocí hrudního pásu (Polar Electro YO, Finsko) a naměřená data automaticky odesílána do MetaMax 3B.

Hormonální odpověď

Část B

Žilní krev o objemu 2,7 ml byla odebrána metodou venepunkce do polypropylenové tuby potažené kyselinou ethylendiamintetraoctovou. Plasma byla získána centrifugací krevního vzorku (15 min., 3000x g, 20°C) a zmrazena na -80°C. Rozmražení plasmy bylo provedeno bezprostředně před analýzou. Z plasmy byla stanovena koncentrace adrenalinu (epinephrine), noradrenalinu (norepinephrine), dopaminu a kortizolu. Kortizol a katecholaminy byly analyzovány kapalinovou chromatografií (liquid chromatography, LC) a hmotnostní spektrometrií (mass spektrometry, MS). Kapalinová chromatografie byla provedena pomocí systému LC Shimadzu Prominence (Shimadzu, Česká republika) vybaveného kolonou Atlantis dC18 (100 x 2,1 mm, 5 μm (Waters, Česká republika)). Detekční systém (MS QTRAP 4000; Sciex, Česká republika) pracoval v režimu pozitivní ionizace, který využíval zvolenou reakci pozorování pro detekci částic. Teplota ionového zdroje byla 450°C pro kortizol a 600°C pro katecholaminy, napěti ionového zdroje bylo nastaveno na 5500 V pro kortizol a 5000 V pro katecholaminy.

Vnímaná intenzita zátěže

Část A

Vnímaná intenzita zátěže byla stanovena na škále od 6 do 20 dle Borga (1982). Bezprostředně po ukončení testu byla lezcům ukázána tabulka s čísly a odpovídajícím slovním hodnocením vnímané námahy, jejíž hodnotu sdělili výzkumníkům.

Posouzení úzkosti a sebedůvěry

Část B

Pro posouzení individuálních pocitů úzkosti (somatické a kognitivní), sebedůvěry a vnímané kontroly před lezením bylo použito dotazníků CSAI-2R (Cox et al., 2003) a TFAI (Cheng et

al., 2009). Oba dotazníky byly vyplněny všemi účastníky po prvním odběru krevního vzorku, který předcházel rozcvičce. Dotazník CSAI-2R obsahoval 17 položek a dotazník TFAI obsahoval 25 položek, které byly zodpovídány na Likertově škále 1-4 a 1-5. Výsledky byly kombinovány tak, aby daly konečný výsledek na třech pod-škálách: somatická úzkost, kognitivní úzkost a sebedůvěra pro CSAI-2R, kognitivní úzkost (obavy, „self-focus"), somatická úzkost (autonomní hyperaktivita, tělesné napětí) a vnímaná kontrola (regulační dimenze) pro TFAI.

Analýza pohybu

Část B

Během lezení na ergometru a lezecké stěně byla pořízena videonahrávka (Canon Legria FS306, Ohta-ku Tokio, Japonsko; 25 snímků za sekundu) každého účastníka a následně provedena analýza v programu Dartfish HQ (Fribourg, Švýcarsko), kdy byl sledován kontakt rukou s chyty. Nejdříve doba kontaktu jedné ruky (pravá a levá), po té doba kontaktu obou rukou a následně spočítán poměr doby zatížení/odpočinku.

Statistická analýza

Část A

Deskriptivní statistika (průměr ± směrodatná odchylka) byla použita k charakterizování vnímaného úsilí a fyziologické odpovědi nízko a vysoko nad zemí u všech testovaných skupin. Rozdíly mezi lezeckými podmínkami a testovanými skupinami byly stanoveny pomocí modelu ANOVA 2 x 3, lezecká cesta představovala vnitroskupinový faktor a zkušenost představovala meziskupinový faktor. V případě významnosti bylo aplikováno párové srovnávání s Bonferroniho korekcí. Z důvodu nestejného počtu žen a mužů v rámci jednotlivých skupin, kteří dokončili testování, byl možný efekt pohlaví vyhodnocen pomocí ANCOVA, kdy pohlaví představovalo meziskupinový faktor a lezecká zkušenost nezávisle proměnnou. Statistická

významnost byla stanovena na hladině významnosti $P \leq 0,05$. Velikost účinku byla stanovena pomocí eta kvadrát (η_p^2) a Cohenova *d*, kdy hodnoty 0,05, 0,10 a > 0,20 představují malý, střední a velký účinek a 0,2, 0,5 a > 0,8 představují malý, střední a velký rozdíl pro η_p^2 a Cohenovo *d.*

Část B

Deskriptivní statistika (průměr ± směrodatná odchylka) byla použita ke stanovení základních antropometrických a tréninkových charakteristik. Případné rozdíly v těchto charakteristikách mezi lezci nízké výkonnosti a výkonnostními lezci byly stanoveny pomocí sérií nezávislých t-testů. Vliv lezeckých podmínek (lezecká stěna x lezecký trenažer) a lezecké zkušenosti (lezci nízké výkonnosti x výkonnostní lezci) byl vyhodnocen pomocí modelu ANOVA 2x2, kdy lezecké podmínky představovaly vnitroskupinový faktor a lezecká zkušenost představovala meziskupinový faktor. Párové porovnání bylo vypočteno pomocí párového nebo nezávislého t-testu (metoda LSD). Vztah mezi metabolickými a hormonálními proměnnými byl ověřen Pearsonovým korelačním koeficientem. Statistická významnost byla stanovena na hladině významnosti $P \leq 0,05$. Velikost účinku byla stanovena pomocí eta kvadrát (η_p^2) a Cohenova *d*, kdy hodnoty 0,05, 0,10 a > 0,20 představují malý, střední a velký účinek a 0,2, 0,5 a > 0,8 představují malý, střední a velký rozdíl pro η_p^2 a Cohenovo *d.*

7.3 Výsledky studie 1A

Vnímaná intenzita zátěže byla vyšší při lezení vysoko nad zemí ve srovnání s lezením nízko nad zemí (na lezeckém ergometru) (+5,3%; P = 0,013; η_p^2 = 0,149). Párové srovnávání odhalilo statisticky významné rozdíly pouze u lezců s nižší výkonností (P = 0,040, *d* = 0,41) (Obrázek 2). Fyziologická odpověď byla vyšší během lezení vysoko nad zemí ve srovnání s lezením nízko nad zemí pro $\dot{V}$E (+7,7%; P = 0,003; η_p^2 = 0,199), SF (+4,5%; P = 0,005; η_p^2 = 0,189) a energetickou spotřebu (+14%; P = 0,000; η_p^2 = 0,501). Párové srovnávání ukázalo statisticky významné rozdíly u všech testovaných skupin pouze pro energetickou spotřebu: lezci s nižší výkonností (P = 0,003, *d* = 1,26), pokročilí lezci (P = 0,001, *d* = 0,43) a výkonnostní lezci (P = 0,006, *d* = 0,67) (Tabulka 7, Obrázek 2).

Lezci nižší výkonnosti vnímali během lezení za obou podmínek vyšší intenzitu než pokročilí (P < 0,001, *d* = 1,29) a výkonnostní lezci (P < 0,005, *d* = 1,86). Lezci nižší výkonnosti vykazovali vyšší hodnoty pro SF (P < 0,001, d = 1,58), DF (P = 0,001, d = 1,54) a V̇E (P = 0,002, d = 1,56) než výkonnostní lezci (Tabulka 8, Obrázek 2). Pokročilí lezci vykazovali vyšší SF (P = 0,005, d = 1,18) než výkonnostní lezci (Obrázek 2). Nebyly shledány žádné významné rozdíly mezi výkonnostními skupinami u energetické spotřeby.

Nebyla shledána interakce mezi lezeckou výkonností a lezeckými podmínkami. Míra vnímané intenzity a fyziologické proměnné vykazovaly střední vztah (R^2 = 0,14-0,45) (Tabulka 8).

Rozložení žen a mužů v rámci jednotlivých skupin nebylo rovnoměrné, porovnání rozdílů u vybraných proměnných je prezentováno v Tabulce 9. Mezi pohlavími nebyly shledány významné rozdíly týkající se vnímané intenzity ani fyziologických proměnných vyjma DF.

Tabulka 3 Průměrná (± SD) spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), minutová ventilace ($\dot{V}E$), dechová frekvence (DF), respirační poměr (RER) a energetická spotřeba (ES) během lezení ve výšce a nízko nad zemí u lezců s nižší výkonností, pokročilých a výkonnostních lezců. Treadwall (lezecký ergometr).
**Významné (P < 0,05) rozdíly mezi lezením ve výšce a nízko nad zemí. # Významné (P < 0,05) rozdíly mezi lezci s nižší výkonností a pokročilými lezci. ¤ Významné (P < 0,05) rozdíly mezi pokročilými a výkonnostními lezci. ^ Významném (P < 0,05) rozdíly mezi lezci s nižší výkonností a výkonnostními lezci.*

	$\dot{V}O_2$ (ml·min^{-1}·kg^{-1})	$\dot{V}E$ (L·min^{-1})	DF (dechy·min^{-1})	RER	ES (kcal·kg^{-1})
Nižší výkonnost treadwall	26,2 ± 2,6	48,8 ± 7,2$^{\wedge}$	36 ± 6*$^{\wedge}$	0,90 ± 0,06$^{\wedge}$	0,59 ± 0,07*
Nižší výkonnost lezecká stěna	26,4 ± 4,5	53,1 ± 11,2$^{\wedge}$	37 ± 8*$^{\wedge}$	0,93 ± 0,09$^{\#\wedge}$	0,69 ± 0,08*
Pokročilí treadwall	24,9 ± 4,6	43,3 ± 12,0	34 ± 8$^{¤}$	0,86 ± 0,06$^{¤}$	0,57 ± 0,09*
Pokročilí lezecká stěna	26,4 ± 3,6	45,0 ± 12,7	33 ± 9	0,86 ± 0,06$^{\#}$	0,64 ± 0,11*
Výkonnostní treadwall	24,6 ± 3,2	35,9 ± 6,4$^{\wedge}$	24 ± 7$^{\wedge¤}$	0,81 ± 0,04$^{\wedge¤}$	0,56 ± 0,08*
Výkonnostní lezecká stěna	25,9 ± 2,3	39,8 ± 8,9$^{\wedge}$	27 ± 4$^{\wedge}$	0,83 ± 0,07$^{\wedge}$	0,62 ± 0,06*

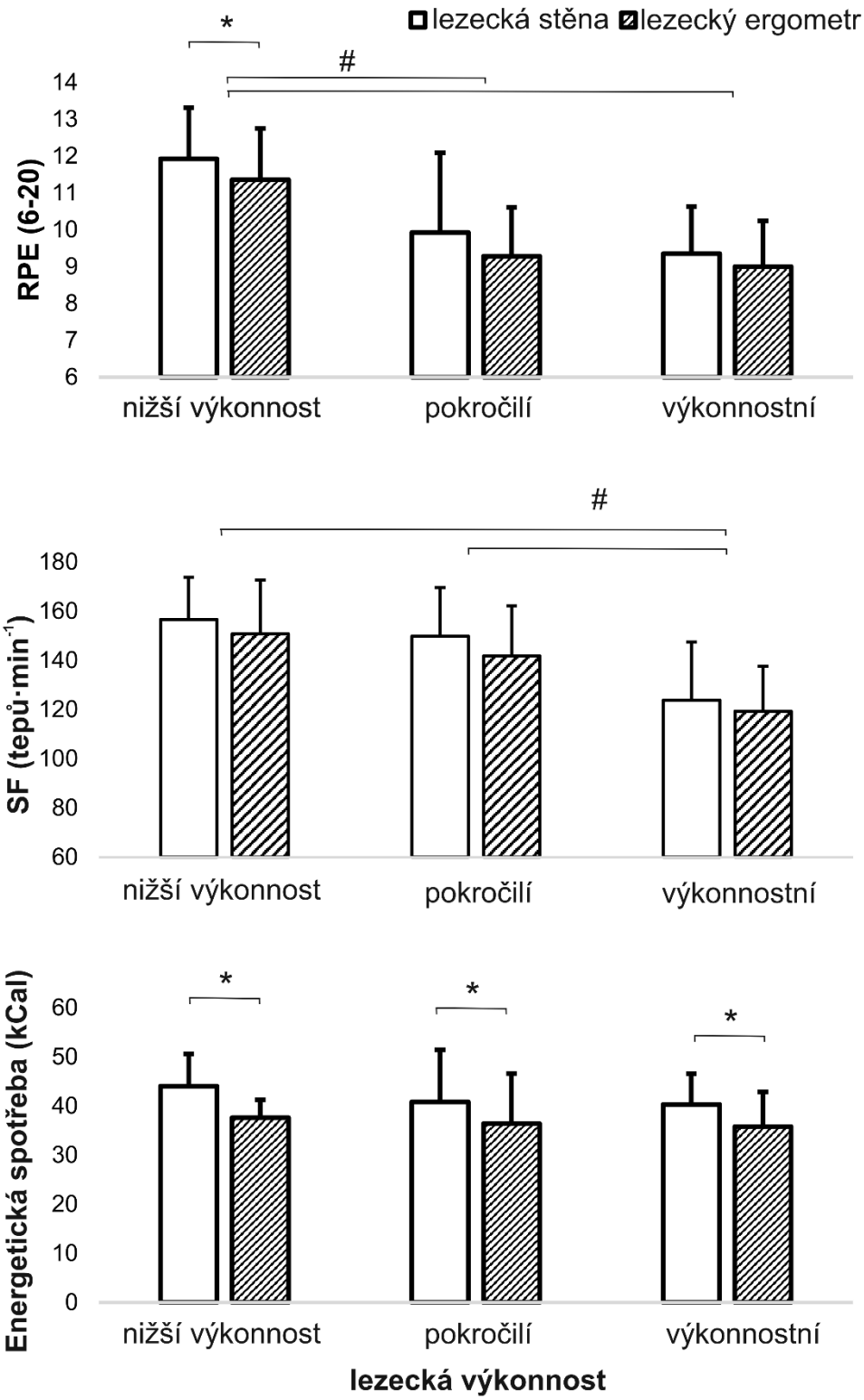
Tabulka 4 Vztah mezi vnímanou intenzitou zátěže (RPE) a průměrnou spotřebou kyslíku ($\dot{V}O_2$), ventilací ($\dot{V}E$), srdeční frekvencí (SF), dechovou frekvencí (DF), respiračním poměrem (RER) a energetickou spotřebou (ES) během lezení ve výšce a nízko nad zemí. Treadwall (lezecký ergometr).
** Významný (P < 0,05) vztah.*

	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}E$	SF	DF	RER	ES
RPE treadwall	0,287	0,481*	0,542*	0,377*	0,490*	0,245
RPE lezecká stěna	0,047	0,439*	0,414*	0,669*	0,627*	0,380*

Tabulka 5 Rozdíly mezi muži a ženami ve vnímané intenzitě zátěže (RPE), srdeční frekvenci (SF), spotřebě kyslíku ($\dot{V}O_2$), ventilaci ($\dot{V}E$), dechová frekvenci (DF) a energetická spotřebě (ES).
** Významné (P < 0,05) rozdíly.*

	Muži	Ženy	P	η_P^2
RPE (6-20)	10,0 ± 0,4	10,2 ± 0,3	0,706	0,004
SF (tepy·min^{-1})	133 ± 5	145 ± 4	0,054	0,092
$\dot{V}O_2$ (ml·min^{-1}·kg^{-1})	26,5 ± 0,8	25,2 ± 0,6	0,231	0,037
$\dot{V}E$ (L·min^{-1})	47,9 ± 2,2	41,9 ± 1,8	0,052	0,093
DF (dechy·min^{-1})	29 ± 2	34 ± 1	0,038*	0,106
ES (kcal·kg^{-1})	0,62 ± 0,2	0,61 ± 0,2	0,786	0,002

Obrázek 2 Průměrná (±SD) vnímaná intenzita zátěže (RPE), srdeční frekvence (SF) a energetická spotřeba během lezení ve výšce (lezecká stěna) a nízko nad zemí (lezecký ergometr).
** Významné (P < 0,05) rozdíly mezi lezením ve výšce a nízko nad zemí. # Významné (P < 0,05) rozdíly mezi výkonnostními skupinami lezců.*



7.4 Diskuze studie 1A

Cílem této studie bylo porovnat vnímanou intenzitu zátěže a fyziologickou odpověď na lezení identické cesty nízko a vysoko nad zemí u různých výkonnostních skupin lezců. Lezení vysoko nad zemí vyvolalo u lezců nižší výkonnosti vyšší vnímanou intenzitu než lezení nízko nad zemí. Míra vnímané intenzity vykazovala pouze mírný vztah k fyziologické odpovědi na zátěž. Vnímaná intenzita se tedy nezdá být dobrým indikátorem fyziologických nároků během lezeckého výkonu.

Výsledky potvrdily naši hypotézu, že výška představuje významný stresor během výkonu lezení s lanem a to dokonce v případě stylu top-rope, kdy je riziko pádu minimální. Míra vnímané intenzity během lezení vysoko nad zemí byla vyšší pouze u méně zkušených lezců, ačkoliv metabolický stres byl vyšší u všech skupin. Výsledky získané na základě Pearsonova korelačního koeficientu vykazují pouze mírný vztah mezi vnímanou intenzitou a fyziologickými proměnnými, z čehož vyplývá, že faktory jiné než psychický stres vyvolávají zvýšenou metabolickou odpověď při lezení vysoko nad zemí. Otázkou je míra specifičnosti či správnost použití hodnocení vnímané intenzity v těchto podmínkách. Zvýšená metabolická odpověď může být částečně ovlivněna také tím, že všichni účastníci studie měli během testu přidanou váhu v podobě sedacího úvazku, jehož hmotnost se pohybovala v rozmezí 250 až 600 g. Jak bylo zmíněno v dřívějších studiích (Donath et al., 2013; Fryer et al., 2013), různé pohybové vzorce a různý poměr zatížení/odpočinek během lezení na lezeckém ergometru a umělé stěně mohou ovlivnit fyziologickou odpověď. Nicméně analýza pohybu nebyla v rámci této studie provedena z důvodu relativně velkého počtu účastníků.

Vnímaná intenzita během lezení za obou podmínek vykazovala střední míru vztahu k SF (R^2 = 0,17-0,29). Lezci nižší výkonnosti a výkonnostní lezci ohodnotili oba testy na škále vnímané intenzity jako lehké a velmi lehké (~12 a 9), čemuž odpovídají hodnoty SF ~154 a 122 tepů·min^{-1} a $\dot{V}O_2$ ~26 a 25 ml·min^{-1}·kg^{-1}. Scherr et al. (2013) ve své studii s velkým počtem

účastníků navrhli rovnici pro stanovení SF vycházející z hodnot vnímané intenzity: SF = 69,34 + 6,23 x RPE (R^2 = 0,55), což by odpovídalo hodnotám 144 a 125 tepů·min^{-1} pro lehkou a velmi lehkou intenzitu v rámci naší studie. Toto stanovení je validní pro výkonnostní lezce, nicméně lezci s nižší výkonností vykazovali vyšší hodnoty SF ve srovnání s predikční rovnicí. SF u lezců s nižší výkonností byla o 32 tepů·min^{-1} vyšší než u výkonnostních lezců, ale $\dot{V}O_2$ byla zvýšena pouze o 1 ml·min^{-1}·kg^{-1} při srovnání stejných skupin. Tento disproporční růst SF a $\dot{V}O_2$ byl popsán (Mermier et al., 1997; Sheel, 2004) při lezení lehké a těžší cesty. Vysvětlení našli autoři v důsledku převažujících izometrických kontrakcí při lezeckém výkonu, pozicí paží nad úrovní srdce a vlivem psychologického stresu. Fryer et al. (2013) popisují disproporční vztah obou proměnných jako ještě markantnější s rostoucí intenzitou izometrických kontrakcí flexorů prstů. Bez ohledu na výšku při lezení se zdá být použití stupnice vnímané intenzity validním nástrojem pro odhadnutí subjektivní fyziologické odpovědi při lezení lehké cesty u výkonnostních lezců. Míra vnímané intenzity podhodnocuje výši SF u lezců nižší výkonnosti a pokročilých lezců nebo u cest vyšší obtížnosti.

V předkládané studii bylo lezení vysoko nad zemí energeticky náročnější než lezení nízko nad zemí. Největší rozdíly mezi těmito dvěma podmínkami byly shledány u lezců nižší výkonnosti (Δ 10 kcal·kg^{-1}) a nejmenší rozdíly u výkonnostních lezců (Δ 6 kcal·kg^{-1}). Lezci nižší výkonnosti byli také jedinou skupinou, která vykazovala významné rozdíly ve vnímané intenzitě při hodnocení lezeckých podmínek. Je možné, že rozdíly v energetickém výdeji při lezení za různých podmínek byly způsobeny kombinací psychologických faktorů a faktorů technických. Jelikož tato skupina měla nejmenší zkušenosti s daným sportem, může lezení vysoko nad zemí představovat podmínky se zvýšenými psychologickými nároky, které mohou mít vliv na změny v použití síly aplikované na lezecké chyty během výstupu. Již bylo ukázáno (Baláš, Panáčková, Jandová, et al., 2014), že u méně zkušených lezců dochází k většímu zatěžování paží ve srovnání s dolními končetinami, což se projeví ve vyšších fyziologických

hodnotách. Pandolf et al. (1984) a Borg et al. (1987) potvrzují výše zmíněné, když uvádějí, že míra vnímané intenzity je vyšší při výkonech prováděných pažemi ve srovnání s výkony realizovanými dolními končetinami.

Nebyly shledány významné rozdíly ve $\dot{V}O_2$ mezi skupinami různě zkušených lezců ani mezi lezeckými podmínkami, jak bylo uvedeno jinde (Bertuzzi et al., 2007). Možné vysvětlení pro nevýznamné meziskupinové rozdíly ve $\dot{V}O_2$ lze spatřovat ve vyšším zastoupení žen ve skupině lezců nižší výkonnosti a mužů ve skupině výkonnostních lezců. V předchozích studiích bylo ukázáno, že ženy se prezentují ekonomičtějším pohybem a tudíž nižší $\dot{V}O_2$ (Heil, 2019). Intraindividuální variace ve $\dot{V}O_2$ mezi lezením nízko a vysoko nad zemí nedosahovala významnosti. Byly shledány významné rozdíly u ES, která byla vyšší při lezení vysoko nad zemí; do výpočtu energetické spotřeby byla zahrnuta EPOC. Tento fakt může souviset s převažujícími izometrickými kontrakcemi a/nebo vyplavováním katecholaminů.

Vliv pohlaví na hodnocení vnímaného úsilí a fyziologické proměnné byl posuzován pomocí modelu ANCOVA. Ženy mohou mít jednak jiný psychologický přístup k lezení než muži a jednak ženy a muži mohou fyzické úsilí hodnotit jiným způsobem (Robertson & Noble, 1997). Naše výsledky neukázaly jakékoliv rozdíly mezi ženami a muži při hodnocení vnímané intenzity, energetické spotřeby a $\dot{V}O_2$. DF byla významně vyšší u žen, rozdíly v SF a $\dot{V}E$ se blížily hladině statistické významnosti. $\dot{V}E$ by měla být vyšší u mužů vzhledem k jejich vyšší tělesné hmotnosti, což neplatí u SF a DF.

Musí být zmíněny limitace předkládané studie. Test byl realizován pouze jednou rychlostí a pouze v jednom sklonu. Lezení při měnící se rychlosti a v různých sklonech by mohlo vyvolat jinou fyziologickou odpověď a tedy jiné výsledky. Lezci byli rozděleni do tří skupin podle výkonnosti, ale zastoupení mužů a žen v těchto skupinách nebylo rovnoměrné, což by mohlo mít vliv na mezi-skupinové srovnávání. Nicméně hlavním záměrem této studie

bylo zjistit intraindividulní rozdíly. Relativně velký výzkumný soubor a způsob nastavení designu studie zvyšují vnitřní validitu výzkumu.

7.5 Výsledky studie 1B

Základní tréninkové a antropometrické charakteristiky účastníků studie jsou uvedeny v Tabulce 11. Fyziologická odpověď účastníků studie byla vyšší během lezení na lezecké stěně ve srovnání s lezením na lezeckém ergometru pro $\dot{V}O_2$ (+6%; P = 0,03; η_p^2 = 0,22), SF (+4%; P = 0,04; η_p^2 = 0,20), $\dot{V}E$ (+9%; P = 0,01; η_p^2 = 0,30) a EC (+16%; P < 0,001; η_p^2 = 0,48). Lezci nižší výkonnosti měli významně nižší SF (P = 0,05; η_p^2 = 0,18), $\dot{V}E$ (P = 0,01; η_p^2 = 0,29) a RER (P = 0,02; η_p^2 = 0,24). Párové porovnání (Obrázek 4) ukázalo více statisticky významných rozdílů pro metabolické proměnné mezi lezením na lezeckém trenažeru a lezením na lezecké stěně u výkonnostních lezců než u lezců s nízkou výkonností. Nebyla nalezena interakce mezi lezeckou zkušeností a lezeckými podmínkami.

Koncentrace katecholaminů významně stoupla bezprostředně po lezení během obou podmínek (P < 0,001, η_p^2 = 0,81), koncentrace kortizolu stoupla po 15 min. odpočinku, který následoval po ukončení testu (P < 0,001, η_p^2 = 0,68). Byla shledána interakce pro lezeckou výkonnost a koncentraci katecholaminů po ukončení lezeckého výkonu (P < 0,01, η_p^2 = 0,28), nikoliv však pro lezecké podmínky. U výkonnostních lezců stoupla koncentrace katecholaminů o 238% a 166% vzhledem ke koncentraci před zahájením lezení na lezeckém ergometru a lezecké stěně; u lezců nízké výkonnosti stoupla koncentrace katecholaminů o 281% a 376% vzhledem ke koncentraci před zahájením lezení na lezeckém trenažeru a lezecké stěně. Koncentrace kortizolu byly vyšší, ale ne významně, během všech měření na lezecké stěně ve srovnání s lezeckým ergometrem (Obrázek 3).

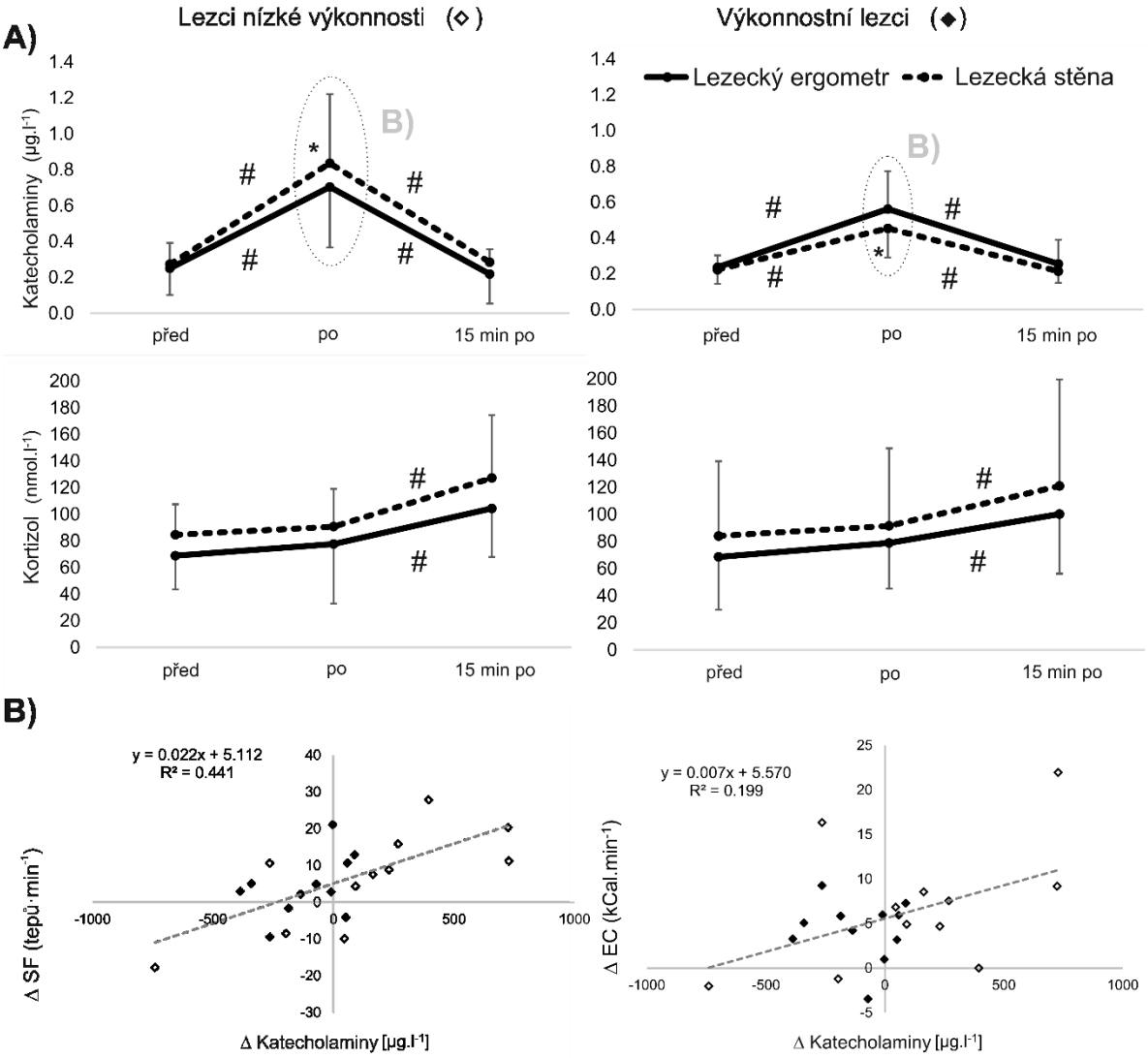
Zvýšená metabolická spotřeba jako odpověď na lezení na lezecké stěně se vztahovala ke změnám koncentrace katecholaminů po ukončená lezení a byl shledán významný vztah pro SF a ES (Obrázek 4). U výkonnostních lezců se projevila menší variace v metabolické a

katecholaminové odpovědi při srovnání lezení na ergometru a lezecké stěně, na druhou stranu lezci nižší výkonnosti se vyskytovali na obou extrémních polohách znázorněných v grafu (Obrázek 3). U některých lezců s nízkou výkonností se ukázalo podstatně zvýšené vyplavení katecholaminů a zvýšený energetický výdej vztahující se k lezení na lezecké stěně a u některých pro podmínky lezení na ergometru (Obrázek 3), čímž se metabolická a hormonální odpověď dostala na „průměrnou“ hodnotu u lezců nízké výkonnosti při srovnání obou lezeckých podmínek (Obrázek 4).

Nebyly shledány rozdíly mezi lezeckými podmínkami ani pro jednu pod-škálu dotazníků CSAI a TFAI, nicméně u výkonnostních lezců se ukázalo významně vyšší skóre pro regulační aspekty vnímané kontroly (3,2 vs. 3,8, P = 0,03).

Videoanalýza neukázala žádné rozdíly mezi časovými charakteristikami zatížení při srovnání lezení na ergometru a lezení na lezecké stěně, ačkoliv u výkonnostních lezců se ukázal kratší průměrný čas strávený držením chytu a nižší poměr zatížení/odpočinku u svalů předloktí (Tabulka 10). Tento rozdíl byl významný pro nedominantní ruku.

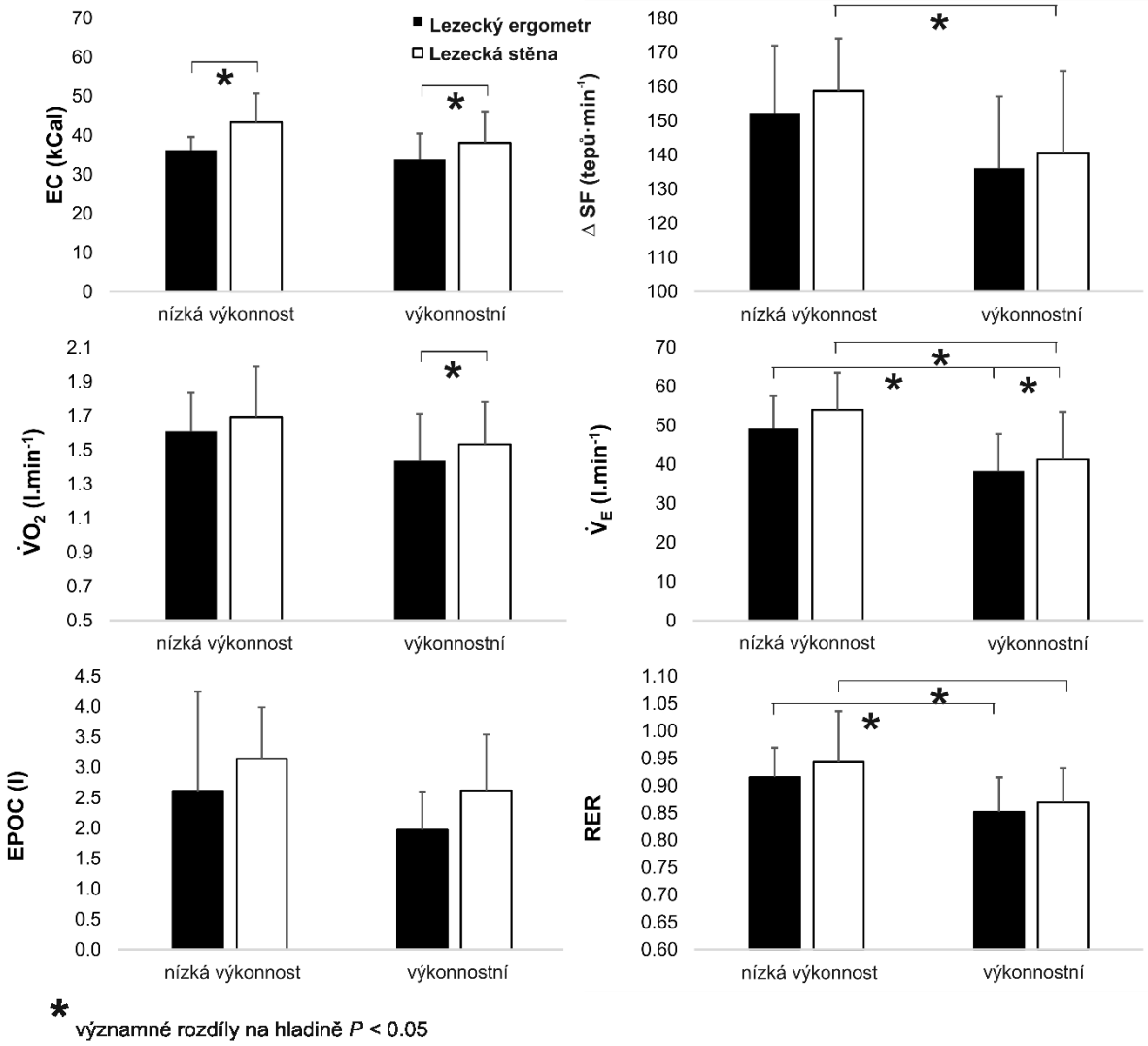
Obrázek 3 A) Průměrná (± SD) koncentrace kortizolu před, bezprostředně po a 15 min po lezení na lezeckém ergometru a lezecké stěně u lezců nízké výkonnosti a výkonnostních lezců; **B)** změny v srdeční frekvenci (SF) a energetické spotřebě (energy cost, EC) mezi lezením na lezeckém ergometru a lezecké stěně ve vztahu ke změnám koncentrace katecholaminů. Prázdné kosočtverce znázorňují lezce nízké výkonnosti, plné kosočtverce znázorňují výkonnostní lezce.



významné rozdíly na hladině $P < 0.05$

* významné rozdíly na hladině $P < 0.05$ mezi lezci nízké výkonnosti a výkonnostními lezci při lezení na lezecké stěně

Obrázek 4 Průměrná (± SD) spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), srdeční frekvence (SF), pozátěžová spotřeba kyslíku (excess post-exercise oxygen consumption (EPOC)), minutová ventilace ($\dot{V}_E$), energetická spotřeba (energy cost (EC)) a respirační poměr (RER) během lezení na lezeckém trenažeru a lezecké stěně u lezců nízké výkonnosti a výkonnostních lezců.



Tabulka 6 Analýza délky statických kontrakcí flexorů prstů (průměr ± SD) při lezení na lezeckém ergometru a lezecké stěně u lezců nízké výkonnosti a výkonnostních lezců. NR – nedominantní ruka, DR – dominantní ruka. *
Významné (P ≤ 0,05) rozdíly mezi lezci nízké výkonnosti a výkonnostními lezci.

	Lezecký ergometr		**Lezecká stěna**	
	Nízká výkonnost	**Výkonnostní**	**Nízká výkonnost**	**Výkonnostní**
Průměrný čas na chytu NR (s)	5,2±0,3*	5,0±0,3*	5,3±0,5*	5,0±0,4*
Průměrný čas na chytu DR (s)	5,2±0,2	5,2±0,2	5,3±0,5	5,1±0,4
Průměrné současné držení DR a NR (s)	34,2±16,9	51,1±42,0	36,3±16,1	40,6±28,9
Poměr zatížení/odpočinek NR	8,8±5,0*	6,6±2,6*	8,6±3,6*	5,9±1,1*
Poměr zatížení/odpočinek DR	7,4±1,8	7,5±1,9	7,3±1,3	7,1±2,0

Tabulka 7 Lezecká výkonnost a tréninkové charakteristiky (průměr ± SD) u lezců nízké výkonnosti a výkonnostních lezců.

	Nízká výkonnost (N = 11)	**Výkonnostní** (N = 11)	**P**	**Cohenovo d**
Lezecká výkonnost (škála IRCRA)	10±2	16±3	< 0,001	3,5
Lezecké zkušenosti (roky)	6±5	10±7	0,176	0,8
Skalní lezení (%)	27±25	38±20	0,295	0,6
Lezení na lezecké stěně (%)	73±25	62±24	0,262	0,7
Lezení s lanem (%)	83±26	56±34	0,044	1,3
Bouldering (%)	17±26	44±34	0,044	1,3
Tréninky (jednotka/týden)	1,5±0,7	2,5±1,2	0,021	1,5

7.6 Diskuze studie 1B

Záměrem této části studie bylo porovnat psychologicko-fyziologickou odpověď účastníků studie na dva náhodně seřazené lezecké výstupy identické cesty na lezeckém ergometru (nízko nad zemí) a lezecké stěně (vysoko nad zemí) u širokého výkonnostního spektra sportovních lezkyň. Lezecký ergometr nabízí analogii k lezení na lezecké stěně, která umožňuje kontrolu lezecké intenzity nízko nad zemí bez nutnosti použití jistících pomůcek. Když bylo provedeno srovnání těchto dvou metod, byla shledána nesystematicky vyšší metabolická odpověď pro lezení na lezecké stěně, což se částečně vztahovalo k nárůstu koncentrace katecholaminů, ke které došlo během aktivity. U výkonnostních lezců byla ve srovnání s lezci nízké výkonnosti zjištěna menší variace v metabolické a hormonální odpovědi mezi lezeckými podmínkami. Nebyly shledány žádné rozdíly u time-motion parametrů při srovnání lezeckých podmínek. Nicméně, předchozí studie zahrnující lezení na lezeckém ergometru nebyly schopny určit, zda je fyziologická odpověď podobná lezení na lezecké stěně, kde hrají roli také psychologické faktory (např. strach z pádu a výšky), které mohou mít vliv na výkon lezce během výstupu (Aras & Akalan, 2014; Booth et al., 1999). Naše data ukazují systematicky zvýšenou metabolickou odpověď během lezení na lezecké stěně ve srovnání s lezením na lezeckém ergometru. Následující text diskutuje potenciální mechanismy ovlivňující metabolickou odpověď.

Použitím dotazníku, který sledoval stav úzkosti, nebyly shledány žádné významné rozdíly v žádné z pod-škál mezi lezeckými podmínkami a skupinami lezců. Výkonnostní lezci dosáhli vyššího skóre ve vnímané kontrole než lezci nízké výkonnosti, což může souviset s bohatšími zkušenostmi s lezením. Hormonální odpověď, hladina katecholaminů a kortizolu byla podobná při srovnání lezeckých podmínek. Větší metabolické nároky byly shledány ve spojení s lezením na lezecké stěně, nicméně tento rozdíl ve srovnání s lezením na ergometru není přičítán stresové odpovědi v souvislosti s rizikem pádu či výškou, ve které se lezec při lezení cesty pohybuje. Částečné vysvětlení pro nárůst metabolické spotřeby při lezení na

lezecké stěně může souviset s váhou navíc, kterou představuje sedací úvazek, jehož hmotnost se pohybovala od 260 do 460 g.

Jiné možné vysvětlení pro rozdíly v metabolických nárocích by mohlo spočívat v množství času stráveném ve statických pozicích během lezeckého výkonu. Délka statických pozic byla zahrnuta do výsledků jako možné ovlivnění metaboreflexu a sympatikem ovlivněnou elevaci krevního tlaku (Sheel, 2004). Videoanalýza neukázala žádné rozdíly mezi lezeckými podmínkami, nicméně výkonnostní lezci strávili méně času držením chytů a vykazovali nižší poměr zatížení/odpočinku. Tento fakt je ve shodě s předchozími zjištěními (Donath et al., 2013) a naznačuje, že výkonnostní lezci vykazují delší časové úseky odpočinku. To může souviset s nižší metabolickou odpovědí, která byla u této skupiny lezců zjištěna. Vztah mezi SF a poměrem zatížení/odpočinek dosáhl významnosti (R = -0,49; není uvedeno ve výsledcích), nicméně nebyl tak významný, aby vysvětlil všechny variace SF. Videoanalýza může poskytnout pouze informace o době trvání aplikovaného úsilí, nikoliv o intenzitě. Bylo ukázáno, že výkonnostní lezci používají méně síly při držení chytů, což je spojováno s nižší metabolickou odpovědí (Baláš, Panáčková, Jandová, et al., 2014). Jelikož velikost síly aplikované při držení chytů nebyla v předkládané studii známá, je její vliv pouze spekulativní.

Uvážíme-li rozdíly mezi testovanými skupinami, metabolická odpověď (SF, $\dot{V}O_2$ a RER) byla významně nižší u výkonnostních lezců, což je v souladu s předchozími studiemi (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Bertuzzi et al., 2007). Nižší metabolická spotřeba může být u lezců vyšší výkonnosti přičítána lepší ekonomice pohybu, která je spojována s řadou faktorů, mezi které patří mezisvalová a vnitrosvalová koordinace, schopnost načtení cesty, plynulost pohybu, distribuce velikosti síly aplikované na chyt a/nebo také psychický stres (Bertuzzi et al., 2007; Fuss & Niegl, 2008; Orth et al., 2016; Rosponi et al., 2012). V předkládané studii rozdíly ve $\dot{V}O_2$ mezi skupinami nedosáhly významnosti. Může to souviset se skutečností, že do skupin lezců rozdělených na základě uvedené výkonnosti náležely také

lezkyně, které byly na hranici dvou skupin: lezci nízké výkonnosti/pokročilí a pokročilí/výkonnostní lezci. Větší homogenita jednotlivých skupin by možná vedla k větším rozdílům v metabolické a hormonální odpovědi. Někteří lezci nízké výkonnosti vykazovali větší metabolickou a hormonální odpověď během lezení na ergometru než při lezení na lezecké stěně. Jelikož tito lezci měli z celé skupiny nejnižší výkonnost, je možné, že podmínky při lezení na ergometru (pohybující se pás) byly pro tyto lezce více stresující, než lezení vysoko nad zemí.

Hlavním zjištěním této studie je, že lezení na lezecké stěně vyvolává významně větší metabolickou odpověď než lezení na lezeckém ergometru, což je částečně spojováno s nárůstem hladiny katecholaminů během aktivity. Výsledky studie zlepšují naše porozumění lezeckému výkonu z hlediska psychologicko-fyziologického a to také díku tomu, že bylo použito několika biologických, biomechanických a psychologických markerů. Na druhou stranu je potřeba zmínit několik limitací studie. Studie se zúčastnily pouze ženy a testy byly provedeny pouze jednou rychlostí, což redukuje možnost zevšeobecnění závěrů. Ačkoli rychlost lezení byla zvolena jako tempo typické při lezeckých výstupech (de Geus et al., 2006), nebyla zvolena jednotlivými účastníky studie. Cesta byla v kolmém profilu a technicky velmi jednoduchá. Je možné, že větší technická náročnost výstupu, negativní či pozitivní sklon cesty by vedly k jiným výsledkům. Hladiny katecholaminů a kortizolu jsou velmi proměnlivé a jsou vystaveny experimentální manipulaci se vzorkováním a zpracováním. Následující výzkum by se mohl věnovat různé rychlosti lezeckého pohybu a/nebo velikosti síly aplikované na chyty.

7.7 Závěry studie 1

Sportovní lezci jsou během výkonu pravidelně vystavováni fyziologickému a psychologickému stresu, který je během lezení ve výšce ve srovnání s lezením nízko nad zemí a u lezců nižší výkonnosti vyšší a způsobuje, že je daná zátěž vnímána jako náročnější. Tyto rozdíly mezi zmíněnými podmínkami nebyly ovšem pozorovány u lezců vyšší výkonnostní úrovně. U

výkonnostních lezců je RPE vhodným nástrojem pro hodnocení fyziologických nároků při lezení lehké cesty. Se stoupající obtížností výstupu nebo u lezců nižší výkonnosti, stejně jako u pokročilých lezců, bylo shledáno, že RPE podhodnocuje míru SF. Během lezení na stěně vysoko nad zemí dochází u lezců nižší výkonnosti k vyplavování katecholaminů ve větší míře při srovnání s lezením nízko nad zemí, což částečně souviselo s vyšší metabolickou odezvou oproti výkonnostním lezcům. Výsledky analýzy pohybu, stejně jako stav úzkosti před výkonem, nevykazovaly významné rozdíly mezi lezeckými podmínkami. Dílčí výsledky předkládané práce ukazují, že pokud bychom chtěli analyzovat fyziologickou odpověď na lezení bez vlivu faktorů jako je strach z výšky či z pádu, potom je použití lezeckého ergometru vhodným prostředkem, jelikož představuje vhodnou analogii k lezení na lezecké stěně. Výhodou lezeckého ergometru je možnost přesně nastavit sklon lezecké cesty a rychlost pohybu. Nicméně musí býti bráno v potaz, že lezení na ergometru může vyvolávat systematicky nižší metabolickou odpověď ve srovnání s lezením na stěně. Přesný mechanismus, který stojí za těmito rozdíly, není dosud plně objasněn.

8 Studie 2

8.1 Úvod

Sportovní lezení je pohybová aktivita, při které jsou zapojeny svaly celého těla, nicméně dominantně jsou zastoupeny intermitentní izometrické kontrakce flexorů prstů (Michailov et al., 2018). Ačkoliv byl během lezeckého výkonu demonstrován vysoký požadavek na spotřebu kyslíku, tak lokální únava flexorů prstů je často jeho limitujícím faktorem (de Geus et al., 2006; Mermier et al., 1997; Watts, 2004). Právě sledování lokální odpovědi v průběhu lezení je předmětem rostoucího zájmu výzkumníků s cílem lepšího pochopení fyziologických požadavků na výkon (Baláš et al., 2016; Fryer, Stoner, Dickson, et al., 2015; Thompson et al., 2014). Během izolovaného zatížení na lezeckém dynamometru docházelo u lezců s vyšší výkonností k větší deoxygenaci flexorů prstů (Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015). U elitních lezců bylo ve srovnání s lezci nižší výkonnosti prokázáno rychlejší zotavení po okluzi způsobené tlakem manžety či po výkonu do vyčerpání (Fryer, Stoner, Dickson, et al., 2015; Fryer et al., 2016).

Pro hlubší pochopení fyziologické odpovědi je nezbytné stanovit vliv faktorů (obtížnost cesty, styl přelezu, sklon stěny, rychlost lezení a výkonnost lezce), které na ni mají vliv a to při různých intenzitách. Pouze několik studií se věnovalo monitorování kardiorespirační odpovědi na submaximální zatížení při lezení (Heil, 2019; Limonta et al., 2018; Watts & Drobish, 1998). Dynamikou lokálního okysličení při submaximálním zatížení u sportovních lezců se dosud nezabýval nikdo, což je překvapivé, když uvážíme, že se trénink často odehrává při této intenzitě. V současné době můžeme na základě protokolů do vyčerpání (Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009) usuzovat, jaký vliv má rychlost lezení na metabolismus a spotřebu kyslíku, nicméně vliv rychlosti na lokální dynamiku okysličení zůstává nejasný.

Cílem předkládané studie bylo stanovit lokální a systémovou odpověď organismu na submaximální zátěž při různých rychlostech pohybu.

8.2 Metodika

Design studie

Všichni účastníci studie podstoupili čtyři návštěvy laboratoře, mezi kterými byla pauza 3-6 dnů. Během první návštěvy byli účastníci studie seznámeni s technicky velmi jednoduchou cestou na lezeckém ergometru a absolvovali test maximální volní kontrakce (MVK). Během následujících tří návštěv podstoupili, v náhodném pořadí, lezecké testy submaximální intenzitou. Každý z testů byl vykonán jinou rychlostí (4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$). Návštěva laboratoře začala standardizovanou rozcvičkou (rychlá chůze po dobu 5 min., mobilizační cvičení po dobu 5 min., lezení na lezeckém ergometru). Po rozcvičce následoval lezecký test v době trvání čtyř minut.

Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořilo 32 žen a mužů. Účastníci studie byli zdraví nekuřáci a neužívali žádné medikamenty. Byli rozděleni na základě nejlepšího výkonu realizovaného v posledních 3 měsících (Draper et al., 2011) do 3 skupin: pokročilé ženy (N = 10), pokročilí muži (N = 11) a výkonnostní muži (N = 11). Antropometrické a tréninkové charakteristiky shrnuje Tabulka 12. Účastníci studie byli vyzváni, aby se vyhnuli intenzivní fyzické zátěži 24 hodin před konáním testování, nekonzumovali kofein v den testování a těžké jídlo minimálně 3 hodiny před začátkem testování. Všichni účastníci studie potvrdili svou dobrovolnou účast na studii svým podpisem. Studie byla schválena etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem 61/2019.

Lezecký test

Submaximální lezecký test byl realizován na lezeckém ergometru (ClimbStation, 1. generace, Forssa, Finsko) vysokém 3,8 m, a s pásem dlouhým 6,5 m. S každým otočením pásu bylo provedeno 14 lezeckých kroků. Obtížnost cesty byla ohodnocena stupněm 7 na obtížnostní škále IRCRA (Draper et al., 2016) při sklonu pásu 0°. Každý účastník měření absolvoval tři testy trvající 4 min., každý jinou rychlostí (4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$). Rychlosti 4 a 6 $m \cdot min^{-1}$ odpovídají lezení ve stylu On-sight a Red Point, zatímco rychlost 9 $m \cdot min^{-1}$ byla vybrána z důvodu minimalizování statických pozic během lezení (de Geus et al., 2006; Michailov, 2014) a na základě předchozích pilotních měření.

Test maximální síly flexorů prstů

Test maximální síly flexorů prstů dominantní ruky byl proveden dvakrát s pauzou v době trvání 2 min. na lezecky specifickém dynamometru (1D-SAC, Spacelab, Sofie, Bulharsko), který poskytuje reliabilní a validní měření lezecky specifické síly (Michailov et al., 2018). Dynamometr byl kalibrován na dřevěný chyt o hloubce 23 mm. Účastníci studie byli instruováni, aby maximálním úsilím zatěžovali testovací chyt po dobu 5 s. Nejvyšší hodnota z obou testů byla vybrána jako maximální síla flexoru prstů.

Analýza plynů

Spotřeba kyslíku, minutová plicní ventilace, dechový objem a dechová frekvence byla měřena pomocí přenosného metabolického analyzátoru (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Německo). Srdeční frekvence byla měřena pomocí hrudního pásu (Polar Electro YO, Finsko) a naměřená data automaticky odesílána do MetaMax 3B. Respirační poměr byl vypočítán poměrem $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$. Klidový metabolický obrat (MET) byl vypočítán jako $\dot{V}O_2$ z poslední minuty testu vydělená 3,5 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), což představuje klidovou hodnotu $\dot{V}O_2$ (ACSM, Guidelines for Exercise Testing and Prescriptions, 2014). Analýza dýchacích plynů byla provedena za použití

techniky „dech po dechu“. Zařízení bylo na účastníky studie umístěno v oblasti hrudníku pomocí pásu (celková váha 1,4 kg). Kalibrace plynů byla provedena pomocí kalibrační směsi (15% O_2 a 5% CO_2) a kalibračního válce dle doporučení výrobce. Měření probíhalo souvisle: 5 min. před testem a v průběhu celého testu do vyčerpání. Data „dech po dechu“ byla zaznamenávána jako průměry z 10 s intervalu vzorkování a exportována do programu Microsoft Excel k další analýze.

Blízká infračervená spektroskopie

Vzhledem k relativně malému rozšíření a využívaní blízké infračervené spektroskopie ve sportovním prostředí, předkládáme stručný úvod do problematiky této metody, po kterém bude řešena otázka reliability ve výzkumu aplikovaném na sportovní lezení a nakonec využití této metody v předkládané studii.

Blízká infračervená spektroskopie (Near-infrared spetroscopy, NIRS) je neinvazivní vyšetřovací metoda, která umožňuje sledovat ve vybrané části konkrétního svalu dynamické změny dodávky a spotřeby O_2 (parametr se označuje jako tkáňová saturace, StO_2), celkový hemoglobin/myoglobin (total[heme]) a pomocí odvozených metod i průtok krve svalem. Spektroskop emituje světlo v blízkém infračerveném spektru (~700-900 nm), které je schopno detekovat dynamické změny hladiny hemoglobinu/myoglobinu, přesněji řečeno změny okysličeného (oxy[heme]) a neokysličeného (deoxy[heme]) hemoglobinu/myoglobinu (Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; van Beekvelt et al., 2001). Díky identické spektrální charakteristice hemoglobinu a myoglobinu není NIRS schopna mezi nimi rozlišovat. Nicméně je možné při správné volbě vlnové délky rozlišovat mezi (oxy[heme]) a (deoxy[heme]), jelikož ty mají odlišné absorpční spektrum. Vedle změn koncentrace oxy[heme] a deoxy[heme] je sledován total[heme] v tkáni, který je sumou výše dvou zmíněných hemoglobinů. Pro vyšetřování se používají tři různé typy spektroskopů, které se liší specifickým typem osvětlení: a) “continuous-wave” (CW) – zeslabení světelného toku při konstantním osvětlení tkáně,

b) “frequency-domain” (FD) - zeslabování světelného toku a fázový posun při modulaci frekvence, c)” time-domain" (TD) - osvětluje tkáň krátkými světelnými pulzy se záznamem tvaru pulzů po průchodu tkání. Nejpoužívanějším typem spektroskopu je CW systém, který je cenově nejdostupnější a snadno transportovatelný. Tyto oxymetry nejčastěji používají SRS přístup (spatially resolved spectroscopy), kdy je použito více optod v různých vzdálenostech. To umožňuje stanovit poměr oxy[heme] k total[heme], a tím vyjádřit relativní saturaci tkáně kyslíkem. NIRS je používána jak v laboratorních podmínkách, tak ve výzkumu aplikovaném na sportovní prostředí, kdy je sledována úroveň okysličení svalu, míra deoxygenace a opětovného okysličení. Toto slouží ke stanovení oxidativních funkcí svalu po specifické intervenci (Ferrari et al., 2011).

Je potřeba ještě zmínit, že NIRS má řadu limitací. Změny celkového hemoglobinu souvisejí se změnami množství krve, která proteče sledovaným svalem. Při opakovaném měření je nutné dávat spektroskop vždy na stejné místo, jelikož různé části svalu vykazují různou odpověď deoxygenace. Spektroskop musí být vždy zcela zatemněn, aby měření neovlivnilo světlo z okolního prostředí. Měření může ovlivnit také tloušťka podkožního tuku (van Beekvelt et al., 2001). Dalším limitujícím faktorem může být průtok krve kůží a změny teplot při zatížení (Boone et al., 2016). NIRS není všemi bez výhrad přijímána a není doposud zcela zřejmé, které měřené ukazatele lze pokládat za validní pro klinickou a sportovní praxi (Grassi & Quaresima, 2016).

Z následujícího přehledu literatury, jejímž tématem je využití NIRS ve výzkumu aplikovaném na sportovní lezení, je patrná terminologická nejednoznačnost při označování základních proměnných sledovaných pomocí NIRS. V tabulce 3 uvádíme přehled termínů používaných v odborných studiích a současně návrh sjednocujícího názvosloví dle Barstowa (2019).

Tabulka 12 Srovnání termínů používaných pro označování vybraných proměnných sledovaných pomocí NIRS.

Názvosloví dle Barstowa (2019)	Ostatní užívané ekvivalenty
total[heme]	total[Hb+Mb]; [tHb]
oxy[heme]	oxy[Hb+Mb]; O_2Hb; HbO2
deoxy[heme]	deoxy[Hb+Mb]; HHb
StO_2	Muscle tissue oxygen saturation (SmO_2); Tissue Oxygenation Index (TOI); Tissue Saturation Index (TSI)

Reliabilita NIRS při sledování oxygenace svalů předloktí

Pokud měření produkuje za identických podmínek stejné výsledky, pak můžeme říct, že měření má vysokou reliabilitu. Reliabilita testu tedy ukazuje, do jaké míry jsou výsledky replikovatelné (Baumgartner, 2006). Crenshaw et al. (2012) posuzovali TSI během izometrických kontrakcí různé intenzity u mužů a žen. Vedle svalů pletence ramenního byly měřeny také svaly předloktí, v tomto případě extensor carpi radialis (ECR). Míra shody během měření nasycenosti tkání svalu ECR mezi subjekty byla následující: 10% MVK (Intra-class corelation coefficient - ICC=0,58), 30% MVC (ICC=0,95), 50% MVC (ICC=0,81), 70% MVC (ICC=0,82). Při kontrakcích o intenzitách vyšších než 25% MVC způsobí vnitrosvalový tlak omezení průtoku krve tkáněmi, což vede k nižšímu lokálnímu okysličení svalů. Při intenzitě 10% MVC je cirkulace krve sledovaným svalem ovlivněna minimálně a reliabilita testu je malá. Podle autorů nebyly nalezeny rozdíly mezi pohlavími v okysličenosti svalů předloktí a ramen po izometrických kontrakcích a venózní i arteriální okluzi krve. Celie et al. (2012) testovali reliabilitu okysličenosti svalů předloktí během stupňovaného zátěžového testu do vyčerpání. Byla měřena deoxygenace (deoxy[Hb + Mb]) a saturace svalů kyslíkem (SmO_2), v tomto případě jimi byly FCR a flexor digitorum superficialis (FCS). Autoři se zaměřili na deoxy(Hb + Mb), jelikož je často považován za přesný ukazatel tkáňového využití kapilárního kyslíku. V obou měřeních byly testy ukončovány na srovnatelné hladině zatížení, pro první měření to bylo 69% a pro druhé měření 73% maximální volní kontrakce. Míra shody během měření deoxy(Hb + Mb) byla následující: 20% MVC (ICC=0,321), 30% MVC (ICC=0,025),

40% MVC (ICC=0,334), 50% MVC (ICC=0,446), 60% MVC (ICC=0,553), 69,5-73% MVC (ICC=0,873). Míra shody pro SmO_2 byla následující: 20% MVC (ICC=0,602), 30% MVC (ICC=0,39), 40% MVC (ICC=0,579), 50% MVC (ICC=0,345), 60% MVC (ICC=0,22), 69,5-73% MVC (ICC=0,774). Autoři došli k závěru, že metoda NIRS je reliabilní nástroj pro měření hladiny deoxygenace u malých svalů, ačkoliv hodnoty ICC jsou nízké. První studii zaměřenou na testování reliability NIRS u lezců provedli Baláš et al. (2018). Autoři se zaměřili na sledování TSI a tHb ve FDP při intermitentní izometrické kontrakci (60% MVC). Účastníci studie absolvovali tři měření ve třech různých dnech. Z výsledků vyplývá, že průměrná deoxygenace (-ΔTSI) během intermitentních kontrakcí poskytuje dostatečně spolehlivé výsledky z hlediska reliability měření (ICC=0,692). Ke stejnému závěru autoři došli v otázce opětovné reoxygenace (+ΔTSI) svalu během fáze odpočinku (ICC=0,672). Jako nespolehlivé se ukázalo sledování změn celkového hemoglobinu (Δ tHb, ICC=0,294) nebo také maximální úroveň deoxygenace (TSI_{min}, ICC = 0,437).

V předkládané studii byl spektroskop typu continuous-wave (Portamon, Artinis Medical Systém, BV, Nizozemsko) použit ke stanovení kinetiky okysličení svalu. Sledovaným svalem byl FDP dominantní ruky, umístění senzoru bylo provedeno dle Fryera, Stonera, Lucera, et al. (2015). Senzor byl na kůži připevněn pomocí adhezivní pásky a zatemněn bandáží, aby bylo zabráněno ovlivnění měření okolním světlem. Data z měření byla zaznamenána pomocí přednastaveného vzorkování o frekvenci 10 Hz a uložena v programu Oxysoft (Artinis Medical Systém, BV, Nizozemsko) k další analýze. Tkáňová deoxygenace (ΔStO_2) představuje největší rozdíl mezi klidovými hodnotami StO_2 a nejnižší naměřenou hodnotou StO_2 během testu. Průměrná tkáňová saturace ($StO_{2\ prům.}$) byla počítána z celého testu.

Statistická analýza

Výkonnostní a NIRS charakteristiky byly popsány použitím deskriptivní statistiky (průměr ± směrodatná odchylka). Všechna data se vyznačovala rovnoměrným rozložením, homoskedasticitou a stejným reziduálním rozptylem. Rozdíly v antropometrických a tréninkových charakteristikách pro tři skupiny lezců byly stanoveny použitím modelu ANOVA s Bonferroniho korekcí pro párové srovnávání.

Vztah mezi rychlostí, $\dot{V}O_2$ a StO_2 byl hodnocen pomocí lineární regrese. Pro hodnocení vlivu pohlaví, pokročilých žen (N = 11) a mužů (N = 11) bylo použito nezávislých t-testů. Jelikož se prakticky nevyskytovaly rozdíly pro většinu proměnných (viz. Výsledky), ženy a muži z těchto dvou skupin byly považováni za jednu skupinu pokročilých lezců. Rozdíly mezi skupinami lezců na základě výkonnosti (pokročilý vs. výkonnostní) byly stanoveny sérií nezávislých t-testů a možné interakce mezi skupinami a rychlostí byly ověřeny opakovaným měřením (ANOVA), kdy zkušenost představovala meziskupinový faktor a rychlost faktor vnitroskupinový. Statistická významnost byla stanovena na hladině významnosti $P \leq 0,05$. Velikost účinku byla stanovena pomocí koeficientu eta kvadrát (η_p^2) a Cohenova *d*, kdy hodnoty 0,05, 0,10 a > 0,20 představují malý, střední a velký účinek a 0,2, 0,5 a > 0,8 představují malý, střední a velký rozdíl pro η_p^2 a Cohenovo *d.*

8.3 Výsledky Studie 2

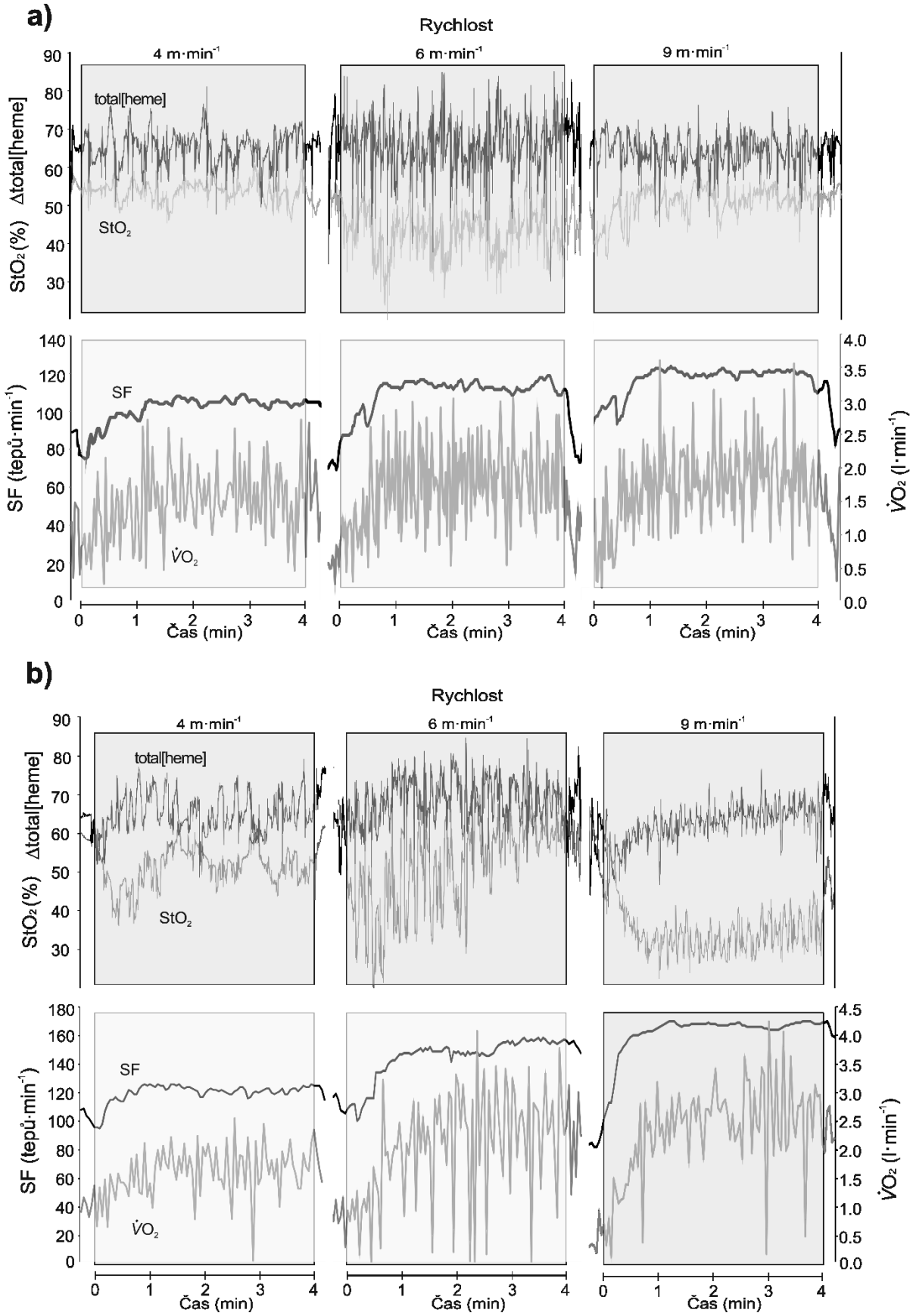
Muži byli vyšší a těžší než ženy, výkonnostní lezci byli starší a měli větší zkušenosti s lezením než pokročilí lezci (Tabulka 14). Nebyly shledány rozdíly v objemu specifického a nespecifického tréninku. Relativní maximální síla (MVC/kg) byla u výkonnostních lezců významně větší než u pokročilých žen a mužů (Tabulka 13). Během tří submaximálních testů (4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$) vykonali účastníci studie 35, 56 a 84 lezeckých pohybů či vyjádřeno vzdáleností vylezli 16, 24 a 36 metrů.

S rostoucí rychlostí lezeckého pohybu byly shledány větší rozdíly pro $\dot{V}O_2$ ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,923$) než pro StO_2 ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,448$) (Obrázek 7). Nárůst rychlosti o 1 $m \cdot min^{-1}$ vede k nárůstu $\dot{V}O_2$ o 2,4 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (95% CI 2,1 až 2,8 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) a k poklesu StO_2 o -1,3% (95% CI -1,9 až 0,7%). Byla shledána významná interakce lezecké zkušenosti a rychlosti lezení pro StO_2 ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,224$), což vypovídá o tom, že pokles u StO_2 byl patrný pouze u pokročilých a nikoliv u výkonnostních lezců (Obrázek 6). Nebyla shledána interakce pro $\dot{V}O_2$ či jiný systémový fyziologický parametr. Vliv rychlosti byl významný pro následující fyziologické proměnné SF ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,623$), DF ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,520$), VT ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,468$), RER ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,352$) a ΔStO_2 ($P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,212$). Průměrná hodnota metabolické náročnosti byla během tří submaximálních testů (4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$) následující: 6,8 ± 0,8, 8,3 ± 1,1 a 10,3 ± 0,9 MET.

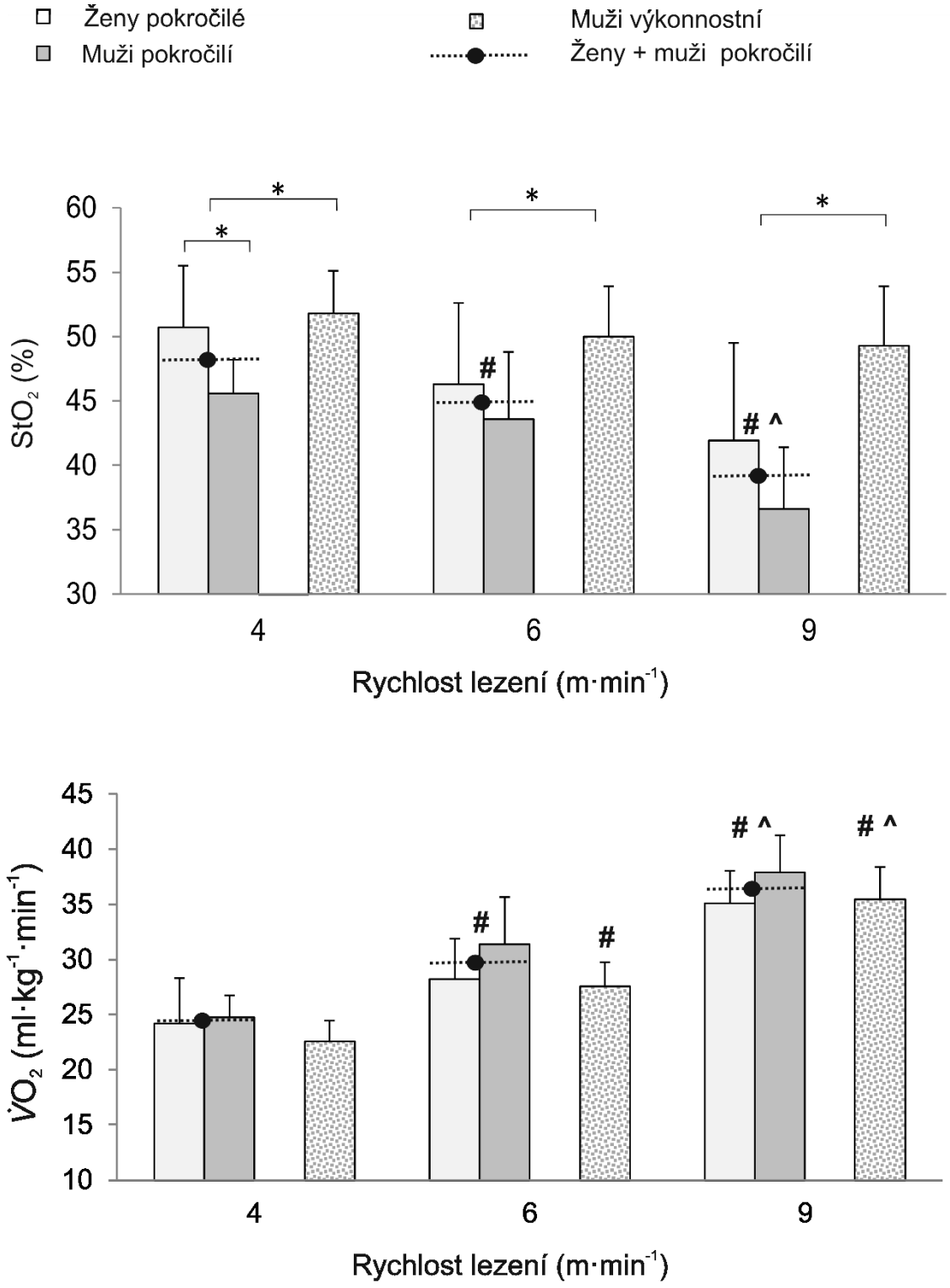
Meziskupinové srovnávání ukázalo, že pomocí svalové saturace (StO_2, $P = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,296$, ΔStO_2, $P = 0,017$, $\eta_p^2 = 0,177$) můžeme rozlišovat mezi výkonnostními skupinami lépe než pomocí systémové $\dot{V}O_2$ ($P = 0,093$, $\eta_p^2 = 0,151$) (Obrázek 7, Tabulka 14). Větší rozdíly mezi výkonnostními skupinami byly shledány pro lokální svalovou oxygenaci u vyšších rychlostí (Obrázek 6). Pokročilé ženy se nelišily v rámci všech submaximálních testů od pokročilých mužů v žádné z fyziologických proměnných, s výjimkou pro $\dot{V}O_2$ ($l \cdot min^{-1}$).

Pokročilé ženy měly významně nižší hodnotu StO_2 u rychlosti 4 $m \cdot min^{-1}$, což neplatilo pro zbylé dvě rychlosti 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$ (Obrázek 6, Tabulka 14).

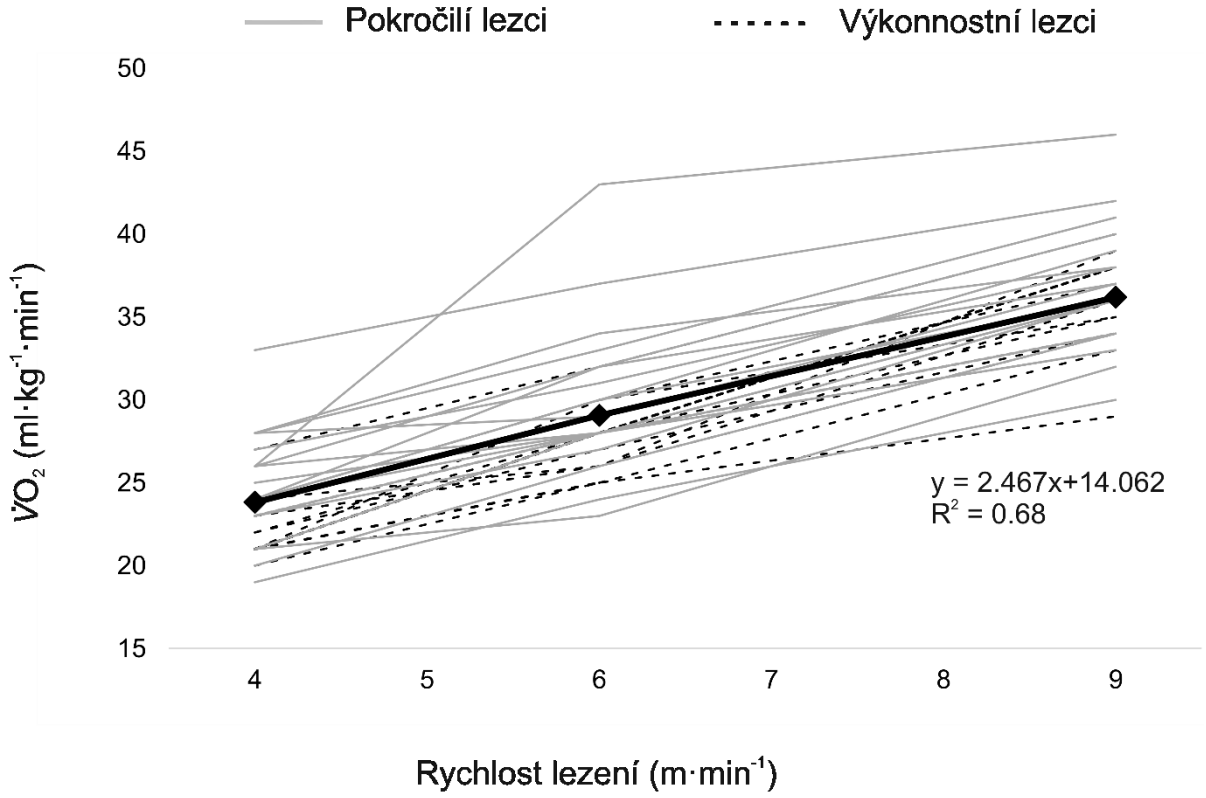
Obrázek 5 Typická lokální a systémová odpověď u (a) výkonnostního a (b) pokročilého lezce během lezení o rychlosti 4, 6 a 9 m·min^{-1}; spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), saturace svalu kyslíkem (StO_2), srdeční frekvence (SF).

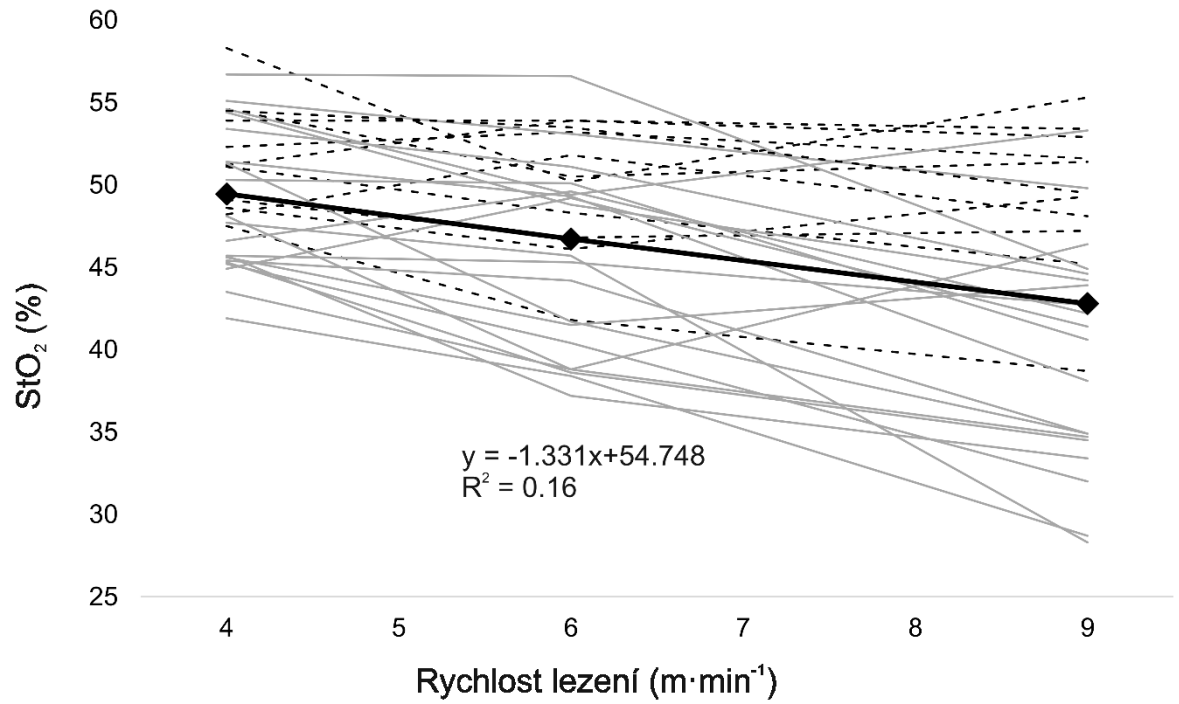


Obrázek 6 Rozdíly ve spotřebě kyslíku ($\dot{V}O_2$) a saturaci svalu kyslíkem (StO_2) mezi pokročilými muži a ženami a výkonnostními muži během lezení ve třech různých rychlostech (4, 6 a 9 m·min^{-1}) za setrvalého stavu.



Obrázek 7 Vztahy mezi lezeckou rychlostí a spotřebou kyslíku ($\dot{V}O_2$) a saturací svalu kyslíkem (StO_2) u pokročilých a výkonnostních lezců během lezení ve třech různých rychlostech (4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$) za setrvalého stavu.





Tabulka 13 Antropometrické a tréninkové charakteristiky pokročilých mužů a žen a výkonnostních mužů. Maximální síla prstů (F_{max}), International Rock Climbing Association (IRCRA).
** významné (P < 0,05) rozdíly mezi pokročilými ženami a výkonnostními muži; # významné (P < 0,05) rozdíly mezi pokročilými ženami a muži; ^ významné (P < 0,05) rozdíly mezi pokročilými muži a výkonnostními muži.*

Antropometrické a tréninkové charakteristiky	**Ženy pokročilé** (N = 10)	**Muži pokročilí** (N = 11)	**Muži výkonnostní** (N = 11)	**P**	**η_p^2**
Věk (roky)	28,5±7,7	27,4±7,8	35±7,2	0,051	0,185
Tělesná hmotnost (kg)	61,7±7,4*#	69,5±6,3#	70,9±5,1*	**0,007**	0,290
Výška (cm)	169,5±7,7*#	177,5±6,3#	177,8±5,9*	**0,030**	0,214
Lezecká výkonnost (škála IRCRA)	15±3*	14±2^	21±2*^	**0,000**	0,654
Lezecké zkušenosti (roky)	9,4±6	7,9±5,6^	15±5,6^	**0,029**	0,217
Lezecky specifický trénink (hodiny/týden)	5,5±3	4,2±2,1	6±3,1	0,210	0,102
Lezecky nespecifický trénink (hodiny/týden)	3,9±3,4	3,6±3,5	3,2±2,9	0,893	0008
F_{max} (kg)	42,9±4,51*#	54,82±8,2^#	67,45±7,49*^	**0,000**	0,697
$F_{max/tělesná\ hmotnost}$	0,7±0,1*	0,79±0,14^	0,95±0,1*^	**0,000**	0,477

Tabulka 14 Rozdíly mezi pohlavími ve fyziologické odpovědi na lezení ve třech rychlostech za setrvalého stavu u pokročilých lezců; klidová průměrná saturace tkáně kyslíkem ($StO_{2\ průměr}$); průměrná tkáňová saturace kyslíkem ($StO_{2\ průměr}$); spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$); minutová ventilace ($\dot{V}E$); dechová frekvence (DF); dechový objem (VT); respirační poměr (RER); klidový metabolický obrat (MET).

	Ženy pokročilé (N = 10)	**Muži pokročilí** (N = 11)	**P**	**95% CI**	**Cohenovo *d***
Rychlost 4 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	61,25±4,4	60,27±4,3	0,628	-5,2 to -3,2	-0,22
$StO_{2\ průměr}$ (%)	45,44±3	48,65±5,8	0,148	-1,2 to 7,7	0,67
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	1,49±0,3	1,74±0,17	0,032	0,02 to 0,5	0,99
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	40,5±8,3	42,0±5,6	0,634	-5,2 to 8,3	0,21
DF (dechy·min^{-1})	30±4	30±4	0,928	-4,1 to 3,8	-0,04
VT	1,37±1,37	1,43±0,23	0,616	-0,2 to 0,3	0,22
RER	0,84±0,80	0,81±0,04	0,139	-0,1 to 0,01	-0,67
MET	6,9±1,2	7,1±0,6	0,724	-0,7 to 1,0	0,15
Rychlost 6 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	60,68±5,85	60,99±5,24	0,904	-5,0 to 5,6	0,05
$StO_{2\ průměr}$ (%)	43,56±5,47	45,59±4,97	0,406	-2,9 to 7,1	0,37
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	1,7±0,3	2,2±0,4	0,007	0,1 to 0,8	1,3
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	48,2±9,4	54,3±11,8	0,229	-4,1 to 16,4	0,55
DF (dechy·min^{-1})	33±3	33±4	0,890	-4,1 to 3,5	-0,06
VT	1,47±0,24	1,70±0,36	0,123	-0,07 to 0,5	0,71
RER	0,88±0,04	0,84±0,04	0,055	-0,1 to 0,0	-0,89
MET	7,9±0,6	8,9±1,2	0,102	-0,2 to 2,0	0,75
Rychlost 9 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	60,77±2,81	60,89±6,09	0,957	-4,5 to 4,8	0,02
$StO_{2\ průměr}$ (%)	39,59±7,01*	42,29±6,55	0,396	-3,8 to 9,2	0,38
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	2,0±0,4#	2,6±0,3#	0,001	0,3 to 0,9	1,67
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	64,7±11,3	65,9±8,8	0,794	-8,5 to 10,9	0,11
DF (dechy·min^{-1})	38±5*	36±5^	0.376	-6.4 to 2.5	-0,39
VT	1,63±0,29	1,84±0,24	0,113	-0,05 to 0,5	072
RER	0,95±0,09*	0,86±0,04	**0,012**	-0,2 to 0,02	-1,19
MET	10,1±0,8	10,8±1,0	0,080	-0,1 to 1,7	0,81

Tabulka 15 Rozdíly ve fyziologické odpovědi na lezení ve třech rychlostech za setrvalého stavu u pokročilých a výkonnostních lezců; klidová průměrná saturace tkáně kyslíkem ($StO_{2\ průměr}$); průměrná tkáňová saturace kyslíkem ($StO_{2\ průměr}$); spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$); minutová ventilace ($\dot{V}E$); dechová frekvence (DF); dechový objem (VT); respirační poměr (RER); klidový metabolický obrat (MET).

	Pokročilí (N = 21)	**Výkonnostní** (N = 11)	**P**	**95% CI**	**Cohenovo *d***
Rychlost 4 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	60,74±4,49	56,55±5,1	0,036	-7,03 to 0,25	-0,81
$StO_{2\ průměr}$ (%)	47,12±5,03	50,61±5,1	0,087	-0,47 to 6,56	0,69
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	1,6±0,28	1,6±0,16	0,806	-0,21 to 0,16	-0,09
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	41,3±7,2	38,0±6,2	0,216	-8,62 to 2,02	-0,48
DF (dechů·min^{-1})	30±4	25±7	0,034	-8,35 to -0,36	-0,76
VT	1,41±0,26	1,57±0,37	0,160	-0,07 to 0,39	0,50
RER	0,82±0,05	0,80±0,04	0,256	-0,06 to 0,02	-043
MET	7±0.9	6.4±0.6	0,086	-1,19 to 0,08	-0,71
Rychlost 6 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	60,84±5,68	59,88±6,73	0,893	-4,65 to 4,07	-0,05
$StO_{2\ průměr}$ (%)	44,62±5,44	49,85±4,04	0,020	0,77 to 8,46	0,95
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	1,98±0,4	1,95±0,3	0,835	-0,32 to 0,26	-0,08
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	51,4±11,4	45,3±8,1	0,134	-14,03 to 1,96	-0,6
DF (dechů·min^{-1})	33±4	27±5	0,001	-9,67 to -2,57	-1,24
VT	1,59±0,34	1,77±0,29	0,145	-0,07 to 0,43	0,57
RER	0,86±0,05	0,80±0,04	0,002	-0,09 to -0,03	-1,31
MET	8,5±1,3	7,9±0,6	0,117	-1,49 to 0,17	-0,66
Rychlost 9 m/min.					
$StO_{2\ průměr}$ (%) klid	60,83±4,94	58,67±5,68	0,282	-6,19 to 1,87	-0,39
$StO_{2\ průměr}$ (%)	41,0±7,07	48,65±4,71	0,003	2,75 to 12,54	1,25
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	2,4±0,4	2,4±0,3	0,745	-0,27 to 0,37	0,13
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	65,4±10,4	57,0±6,6	0,022	-15,5 to -1,28	-0,95
BF (dechů·min^{-1})	37±5	30±4	0,000	-11,1 to -3,85	-1,59
VT	1,74±0,29	1,88±0,33	0,239	-0,09 to 0,38	0,44
RER	0,91±0,09	0,84±0,04	0,030	-0,12 to -0,01	-0,93
MET	10,1±0,9	10,4±0,9	0,397	-1,08 to 0,44	-0,93

8.4 Diskuze studie 2

Záměrem této studie bylo stanovit vliv rychlosti na lokální a systémovou odpověď organismu během lezení za setrvalého stavu. Hlavní zjištění byla následující: 1) rychlost lezení měla větší dopad na systémovou fyziologickou odpověď než na lokální dynamiku okysličení; 2) systémová $\dot{V}O_2$ se nelišila při srovnání pokročilých a výkonnostních lezců, ačkoliv lokální StO_2 je více citlivá pro rozlišování dvou skupin lezců různé výkonnosti; 3) muži a ženy ze skupiny pokročilých lezců měli podobnou systémovou a lokální fyziologickou odpověď na submaximální zátěž za setrvalého stavu.

Pokud je nám známo, vliv rychlosti na celkovou a lokální dynamiku kyslíku za podmínek setrvalého stavu nebyl dosud v oblasti sportovního lezení sledován, ačkoliv rychlost lezení se mění na základě lezeckého stylu a aplikováním různých tréninkových metod (Michailov, 2014). V souladu s dosavadním poznáním (Rosponi et al., 2012) bylo prokázáno, že nárůst rychlosti při zachování obtížnosti a sklonu cesty vyvolává větší odpověď $\dot{V}O_2$ a SF. Příčinou může být zapojení lokomočních svalů dolních končetin ve větší míře či celkově větší vykonaná práce během lezení o vyšší rychlosti.

Předkládaná studie nepotvrdila předchozí zjištění, a sice že zkušenější lezci vykazují nižší hodnoty $\dot{V}O_2$ ve srovnání s lezci nižší výkonnosti (Baláš, Panáčková, Jandová, et al., 2014; Bertuzzi et al., 2007; Limonta et al., 2018). Nižší hodnoty $\dot{V}O_2$ u lezců vyšší výkonnosti byly přisuzovány větší plynulosti pohybu, posturální kontrole, vyšší vnímavosti a motorické přizpůsobivosti (Bertuzzi et al., 2007; España-Romero et al., 2012; Orth et al., 2016). To, že v předkládané studii nebyly shledány významné rozdíly ve spotřebě kyslíku mezi různě zkušenými skupinami lezců, může pramenit z jejich relativní homogennosti, čemuž tak nebylo u citovaných studií. Příčinu lze hledat také v tom, že cesta, na které byl prováděn výzkum, byla technicky velmi jednoduchá a nemusely se tak projevit větší technické dovednosti zkušenějších lezců.

Na druhou stranu se lišily proměnné lokální dynamiky kyslíku (StO_2 a ΔStO_2) při srovnání dvou výkonnostních skupin. Pokročilí lezci vykazovali větší desaturaci sledovaného svalu po zahájení aktivity a během setrvalého stavu ve srovnání s výkonnostními lezci. Toto zjištění může být interpretováno jako vyšší utilizace kyslíku při prakticky neměnné perfuzi. Navíc s rostoucí rychlostí vykazovali pokročilí lezci progresivně větší desaturaci svalu ve srovnání s výkonnostními lezci, jejichž úroveň desaturace zůstávala podobná napříč všemi rychlostmi.

Zdá se tedy, že submaximální intenzity ovlivňují u pokročilých lezců lokální kyslíkovou saturaci, k čemuž u výkonnostních lezců nedocházelo. Vysvětlení můžeme hledat v nižší MVC u pokročilých lezců (Tabulka 12), jelikož tito musí vyvinout větší procento jejich maximální síly flexoru prstů k tomu, aby byli schopni daný chyt udržet. Dále je nutné uvažovat o jejich horší pohybové koordinaci s rostoucí rychlostí lezení (Booth et al., 1999). StO_2 klesla ihned po zahájení testu (Δ StO_2) a následně docházelo během testu k návratu StO_2 blížící se klidové hodnotě. Nicméně u několika pokročilých lezců nedocházelo během testu o rychlosti 9 $m \cdot min^{-1}$ k výše zmiňovanému návratu StO_2 (Obrázek 5), což může ukazovat na větší spotřebu kyslíku nebo jeho horší dodávku ke sledovanému svalu.

Nízká hladina StO_{2min} (až ~20%) byla pozorována během testů do vyčerpání na lezeckém dynamometru či ergometru (Baláš et al., 2016; Feldmann et al., 2020; Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Fryer, Stoner, Dickson, et al., 2015). Ze závěrů jedné studie (Fryer, Stoner, Dickson, et al., 2015) vyplývá, že zkušenější lezci jsou schopni vyšší míry deoxygenace u flexorů prstů než lezci nižší výkonnosti. Větší oxidativní kapacita svalu byla spojována s rostoucí lezeckou výkonností (Thompson et al., 2014). Během měření v rámci předkládané studie se ukázaly velmi malé změny u StO_2 s rostoucí rychlostí, zejména u výkonnostních lezců, z čehož vyplývá, že vyšší rychlost pohybu během lezení lehké cesty

nemusí být dostačujícím stimulem k pozitivnímu ovlivnění lokálních hemodynamických charakteristik, jako je zvýšená schopnost desaturace svalu.

V rámci testovacího protokolu absolvovali účastníci studie čtyřminutové testy ve třech různých rychlostech. Setrvalý stav $\dot{V}O_2$ a StO_2 byl pozorován u všech účastníků studie ve druhé polovině testu (Obrázek 5). Stabilní $\dot{V}O_2$ může tedy být použit ke stanovení energetického výdeje u všech rychlostí. V předkládané studii byl energetický výdej stanoven pomocí MET. Byla nalezena vyšší hodnota MET pro danou rychlost (Tabulka 14 a 15), než tomu bylo v případě studie, jejímž autorem je Heil (2019) (6,0±0,7 a 7,9±0,7 MET pro 4,6 a 7,6 $m \cdot min^{-1}$), což může být zapříčiněno celkovou obtížností lezecké cesty nebo odlišnými lezeckými zkušenostmi účastníků u porovnávaných studií. V předkládané studii naměřené hodnoty MET pro rychlosti 4, 6 a 9 $m \cdot min^{-1}$ korespondují s aktivitami hodnocenými jako moderate, hard a very hard podle Guidelines for exercise testing and prescriptions (ACSM, 2014). Výsledky ukazují, že submaximální intenzita lezení za setrvalého stavu vyvolává vysokou $\dot{V}O_2$ a souvislé lezení o vysoké rychlosti je vhodné k rozvoji aerobní kapacity u mužů i žen.

Ještě bychom chtěli poukázat na nedostatek informací ohledně fyziologické odpovědi na lezení u žen. Například España-Romero et al. (2009) ukázali významné rozdíly mezi ženami a muži u $\dot{V}O_{2\ peak}$ během lezení do vyčerpání. Podobně Rodio et al. (2008) prokázali rozdílnou energetickou spotřebu během lezení u žen a mužů. Tyto rozdíly mohou mít původ v rozdílné zkušenosti skupin mužů a žen. Naše výsledky neukázaly významné rozdíly mezi pokročilými ženami a muži v systémové a lokální odpovědi na submaximální zátěž, tedy s výjimkou nižší $\dot{V}O_2$ ($l \cdot min^{-1}$) způsobenou odlišnou tělesnou hmotností.

Mělo by být zmíněno několik limitací předkládané studie. Do studie byly zahrnuty pouze ženy ze skupiny pokročilých lezců, nikoliv lezců výkonnostních. Na druhou stranu není mnoho studií, jejichž tématem je výzkum v oblasti sportovního lezení, které by zahrnovaly tak velký počet účastníků a to s designem studie obsahujícím opakované měření. Použití lezeckého

ergometru (treadwall) může snižovat ekologickou validitu předkládaných výsledků, ačkoliv pouze lezecký ergometr umožňuje monitorovat fyziologické parametry ve standardních podmínkách.

8.5 Závěry Studie 2

Rychlost lezení podstatně determinuje systémovou $\dot{V}O_2$, ale vliv na lokální StO_2 závisí na výkonnosti lezců. Zvyšující se rychlost lezení vyvolává postupně vyšší systémovou $\dot{V}O_2$ u pokročilých a výkonnostních lezců (~ 2,5 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Lokální dodávka a utilizace kyslíku ve svalu se zdá být stabilní u výkonnostních lezců, zatímco u skupin žen a mužů z řad pokročilých lezců docházelo postupně k vyšší utilizaci kyslíku ve svalech flexorů prstů v důsledku rostoucí rychlosti. Nemůžeme potvrdit závěry předchozích zjištění, a sice že pomocí $\dot{V}O_2$ můžeme rozlišovat mezi skupinami lezců různé výkonnosti při lezení technicky jednoduché cesty. Na druhou stranu lokální odpověď je citlivým nástrojem k rozlišení pokročilých a výkonnostních lezců.

9 Studie 3

9.1 Úvod

Pro výkon ve sportovním lezení jsou typické opakované vysoce intenzivní kontrakce flexorů prstů vyvolávající lokální ischémii. V rámci zotavení mezi kontrakcemi dochází k opětovnému prokrvení tkáně (Michailov, 2014; Thompson et al., 2014). Tyto kontrakce kladou vysoké nároky na oxidativní a neoxidativní způsob hrazení energie (Bertuzzi et al., 2007). NIRS umožňuje sledovat během lezeckého výkonu kinetiku okysličení svalů předloktí, což vedlo ke zjištěním, že jednotlivé parametry hemodynamické odpovědi svalů předloktí mohou být použity ke stanovení lezecky specifické vytrvalosti či tréninkové adaptace (Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Fryer, Stoner, Lucero, et al., 2015; Macleod et al., 2007; Philippe et al., 2012). Nicméně chybí shoda na metodice testování vytrvalosti u sportovních lezců. Jednou z možností je použít izolovaný test na dřevěné liště pro určení kritické síly (Giles et al., 2019; Giles et al., 2020). Tento model je použitelný i aplikovatelný pro hodnocení výkonnosti i preskripci tréninku zaměřeného na flexory prstů, nicméně je zatížen limitacemi při hodnocení lezecké výkonnosti na komplexní úrovni. Byly navrženy rovněž lezecké testy do vyčerpání (Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & España-Romero, 2018; Limonta et al., 2018), nicméně není konzistence při výběru faktorů ovlivňujících intenzitu lezení (sklon stěny x rychlost lezení), ani při volbě sledovaného parametru (čas do vyčerpání x $\dot{V}O_{2peak}$). Dosud se nikdo nevěnoval problematice vztahu mezi systémovou a lokální kinetikou kyslíku během lezeckého výkonu ani stanovení metabolických breakpointů. Je zapotřebí definovat metody pro stanovení celkové vytrvalosti u sportovních lezců při použití testu, který splňuje nároky na ekologickou validitu této pohybové aktivity. Cílem předkládané studie bylo stanovení lokální a systémové odpovědi na stupňované zatížení do vita maxima u sportovních lezců.

9.2 Metodika

Design studie

Účastníci studie podstoupili dvě návštěvy laboratoře, mezi kterými byl interval 5-7 dnů. Na začátku obou návštěv absolvovali účastníci standardizovanou rozcvičku, která obsahovala rychlou chůzi po dobu 5 min., mobilizační cvičení, lezení na umělé stěně v podobě traverzování po dobu 5 minut a jednoruční visy na dřevěných lištách o hloubce 30 a 23 mm. Během první návštěvy podstoupili účastníci studie test stanovení MVK na specificky lezeckém dynamometru. Následovaly dva vytrvalostní testy flexorů prstů do vyčerpání, první test byl souvislý a druhý přerušovaný, oba byly provedeny intenzitou 60% MVK. Mezi testy byla pauza 30 min., z toho 15 min. aktivní regenerace v podobě rychlé chůze. Následovalo seznámení s lezením na lezeckém trenažeru. Na závěr první návštěvy podstoupili účastníci stupňovaný test (zvyšování sklonu) do vyčerpání na běžeckém trenažeru. Během druhé návštěvy podstoupili účastníci studie stupňovaný (zvyšování sklonu) test do vyčerpání na lezeckém ergometru.

Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořilo 22 mužů. Účastníci studie byli zdraví nekuřáci a neužívali žádné medikamenty. Byli rozděleni na základě nejlepšího výkonu realizovaného v posledních 3 měsících (Draper et al., 2011) do 2 skupin: pokročilí a výkonnostní lezci (Draper et al., 2016). Antropometrické a tréninkové charakteristiky shrnuje Tabulka 16. Účastníci studie byli vyzváni, aby se vyhnuli intenzivní fyzické zátěži 24 hodin před konáním, nekonzumovali kofein v den testování a těžké jídlo minimálně 3 hodiny před začátkem testování. Všichni účastníci studie potvrdili svou dobrovolnou účast na studii svým podpisem. Studie byla schválena etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem 61/2019.

Test flexorů prstů

Silový a vytrvalostní test flexorů prstů byl proveden na lezecky specifickém dynamometru (1D-SAC, Spacelab, Sofie, Bulharsko), který poskytuje reliabilní a validní měření lezecky specifické síly a vytrvalosti flexorů prstů (Michailov et al., 2018). Dynamometr byl kalibrován na dřevěný chyt o hloubce 23 mm, který maximalizuje aktivaci flexoru digitorum profundus (Schweizer & Hudek, 2011). Test zjišťující MVK flexoru dominantní ruky byl proveden dvakrát s pauzou v době trvání 2 min. Účastníci studie byli instruováni, aby dominantní rukou maximálním úsilím zatěžovali testovací chyt po dobu 5 s. Nejvyšší hodnota z obou testů byla vybrána jako maximální síla flexorů prstů a použita pro výpočet velikosti relativního zatížení pro souvislý a přerušovaný test.

Souvislé a přerušované vytrvalostní testy byly provedeny intenzitou 60% MVK. Testy byly zahájeny akustickým signálem a účastníci testování měli možnost využít vizuální zpětnou vazbu, díky které kontrolovali adekvátnost velikosti síly aplikované na testovací chyt. Pokud velikost síly klesla o 10% na dobu delší než 1 s, byl test automaticky přerušen. Intermitentní test byl proveden za poměru kontrakce/relaxace 8:2 s. Akustický signál stejně jako obrazová informace vyznačovaly začátek a konec každé periody kontrakce/relaxace.

Všechny testy byly provedeny ve stoje, paže zvednutá s mírnou flexí v loketním kloubu, aby simulovala sportovně-specifické podmínky (Baláš, Panáčková, Kodejška, et al., 2014) a bránila hromadění krve (van Beekvelt et al., 2001). Účastníci byli verbálně povzbuzováni k dosažení maximálního výkonu. Všechny popsané testy již prokázaly v předchozích studiích velkou míru reliability (Baláš et al., 2018; Michailov et al., 2018).

Běžecký test

Maximální běžecký výkon byl proveden použitím stupňovaného protokolu na běžeckém ergometru (Quasar, H/P/Cosmos, Německo). Test začal submaximální rychlostí 10 $km \cdot h^{-1}$ a sklonem 0% po dobu 4 min. Po uplynutí této doby začal stupňovaný protokol (zvyšování sklonu každou minutu o 1,5%) trvající do vyčerpání. Všichni účastníci testování dosáhli do konce testu minimálně dvou z následujících kritérií: plató spotřeby kyslíku, RER překročil 1,1 a srdeční frekvence byla vyšší než 90% maximální srdeční frekvence predikované na základě věku.

Lezecký test

Stupňovaný lezecký test do vyčerpání byl realizován na lezeckém ergometru (ClimbStation, 1. generace, Forssa, Finsko) vysokém 3,8 m a pásem dlouhým 6,5 m. S každým otočením pásu bylo provedeno 14 lezeckých kroků. Obtížnost cesty byla ohodnocena stupněm 7 na obtížnostní škále IRCRA při sklonu pásu 0°. Konstantní rychlost pásu 9 $m \cdot min^{-1}$ byla zvolena z důvodu minimálních statických fází během lezení a byla vybrána na základě mnohých předchozích měření lezců různé výkonnostní úrovně, kdy bylo simulováno lezení známé cesty vyvolávající vysokou spotřebu kyslíku (Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018). Stupňovaný test začal ve sklonu 0°, po každé minutě byl pás zastaven na dobu 10 s, během které byl změněn sklon pásu o -5°. Pauza umožňovala lezcům aplikaci magnézia pro vysušení rukou z důvodu lepšího tření při držení chytů. Během pauzy nebylo lezcům umožněno dotknout se země, mohli pouze využít „vyklepávání“ rukou pro rychlejší regeneraci svalů předloktí. Čas pauzy nebyl zahrnut do analýzy výsledků. Test byl ukončen ve chvíli, kdy lezec nebyl schopen pokračovat v lezení.

Blízká infračervená spektroskopie

Spektroskop typu continuous-wave (Portamon, Artinis Medical System, BV, Nizozemsko) byl umístěn na sval FDP dominantní ruky podle Fryera, Stonera, Lucera, et al. (2015). Senzor byl na kůži připevněn pomocí adhezivní pásky a zatemněn bandáží, aby bylo zabráněno ovlivnění měření okolním světlem. Data z měření byla uložena v programu Oxysoft (Artinis Medical Systém, BV, Nizozemsko) k další analýze. Tkáňová saturace kyslíkem (StO_2), deoxy[heme] a total[heme] byly použity ke stanovení kinetiky kyslíku ve svalu během lezeckého testu. Vzhledem k nepravidelnosti intermitentních kontrakcí flexorů prstů během lezení byly naměřené NIRS hodnoty zprůměrovány za periodu 20 s (přibližně 3 pohyby jednou rukou) a podrobeny analýze hemodynamické odpovědi během lezení na ergometru. Zlom svalové oxygenace (muscle oxygen breakpoint, MOB) byl stanoven použitím metody dvojité lineární regrese s jedním inflekčním bodem (Obrázek 8) pro deoxy[heme] (Boone et al., 2016; Wang et al., 2006). Z testu na lezeckém dynamometru byly stanoveny pomocí přednastaveného vzorkování o frekvenci 10 Hz maximální desaturace svalu ($StO_{2\ min}$) a změny v StO_2 během fáze odpočinku v rámci intermitentního testu ($\Delta StO_{2\ relief}$). Reliabilita měření StO_2 v tomto typu nastavení byla již uspokojivě ověřena a chyba měření stanovena (standardní chyba měření: $StO_{2\ min}$ = 7,2%; $\Delta StO_{2\ relief}$ = 1,2%) (Baláš et al., 2018).

Analýza plynů

Spotřeba kyslíku, výdej oxidu uhličitého ($\dot{V}CO_2$), plicní ventilace, dechový objem a dechová frekvence byla měřena pomocí přenosného metabolického analyzátoru (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Německo), analýza dýchacích plynů byla provedena za použití techniky „dech po dechu“. Zařízení bylo umístěno v oblasti hrudníku pomocí pásu (celková váha 1,4 kg). Kalibrace plynů byla provedena pomocí kalibrační směsi (15% O_2 a 5% CO_2) a kalibračního válce dle doporučení výrobce. Měření probíhalo souvisle: 5 min. před testem a v průběhu celého

testu do vyčerpání. Data „dech po dechu“ byla zaznamenávána jako průměry z 10 s intervalu vzorkování a exportována do programu Microsoft Excel k další analýze. Srdeční frekvence byla měřena pomocí hrudního pásu (Polar Electro YO, Finsko) a naměřená data automaticky odesílána do MetaMax 3B.

Z lezeckého testu do vyčerpání byl stanoven GET (gas exchange treshold, někdy také VT1) na základě použití metody dvojité lineární regrese z poměru $\dot{V}E/\dot{V}O_2$, který byl detekován u všech účastníků měření (Obrázek 8). Stanovení prahu na základě poměru $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ nemohlo být použito z důvodu nemožnosti stanovení inflekčního bodu během testu na lezeckém ergometru. Ze stejného důvodu nebyl stanoven RCP (respiratory compensation point, někdy také VT2) pomocí $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$.

Z běžeckého testu do vyčerpání byl stanoven GET použitím poměru $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ a slope method $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$. RCP byl stanoven na základě poměru $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$. Všechny respirační prahy byly nezávisle na sobě stanoveny dvěma zkušenými výzkumníky.

Statistická analýza

Deskriptivní statistika (průměr ± směrodatná odchylka) byla použita pro charakterizování antropometrických, tréninkových a výkonnostních charakteristik všech lezců. Všechna data se vyznačovala rovnoměrným rozložením, homoskedasticitou a stejnou variancí. Rozdíly mezi skupinami lezců byly stanoveny pomocí nezávislého t-testu. Vztah mezi ukazateli vytrvalostního testu a lezeckou zkušeností byly vypočteny použitím Pearsonova korelačního koeficientu. Lineární regrese byla aplikována k výběru proměnných, které nejlépe predikují lezeckou zkušenost. Cohenovo *d* bylo použito ke stanovení velikosti účinku rozdílů mezi zkušenostními skupinami lezců. Statistická významnost byla stanovena na hladině významnosti $P \leq 0,05$.

9.3 Výsledky Studie 3

Ve srovnání s pokročilými lezci byla skupina výkonnostních lezců starší, věnovala se lezení déle, strávila specifickým tréninkem více času, na druhou stranu se věnovala tréninku vytrvalosti v menším rozsahu (Tabulka 16). Výkonnostní lezci měli významně vyšší maximální volní kontrakci flexoru prstů a větší impulz síly v rámci souvislého i intermitentního testu (Tabulka 16). Nebyly shledány rozdíly mezi výkonnostními skupinami lezců ve svalové desaturaci nebo zotavení během testů na lezeckém dynamometru (Tabulka 16). Čas běhu a $\dot{V}O_{2\ peak}$ během testu do vyčerpání na běžeckém ergometru byly podobné mezi výkonnostními skupinami, pouze SF_{peak} byla vyšší u pokročilých lezců ve srovnání s výkonnostními (Tabulka 16).

Během testu do vyčerpání na lezeckém ergometru dosáhli výkonnostní lezci významně vyššího sklonu než pokročilí lezci (vyšší počet změn stupňů převislosti), nicméně obě srovnávané skupiny lezců dosáhly podobných hodnot všech kardiorespiračních a hemodynamických parametrů v rámci maximálního dosaženého sklonu, s výjimkou dechového objemu (Tabulka 16, Obrázek 9). Všichni účastníci studie dosáhli minimálně sklonu -15°, což umožnilo srovnání naměřených submaximálních hodnot mezi skupinami v rámci čtyř časových úseků (0, -5, -10, -15°) (Obrázek 9). Jak systémová ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, SF a DF) tak lokální (StO_2) odpověď byla mezi oběma lezeckými skupinami významně odlišná pro sklony -5° (s výjimkou $\dot{V}E$), -10° a -15° (Obrázek 9).

MOB a GET byly určeny u 18, respektive u 22 účastníků studie. Během testu na lezeckém ergometru MOB předcházel GET o 69 s (95% CI 55,7 – 82,0 s). Systémová odezva byla významně nižší na úrovni MOB ve srovnání s GET ($\Delta\dot{V}O_2$ -0,2 $l \cdot min^{-1}$, $\Delta\dot{V}E$ -8,9 $l \cdot min^{-1}$, ΔSF -4 úderů$\cdot min^{-1}$ a ΔDF -4 dechů$\cdot min^{-1}$). MOB představoval 88±8% a 82±8% hodnot SF_{peak} a $\dot{V}O_{2\ peak}$ naměřených při lezení na lezeckém ergometru. GET bylo dosaženo na úrovni 93±6% a 90±6% hodnot SF_{peak} a $\dot{V}O_{2\ peak}$ naměřených při lezení na lezeckém ergometru (Tabulka 17).

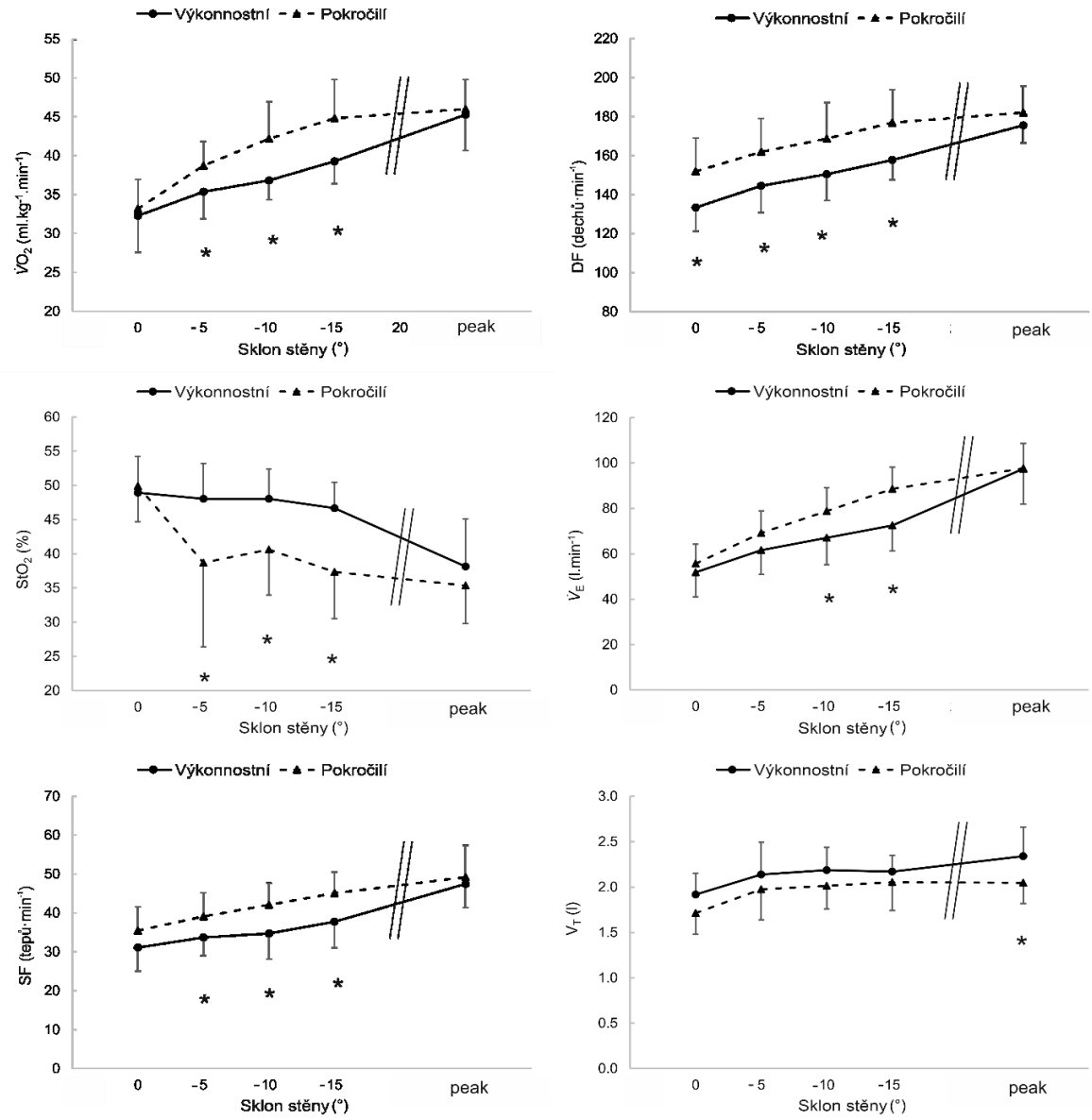
Nebyl shledán žádný vztah (P > 0,05) mezi prahy detekovanými na lezeckém (MOB, GET) a běžeckém ergometru (GET, RCP).

Peakové hodnoty (průměr z intervalu 20 s) naměřené při lezení na lezeckém ergometru byly významně nižší než hodnoty naměřené při testu na běžeckém ergometru: $\Delta\dot{V}O_2$ = -9,6 ml·kg^{-1}·min^{-1} (95% CI -13,0 až -6,0 ml·kg^{-1}·min^{-1}), $\Delta\dot{V}E$ = -52,7 l·min^{-1} (95% CI -64,7 až -40,8 l·min^{-1}), ΔSF -11 úderů·min^{-1} (95% CI -15 až -6), ΔDF = -6 dechů·min^{-1} (95% CI -9 až -3 dechů·min^{-1}), ΔVT = - 0,9 (95% CI -1,2 až -0,7).

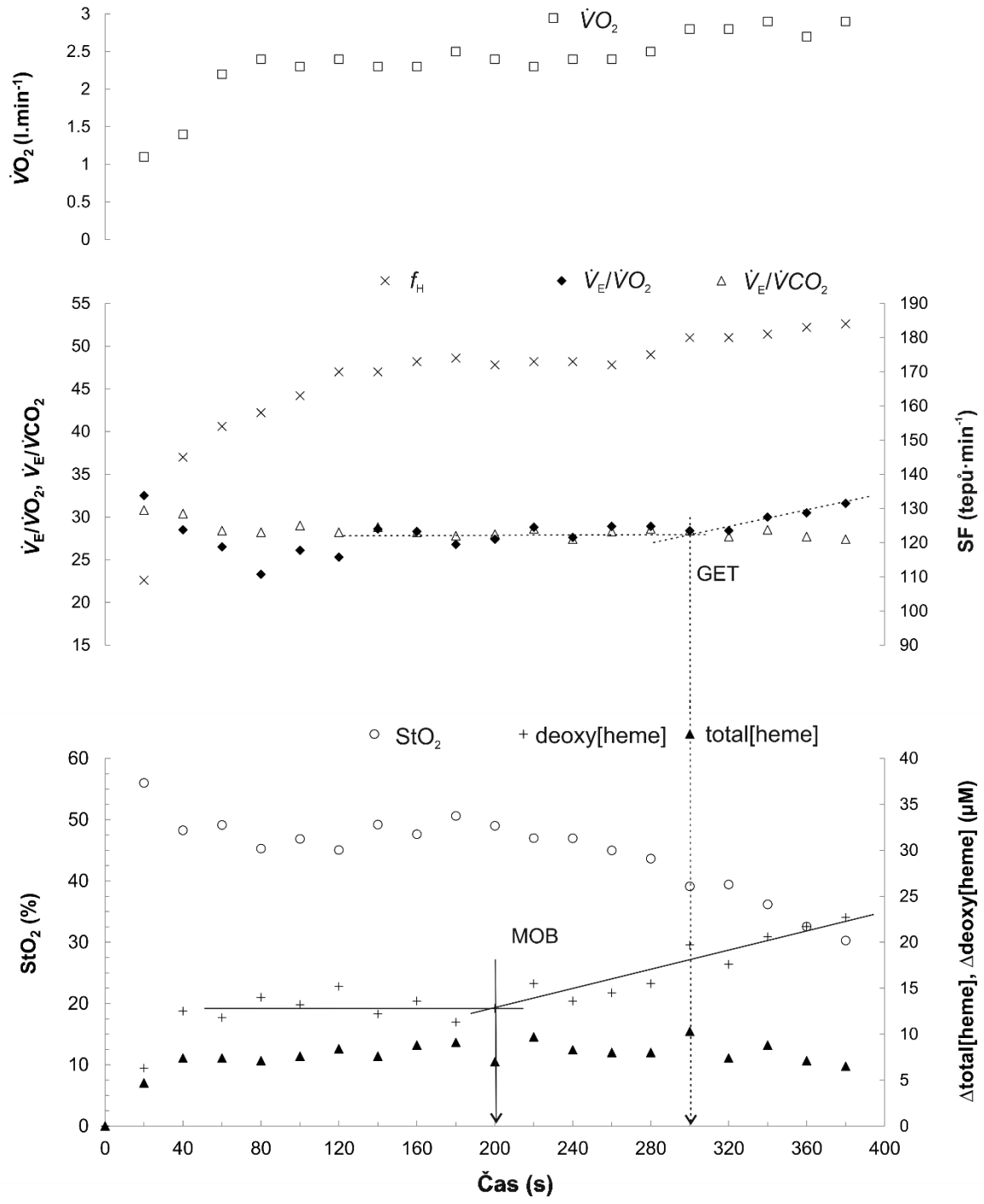
Ze všech ukazatelů vytrvalostních testů měl nejbližší vztah k lezecké výkonnosti největší sklon dosažený při lezení na lezeckém ergometru (R^2 = 0,70). Menší variabilita v lezecké výkonnosti byla vysvětlena pomocí MOB při lezení na lezeckém ergometru a impulzem síly ze souvislého a intermitentního testu na lezeckém dynamometru (R^2 = 0,56, R^2 = 0,56, R^2 = 0,43). Vztah s lezeckou výkonností zůstal těsný dokonce i po použití parciální korelace při kontrole maximální síly flexorů prstů (Tabulka 18). MOB identifikovaný při lezení na lezeckém ergometru byl v nejtěsnějším vztahu s impulzem síly z intermitentního testu na lezeckém dynamometru (R^2 = 0,56), zatímco nebyl shledán vztah s maximální sílou (R^2 = 0,06).

K predikci lezecké výkonnosti byla použita lineární regrese při vyhodnocování dat z testu do vyčerpání na lezeckém ergometru, z intermitentního a souvislého testu na lezeckém dynamometru (Tabulka 18). Tři prediktory z testu do vyčerpání na lezeckém ergometru jsou významné při určování lezecké výkonnosti (R^2 = 0,84): maximální dosažený sklon, systémová $\dot{V}O_2$ naměřená při submaximální zátěži ($\dot{V}O_2$ 10°$_{treadwall}$) a lokální svalová StO_2 naměřená při submaximální zátěži (StO_2 10°$_{treadwall}$). Z důvodu společné linearity (Tabulka 18) byly všechny výkony a proměnné kinetiky kyslíku naměřené při testech na lezeckém dynamometru vyjmuty na základě regresní analýzy.

Obrázek 8 Průměrná (± SD) kardiorespirační odpověď a saturace svalu kyslíkem (StO_2) u flexoru digitorum profundus během stupňovaného testu na lezeckém ergometru u pokročilých a výkonnostních lezců. Všichni účastníci studie dosáhli sklonu 15°. srdeční frekvence (SF), dechová frekvence (DF), dechový objem (VT), minutová ventilace ($\dot{V}E$), spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), respirační výměnný koeficient (RER).
**označuje významné (P < 0,05) rozdíly mezi skupinami při specifickém sklonu trenažeru.*



Obrázek 9 Stanovení muscle oxygen breakpoint (MOB) a gas exchange threshold (GET) během stupňovaného testu na lezeckém ergometru. Total[heme] a deoxy [heme] byly arbitrárně nastaveny na hodnotu nula před zahájením testu po pasivním odpočinku v délce 10 min. Svalová saturace kyslíkem (StO_2), srdeční frekvence (SF), minutová ventilace ($\dot{V}E$), spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), produkce oxidu uhličitého ($\dot{V}CO_2$).



Tabulka 16 Antropometrické, tréninkové a výkonnostní rozdíly mezi pokročilými a výkonnostními lezci. International Rock Climbing Research Association (IRCRA), tkáňová saturace kyslíkem (StO_2), síla (F), spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), respirační poměr (RER), srdeční frekvence (SF), dechová frekvence (DF), dechový objem (VT), minutová ventilace ($\dot{V}E$).

	Výkonnostní (N = 11)	**Pokročilí** (N =11)	**P**	**Cohenovo *d***
Antropometrické a tréninkové charakteristiky				
Věk (roky)	35,5±7,6	27,4±8,2	**0,026**	0,92
Tělesná hmotnost (kg)	70,9±5,3	69,5±6,6	0,599	0,23
Výška (cm)	177,8±6,2	177,5±8,3	0,920	0,04
Lezecká výkonnost (škála IRCRA)	21±2	14±2	**<0,001**	1,70
Lezecké zkušenosti (roky)	14,8±5,9	7,9±5,9	**0,012**	1,03
Vytrvalost z celkového času lezení (%)	38,2±16,6	60,0±27,9	**0,038**	0,87
Lezecky specifický trénink (hodiny/týden)	6,4±3,2	4,2±2,2	0,071	0,77
Lezecký nespecifický trénink (hodiny/týden)	3,2±3,1	3,5±3,7	0,803	0,11
Test na lezeckém dynamometru				
F max (kg) vztažená k tělesné hmotnosti (kg)	0,90±0,10	0,75±0,14	**0,006**	1,10
Impulz souvislé kontrakce (N·s)	21129±4332	13073±2930	**<0,001**	1,47
Čas souvislé kontrakce (s)	56,8±14,6	43,6±10,3	**0,024**	0,94
$StO_{2\ min}$ (%) souvislé kontrakce	32,5±9,0	36,2±8,2	0,315	0,44
Impulz intermitentní kontrakce (N·s)	30958±9790	21207±8438	**0,021**	0,95
Čas intermitentní kontrakce (s)	82,5±30,2	67,5±27,6	0,238	0,51
$StO_{2\ min}$ (%) intermitentní kontrakce	32,4±9,0	31,8±8,4	0,882	0,07
$\Delta\ StO_{2\ relief}$ (%) intermitentní kontrakce	14,4±5,2	13,0±3,4	0,452	0,33
Stupňovaný lezecký test				
Čas (s)	381±59	263±46	**<0,001**	1,48
Sklon (°)	29±5	19±4	**<0,001**	1,46
SF (tepy·min^{-1})	176±9	182±14	0,203	0,55
$\dot{V}O_2$ (ml·min^{-1}·kg^{-1})	45,3±4,6	46,0±3,8	0,690	0,18
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	97,5±15,6	97,7±10,9	0,971	0,02
DF (dechy·min^{-1})	47±6	49±8	0,577	0,25
VT (l)	2.3±0.3	2.0±0.2	**0,022**	0,95
RER	1.07±0.11	1.07±0.07	0,925	0,04
$StO_{2\ min}$ (%)	30.0±7.4	26.7±5.4	0,248	0,50
Stupňovaný běžecký test				
Čas (s)	385±95	434±130	0,329	0,43
Sklon (°)	14±3	15±2	0,591	0,24
SF (tepy·min^{-1})	185±5	196±8	**0,002**	1,23
$\dot{V}O_2$ (ml·min^{-1}.kg^{-1})	53,2±5,7	54,7±7,6	0,594	0,23
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	141,9±29,6	157,9±33,4	0,211	0,54
DF (dechy·min^{-1})	52±8	58±12	0,205	0,55
VT (l)	3,2±0,3	3,1±0,5	0,706	0,17
RER	1,23±0,08	1,26±0,07	0,377	0,39

Tabulka 17 Muscle oxygenation breakpoint (MOB), gas exchange threshold (GET) a jednotlivé hodnoty ze stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém (treadwall) a běžeckém (treadmill) ergometru. Zahrnuti jsou pouze účastníci studie s detekovaným MOB a GET z testu na lezeckém ergometru (N = 18). Tkáňová saturace kyslíkem (StO_2, spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), srdeční frekvence (SF), dechová frekvence (DF), dechový objem (VT), minutová ventilace ($\dot{V}E$).
^ *významné rozdíly (P < 0,05) mezi MOB and GET během lezení na lezeckém ergometru*.

	Treadwall MOB	**Treadwall GET**	**Treadmill GET**	**Treadmill RCP**	**Treadwall MOB (% treadwall peak)**	**Treadwall GET (% treadwall peak)**	**Treadmill GET (% treadmill peak)**	**Treadmill RCP (% treadmill peak)**
Čas (s)	193±78^	262±75	121±86	223±112	57±13%	78±8%	27±14%	52±19%
$StO2_{průměr}$ (%)	45,0±6,1^	39,8±5,8	N/A	N/A	N/A	88±8%	N/A	N/A
SF (tepy·min^{-1})	158±15^	167±13	153±11	168±8	88±8%	93±6%	80±4%	88±2%
$\dot{V}O_2$ (l·min^{-1})	2,6±0,4^	2,8±0,4	2,5±0,4	2,9±0,5	82±8%	90±6%	66±8%	76±6%
$\dot{V}E$ (l·min^{-1})	69,2±12,8^	78,1±12,0	67,2±11,2	84,9±14,4	70±10%	79±9%	46±10%	57±10%
DF (dechy·min^{-1})	37±5^	41,4±6	22±6	34±7#	74±10%	84±10%	58±15%	63±11%
VT (l)	1,9±0,3	1,9±0,3	2,3±0,4	2,5±0,4#	88±12%	88±12%	71±10%	80±10%

Tabulka 18 Vztahy mezi lezeckou zkušeností a vytrvalostním testem flexorů prstů. Pearsonův korelační koeficient (normální font) a parciální korelace s kontrolou maximální síly prstů (*font italic*) jsou znázorněny. Impulz a síla jsou normalizovány k tělesné hmotnosti (kg^{-1}).
** významný vztah na hladině významnosti P < 0,05; ** významný vztah na hladině významnosti P < 0,01.*

	Lezecká zkušenost	**Peakový sklon na treadwallu**	**Treadwall MOB**	**Impulz souvislé kontrakce**	**Impulz intermitentní kontrakce**	**Síla prstů**
Lezecká zkušenost (IRCRA)	1	0,835**	0,752**	0,751**	0,656**	0,552**
Peakový sklon na treadwallu (°)	*0,777***	1	0,812**	0,766**	0,763**	0,518*
Treadwall MOB (°)	*0,786***		1	0,705**	0,748**	0,236
Impulz souvislé kontrakce	*0,646***			1	0,799**	0,485*
($N \cdot s \cdot kg^{-1}$)						
Impulz intermitentní kontrakce	*0,646***				1	0,459*
($N \cdot s \cdot kg^{-1 \cdot}$)						
Síla prstů ($N \cdot kg^{-1}$)						1

Tabulka 19 Vícenásobné regresní modely k predikci lezecké dovednosti ze stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru (treadwall) a testů souvislé a intermitentní kontrakce na lezeckém dynamometru. Pouze tři prediktory ze stupňovaného testu do vyčerpání predikovaly lezeckou dovednost. Saturace kyslíkem (StO_2) flexorů prstů, spotřeba kyslíku ($\dot{V}O_2$), standardizovaný beta koeficient (β), dolní konfidenční interval (LCI), horní konfidenční interval (UCI), standardní chyba měření (SE), International Rock Climbing Research Association (IRCRA).

Model		***β***	***P***	**95% LCI**	**95% UCI**	**"Adjusted" R^2**	**SE (obtížnost IRCRA)**
1	(Konstanta)		0,012	1,544	10,489	0,664	2,3
	Peakový sklon $_{treadwall}$	0,827	0,000	0,310	0,660		
2	(Konstanta)		0,661	-7,471	4,879	0,782	1,8
	Peakový sklon $_{treadwall}$	0,618	0,000	0,198	0,527		
	StO_2 10°$_{treadwall}$	0,410	0,007	0,073	0,392		
3	(Konstanta)		0,058	-0,496	25,584	0,838	1,6
	Peakový sklon $_{treadwall}$	0,479	0,002	0,122	0,440		
	StO_2 10°$_{treadwall}$	0,346	0,010	0,055	0,338		
	VO_2 10°$_{treadwall}$	-0,302	0,026	-0,483	-0,037		

9.4 Diskuze Studie 3

Mezi hlavní zjištění studie patří: (1) MOB a GET byly identifikovatelné během stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru s progresivním nárůstem sklonu. (2) MOB předcházel GET o ~70 s a významně se vztahoval k impulzu síly z intermitentního testu na lezeckém dynamometru. (3) Byl shledán vzájemný vztah mezi testem do vyčerpání na lezeckém ergometru a vytrvalostními testy na lezeckém dynamometru, ačkoliv nejsilnější vztah k lezecké výkonnosti vykazoval maximální sklon dosažený během stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru. (4) Použitím vícenásobné lineární regrese bylo ukázáno, že znalost systémové $\dot{V}O_2$ a lokální StO_2 během submaximálních intenzit v rámci lezení zlepšuje predikci lezecké výkonnosti.

MOB flexorů prstů byl stanoven pomocí inflekčního bodu deoxy[heme] . Předchozí výzkum srovnávající různé proměnné metody NIRS předpokládal, že deoxy[heme] lépe reprezentuje změny ve svalové deoxygenaci a metabolickou dynamiku O_2, zatímco StO_2 může být ovlivněna změnami v perfuzi během cvičení (Wang et al., 2006). Z perspektivy fyziologie, nárůst intenzity při zatížení předloktí stimuluje nábor rychlejších glykolytických motorických jednotek doprovázený výraznější produkcí laktátu a H^+. Nadměrné vyplavování H^+ je pufrováno bikarbonátem, vedoucí k produkci H_2CO_3 a její disociaci na H_2O a CO_2. Tato svalová acidóza urychluje disociaci HbO_2 cestou Bohrova efektu a následně urychluje extrakci kapilárního O_2 (Grassi et al., 1999). Náhlé změny v deoxy[heme] nebo StO_2 jsou spojovány s GET/prvním ventilačním nebo laktátovým prahem (Grassi et al., 1999; Van Der Zwaard et al., 2016; Wang et al., 2006). Kromě toho počátek plató u deoxy[heme] je spojován s kritickým výkonem nebo RCP ve svalech vastus lateralis a medialis, ovšem ne v hlubokých vrstvách svalových vláken svalu rectus femoris (Keir et al., 2015; Okushima et al., 2015). V předkládané studii byl pozorován zlom deoxy[heme], což obecně korespondovalo s náhlým poklesem StO_2

(Obrázek 8). Nebylo pozorováno plató deoxy[heme], což naznačuje, že frakční extrakce O_2 u FDP nedosáhla svého limitu (Boone et al., 2016). Podobné schéma bylo nalezeno pro typicky pomalé motorické jednotky nebo svaly s nízkou aktivací (Chin et al., 2011; Okushima et al., 2015). Je možné, že by jiný důležitý flexor prstů, např. flexor digitorum superficialis, vykazoval odlišnou lokální odpověď O_2. Dále je možné spekulovat, že nepřetržitá reperfuze během fáze zotavení v rámci intermitentních kontrakcí nepovede k plató v extrakci O_2, nýbrž k lokální akumulaci metabolitů, což způsobí selhání svalové práce.

Na systémové úrovni stimuluje přebytek CO_2 a H^+ centrální chemoreceptory, což způsobuje zvýšení $\dot{V}E$ vedoucí k nelineárnímu nárůstu $\dot{V}CO_2$ a $\dot{V}O_2$ (Beaver et al., 1986). U sportů jakým je sportovní lezení se nabízí otázka, do jaké míry lokální izometrické kontrakce mohou stimulovat pulmonální odpověď, při které koncentrace laktátu po vyčerpávajícím výkonu dosahuje hladiny ~5-7 $mmol \cdot l^{-1}$ a systémová acidóza je považována za nízkou (Watts, 2004). Je možné, že pouze zapojením velkých svalových skupin horní poloviny těla při lezení v převislém profilu nebo zapojením dolních končetin ve větší míře při lezení o vyšší rychlosti povede ke kompenzačním změnám ve ventilaci. V předkládané práci byl detekován inflekční bod pro $\dot{V}E/\dot{V}O_2$, ovšem inflekční body pro $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nebo $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ nebyly patrné, na rozdíl od cvičení s rostoucí intenzitou zatěžující celé tělo (Beaver et al., 1986). Ve skutečnosti během lezení na lezeckém ergometru $\dot{V}CO_2$ stoupala lineárně spolu s $\dot{V}E$ až do dosažení peakových hodnot. $\dot{V}E$ při maximálním dosaženém sklonu na lezeckém ergometru byla relativně nízká (~99 $l \cdot min^{-1}$) ve srovnání s peakovými hodnotami v rámci běžeckého výkonu (~150 $l \cdot min^{-1}$), co může souviset s kompresí hrudníku způsobenou aktivitou svalů horní poloviny těla během lezení v převislém profilu. Pokud budeme uvažovat již dříve zmiňované nízké hodnoty systémové acidózy, toto by mohlo vysvětlovat, proč nebyly detekovány změny u $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nebo $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$. Byla shledána vysoká míra vztahu (R^2 = 0,85) mezi MOB a GET během stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru, kdy průměrný posun odpovídal ~70

s (úhel ~10°). Nicméně se zdá, že GET nereflektuje metabolické změny odehrávající se v malých svalech předloktí, které jsou patrné díky lokálnímu MOB. Během lezení do vyčerpání ve vertikálním profilu o nižší rychlosti pohybu nebo při malé převislosti profilu nemusí dojít k dosažení GET, což může souviset s malým zapojením velkých svalových skupin. V důsledku těchto zjištění nedoporučujeme používat GET ke kontrole intenzity lezeckého výkonu.

Průměrný čas potřebný pro vylezení cesty se pohybuje mezi 2 a 7 min. (Michailov, 2014), následkem toho se zvyšuje přispění aerobního metabolismu pro resyntézu ATP (Bertuzzi et al., 2007). Průměrný čas stupňovaného testu na lezeckém ergometru v rámci předkládané studie byl ~5,3 min. a $\dot{V}O_2$ stoupala až do dosažení největšího sklonu. Plató $\dot{V}O_2$ během testu na lezeckém trenažeru nebylo pozorováno, což potvrzuje domněnku, že lokální únava spíše než systémové vyčerpání je limitujícím faktorem lezeckého výkonu. Autoři předchozích studií označují lokální svalovou a systémovou kapacitu kyslíku během lezeckého testu do vyčerpání jako důležité prediktory lezecké výkonnosti a navrhují použít $\dot{V}O_{2peak}$ jako ukazatel specificky lezecké kyslíkové kapacity (Fryer, Giles, Palomino, Puerta, & Romero, 2018; Limonta et al., 2018). Použití $\dot{V}O_{2peak}$ z lezeckého ergometru není podporováno zjištěními předkládané studie, jelikož naměřené hodnoty $\dot{V}O_{2peak}$ nevykazovaly vztah k lezecké výkonnosti. Mohlo by to souviset s relativně omezeným počtem výkonnostních skupin lezců nebo odlišnostmi v použitých protokolech do vyčerpání a jejich lezeckou „specificitou“. Bylo ukázáno, že hodnoty $\dot{V}O_{2peak}$ naměřené během protokolů do vyčerpání s vysokou nebo stoupající rychlostí mají těsný vztah k lezecké zkušenosti, zatímco protokoly s rostoucím sklonem nikoliv (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Booth et al., 1999; España-Romero et al., 2009; Watts & Drobish, 1998). Vyšší rychlost lezení vyvolává větší zapojení svalů dolní poloviny těla, a tak vztah k lezecké zkušenosti je pravděpodobně způsoben lepší koordinací pohybu u výkonnostnějších lezců než vyčerpáním na systémové úrovni (Booth et al., 1999). Vyvstává otázka, jak „lezecky specifické“ jsou testy, které využívají manipulace s rychlostí lezení ke

stanovení lezecké $\dot{V}O_{2peak}$ a jaké protokoly by měly být aplikovány pro stupňované testy na lezeckém ergometru? Budoucí výzkum by mohl zvážit manipulaci s rychlostí a sklonem stěny, kde koordinace pohybu není limitujícím faktorem selhání a jsou přednostně zapojeny svaly horní poloviny těla.

Stanovení oblastí intenzity cvičení, namísto pouze peakových hodnot, na základě výsledků testů do vyčerpání přináší obecně více informací pro preskripci tréninkového zatížení. V rámci lezení se ukázalo jako neefektivní použití tradičních ukazatelů intenzity cvičení, jako jsou koncentrace laktátu a srdeční frekvence (Schöffl, Möckel, et al., 2006; Watts, 2004). Podobně GET nereflektuje žádné metabolické přechodové zóny, jak ukázala předkládaná studie. Nicméně použití NIRS se zdá býti nadějným nástrojem, jelikož bylo zjištěno, že MOB koreluje s některými metabolickými zlomy (Barstow, 2019). V předkládané studii byl MOB identifikován na úrovni 88±8% SF naměřené při lezení na lezeckém ergometru a je možné, že MOB může odpovídat momentu narušení homeostázy ve svalech předloktí a naznačovat přechodnou metabolickou zónu ze stavu rovnovážného do stavu nerovnovážného. Avšak použití jednoho místa ke stanovení přechodné metabolické zóny bylo zpochybněno (Boone et al., 2016). Hodnocení dalších flexorů prstů nebo svalů pletence ramenního může poskytnout dodatečné informace o kinetice lokální svalové $\dot{V}O_2$.

V předkládané studii byl MOB flexoru digitorum profundus ve významném vztahu k lezecké výkonnosti, a pokud nebudeme uvažovat moderující vliv maximální síly prstů, jednalo se o její nejlepší ukazatel ($R^2 = 0,62$). Na rozdíl od toho vysvětlovala maximální síla prstů pouze 30% ($R^2 = 0,30$) variace lezecké výkonnosti. MOB byl také v úzkém vztahu ($R^2 = 0,56$) k impulzu síly z intermitentního testu, což podporuje jeho použití při posuzování aerobní kapacity flexorů prstů (Baláš et al., 2016). Na druhou stranu byl MOB nezávislý na maximální síle prstů ($R^2 = 0,06$), nicméně impulz síly jak ze souvislého tak intermitentního testu na lezeckém dynamometru byl ve významném vztahu k maximální síle prstů ($R^2 = 0,21–0,24$).

Proto MOB stanovený pomocí NIRS se zdá být vhodnějším nástrojem pro vyhodnocení aerobní kapacity flexorů prstů.

Použití systémové $\dot{V}O_2$ se ukázalo jako účinné pro posouzení ekonomiky cvičení a úrovně lezecké výkonnosti během submaximálního zatížení (Baláš, Panáčková, Strejcová, et al., 2014; Bertuzzi et al., 2007; Limonta et al., 2018). Mezi nová zjištění předkládané studie patří skutečnost, podobně jako tomu je u systémové $\dot{V}O_2$, že díky StO_2 flexoru digitorum profundus je možné rozlišovat skupiny pokročilých lezců od výkonnostních. U lezců s nižší výkonnosti byla zjištěna větší počáteční změna u StO_2, zatímco u výkonnostních lezců byl pozorován pozvolnější pokles StO_2, což pravděpodobně souvisí s větší sílou a použitím relativně nižší míry (%) MVK pro udržení chytu, dále také distribuci síly na chytech, jejíž nižší hodnota již byla prokázána u lezců vyšší výkonnosti (lepší ekonomika lezení) (Baláš, Panáčková, Jandová, et al., 2014). U lezců vyšší výkonnosti se předpokládají strukturální a metabolické adaptační změny v důsledku tréninku, které umožňují rychlejší dodávku kyslíku k pracujícím svalům a tedy vyšší úroveň StO_2 při konkrétním zatížení (Thompson et al., 2014). StO_{2min} byla navržena k predikci času do selhání u různých intenzit zatížení během testů visu na liště (Feldmann et al., 2020) a k rozlišování mezi výkonnostními úrovněmi lezců (Fryer, Stoner, Scarrott, et al., 2015). Předkládaná studie nemohla potvrdit tato zjištění, jelikož nebyl shledán vztah mezi StO_{2min} z testu na lezeckém ergometru nebo z testu na lezeckém dynamometru a hodnota StO_{2min} byla podobná pro pokročilé i výkonnostní lezce. Může to mít několik důvodů: 1) u StO_{2min} byla shledána relativně velká chyba měření (Baláš et al., 2018), použití modelu Monte Carlo pro predikci StO_{2min} může poskytnout více konzistentní výsledky (Feldmann et al., 2020); 2) pokročilí lezci se věnovali tréninku vytrvalosti více (Tabulka 16), v důsledku čehož u nich mohlo dojít k adekvátním adaptacím na strukturální a metabolické úrovni vedoucím k nižším hodnotám StO_{2min}, nehledě na výkonnost (Baláš et al., 2016); 3) během testů na lezeckém ergometru a lezeckém dynamometru došlo k aktivaci různých

motorických jednotek; 4) StO_{2min} není senzitivním parametrem s jakýmkoliv stupněm přesnosti pro predikci lezecké zkušenosti. Nicméně průměrná $\dot{V}O_2$ a StO_2 z 3. minuty (10°) společně s maximálním dosaženým sklonem během testu na lezeckém ergometru vysvětlují 84% variance lezecké zkušenosti, což je vysoké číslo, vezmeme-li v potaz, že se testování zúčastnily pouze dvě skupiny různě zkušených lezců. Tato zjištění naznačují, že vyhodnocení submaximální a maximální VO_2 a StO_2 během lezeckého stupňovaného testu do vyčerpání poskytuje dostatečné informace ke stanovení aerobní kapacity u sportovních lezců.

Je třeba zmínit limitace studie. Nebyl proveden test-retest reliability pro MOB a GET. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na ověření konzistentnosti použití inflekčních bodů pro StO_2 a deoxy[heme] během protokolů do vyčerpání na lezeckém ergometru. Předkládaná zjištění se vztahují k technicky velmi jednoduché cestě, lezené danou rychlostí, s chyty podobné velikosti a tvaru, což se může lišit od lezení na skalách. Použití MOB je tedy limitováno pouze na cesty s chyty podobné velikosti a tvaru.

9.5 Závěry Studie 3

Systémová a lokální kinetika kyslíku determinují lezecky specifickou vytrvalost, jejíž úroveň je možno stanovit pomocí stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru a vytrvalostního testu flexorů prstů realizovaného na lezecky specifickém dynamometru. Maximální sklon stěny dosažený při testu do vyčerpání a průměrné hodnoty $\dot{V}O_2$ a StO_2 získané ze submaximálních testů vysvětlují 84% varianci aktuální lezecké výkonnosti, kterou uvedli samotní lezci. Během stupňovaného testu do vyčerpání můžeme také určit MOB. Tato práce nepotvrdila předchozí zjištění, že by byly peakové hodnoty $\dot{V}O_2$ a $StO_{2\ min}$ naměřené při lezení na ergometru vhodnými prediktory lezecké výkonnosti. Bylo také ukázáno, že běžně stanovované kardiorespirační ukazatele, jako SF a $\dot{V}O_2$, nejsou vhodné pro určování tréninkových intenzit u lezení. Podobně je tomu s použitím maximální volní kontrakce jakožto nástroje pro preskripci intenzit vytrvalostního cvičení, jelikož hodnota MOB je nezávislá na hodnotě maximální volní kontrakce.

10 Závěr

Sportovní lezci jsou během výkonu pravidelně vystavováni fyziologickému a psychologickému stresu. Výsledky potvrdily naši Hypotézu 1, a sice že výška představuje významný stresor během výkonu lezení s lanem a to dokonce v případě stylu top-rope, kdy je riziko pádu minimální. Míra vnímané intenzity během lezení vysoko nad zemí byla vyšší pouze u lezců nižší výkonnosti, ačkoliv metabolický stres byl vyšší u všech skupin lezců. Tento fakt má za následek, že je daná zátěž vnímána jako náročnější. Tyto rozdíly mezi zmíněnými podmínkami nebyly ovšem pozorovány u lezců vyšší výkonnostní úrovně. U výkonnostních lezců je RPE vhodným nástrojem pro hodnocení fyziologických nároků při lezení lehké cesty. Se stoupající obtížností výstupu nebo u lezců nižší výkonnosti, stejně jako u pokročilých lezců, bylo shledáno, že RPE podhodnocuje míru SF. Během lezení na stěně vysoko nad zemí dochází u lezců nižší výkonnosti k vyplavování katecholaminů ve větší míře ve srovnání s lezením nízko nad zemí.

Výsledky předkládané práce ukazují, že pokud bychom chtěli analyzovat fyziologickou odpověď na lezení bez vlivu faktorů jako je strach z výšky či z pádu, potom je použití lezeckého ergometru vhodným prostředkem, jelikož představuje analogii k lezení na lezecké stěně. Výhodou lezeckého ergometru je možnost přesně nastavit sklon lezecké cesty a rychlost pohybu. Nicméně musí být bráno v potaz, že lezení na ergometru může vyvolávat systematicky nižší metabolickou odpověď ve srovnání s lezením na stěně. Trenéři by si měli být vědomi doprovázejícími psychofyziologickými nároky při lezení vysoko nad zemí, především u lezců nižší výkonnosti.

Rychlost lezení ovlivňuje systémovou $\dot{V}O_2$, ovšem vliv na StO_2 je podmíněn výkonnostní úrovní daného lezce, na základě čehož musíme konstatovat, že se nepotvrdila Hypotéza 2. Lokální dodávka a utilizace kyslíku ve svalu se zdá být stabilní u výkonnostních

lezců, zatímco u skupin žen a mužů z řad pokročilých lezců docházelo postupně k vyšší utilizaci kyslíku ve svalech flexorů prstů v důsledku rostoucí rychlosti.

Výsledky naší práce ukazují, že lokální spotřeba kyslíku je citlivým ukazatelem schopným rozlišovat mezi pokročilými a výkonnostními lezci. Trenéři mohou aplikovat lezení o vyšší rychlosti jako vhodný nástroj pro rozvoj kardiorespirační zdatnosti. Pro rozvoj lokální aerobní kapacity u výkonnostních lezců se doporučuje k nárůstu intenzity výkonu manipulovat se sklonem stěny či redukovat velikost chytů. Pokročilí lezci mohou stimulovat lokální utilizaci kyslíku pomocí vyšší rychlosti lezení, ačkoliv toto je pravděpodobně spojené také s jejich nedostatečnou koordinací lezeckého pohybu a nadměrným zapojením svalů horní poloviny těla.

Systémová a lokální kinetika kyslíku determinuje lezecky specifickou vytrvalost, jejíž úroveň je možno stanovit pomocí stupňovaného testu do vyčerpání na lezeckém ergometru a vytrvalostního testu flexorů prstů realizovaného na lezecky specifickém dynamometru. Maximální sklon stěny dosažený při testu do vyčerpání a průměrné hodnoty $\dot{V}O_2$ a StO_2 získané ze submaximálních testů vysvětlují 84% rozptylu aktuální lezecké výkonnosti, kterou uvedli samotní lezci. Bylo ukázáno, že běžně stanovované kardiorespirační ukazatele jako SF a $\dot{V}O_2$ nejsou vhodné pro určování tréninkových intenzit u lezení. Podobně je tomu s použitím maximální volní kontrakce jakožto nástroje pro preskripci intenzit vytrvalostního cvičení, jelikož hodnota MOB je nezávislá na hodnotě maximální volní kontrakce.

Ačkoliv bylo možno během testu do vita maxima na lezeckém ergometru stanovit vedle MOB rovněž GET, je jeho využitelnost pro lezení diskutabilní, jelikož neodrážel metabolické změny na lokální úrovni, čímž se potvrdila Hypotéza 3.

Budoucí výzkum v oblasti sportovního lezení by se mohl zaměřit na stanovení kritického výkonu (kritického sklonu stěny). Jelikož se dosavadní sledování hemodynamických změn zaměřilo především na FDP, potom by monitoring ostatních flexorů, ale i extenzorů prstů,

stejně tak svalů pletence ramenního pomocí NIRS mohl poskytnout komplexnější porozumění kinetiky kyslíku v dominantně zatěžovaných svalech během lezeckého výkonu.

11 Literatura

ACSM. (2014). *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription* (9 ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Aras, D., & Akalan, C. (2014). The effect of anxiety about falling on selected physiological parameters with different rope protocols in sport rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *54*(1), 1-8.

Balas, J., Kodejska, J., Krupkova, D., & Giles, D. (2020). Males benefit more from cold water immersion during repeated handgrip contractions than females despite similar oxygen kinetics. *Journal of Physiological Sciences*, *70*(1), Article 13. https://doi.org/10.1186/s12576-020-00742-5

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

Baláš, J., Giles, D., Chrastinová, L., Kárniková, K., Kodejška, J., Hlaváčková, A., Vomáčko, L., & Draper, N. (2017). The effect of potential fall distance on hormonal response in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, *35*(10), 989-994. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1206667

Baláš, J., Kodejška, J., Krupková, D., Hannsmann, J., & Fryer, S. (2018). Reliability of Near-Infrared Spectroscopy for Measuring Intermittent Handgrip Contractions in Sport Climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(2), 494 - 501 s.

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., Mrskoč, J., Panáčková, M., & Draper, N. (2014). Sport-specific finger flexor strength assessment using electronic scales in sport climbers. *Sports Technology*, *7*(3-4), 151-158. https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1012082

Baláš, J., Panáčková, M., Jandová, S., Martin, A. J., Strejcová, B., Vomáčko, L., Charousek, J., Cochrane, D. J., Hamlin, M., & Draper, N. (2014). The effect of climbing ability and slope inclination on vertical foot loading using a novel force sensor instrumentation system. *Journal of Human Kinetics*, *44*(1), 75-81. https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0112

Baláš, J., Panáčková, M., Kodejška, J., Cochrane, D., & 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.

Baláš, J., Panáčková, M., Strejcová, B., Martin, A. J., Cochrane, D., Kaláb, M., Kodejška, J., & Draper, N. (2014). The relationship between climbing ability and physiological responses to rock climbing. *The Scientific World Journal*, 1-6, Article 678387. https://doi.org/10.1155/2014/678387

Barstow, T. J. (2019). Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *Journal of Applied Physiology*, *126*(5), 1360-1376. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00166.2018

Baumgartner, T. A. (2006). Reliability and error of measurement. In T. M. Wood & W. Zhu (Eds.), *Measurement theory and practice in kinesiology*. Human Kinetics.

Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A newmethod for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, *60*(6), 2020-2027.

Bertuzzi, R., Franchini, E., Kokubun, E., & Peduti Dal Molin Kiss, M. A. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(3), 293-300. https://doi.org/10.1007/s00421-007-0501-0

Billat, V., Palleja, P., Charlaix, T., Rizzardo, P., & Janel, N. (1995). Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *35*(1), 20-24.

Boone, J., Vandekerckhove, K., Coomans, I., Prieur, F., & Bourgois, J. G. (2016). An integrated view on the oxygenation responses to incremental exercise at the brain, the locomotor and respiratory muscles. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(11-12), 2085-2102. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3468-x

Booth, J., Marino, F., Hill, C., & Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine*, *33*, 14-18.

Borg, G., Hassmen, P., & Lagerstrom, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *56*(6), 679-685. https://doi.org/10.1007/bf00424810

Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *14*(5), 377-381. https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012

Callender, N. A., Hayes, T. N., & Tiller, N. B. (2021). Cardiorespiratory demands of competitive rock climbing. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, *46*(2), 161-168. https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0566

Celie, B., Boone, J., Van Coster, R., & Bourgois, J. (2012). Reliability of near infrared spectroscopy (NIRS) for measuring forearm oxygenation during incremental handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(6), 2369-2374. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2183-x

Cheng, W. N. K., Hardy, L., & Markland, D. (2009). Toward a three-dimensional conceptualization of performance anxiety: Rationale and initial measurement development. *Psychology of Sport and Exercise*, *10*(2), 271-278. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2008.08.001

Chin, L. M. K., Kowalchuk, J. M., Barstow, T. J., Kondo, N., Amano, T., Shiojiri, T., & Koga, S. (2011). The relationship between muscle deoxygenation and activation in different muscles of the quadriceps during cycle ramp exercise. *Journal of Applied Physiology*, *111*(5), 1259-1265. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01216.2010

Cox, R. H., Martens, M. P., & Russell, W. D. (2003). Measuring anxiety in athletics: The revised competitive state anxiety inventory-2. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *25*(4), 519-533. https://doi.org/10.1123/jsep.25.4.519

Crenshaw, A. G., Elcadi, G. H., Hellstrom, F., & Mathiassen, S. E. (2012). Reliability of near-infrared spectroscopy for measuring forearm and shoulder oxygenation in healthy males and females [Article]. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(7), 2703-2715. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2244-1

de Geus, B., O'Driscoll, S. V., & Meeusen, R. (2006). Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *European Journal of Applied Physiology*, *98*(5), 489-496. https://doi.org/10.1007/s00421-006-0287-5

Dickson, T., Fryer, S., Blackwell, G., Draper, N., & Stoner, L. (2012). Effect of style of ascent on the psychophysiological demands of rock climbing in elite level climbers. *Sports Technology*, *5*(3-4), 111-119. https://doi.org/10.1080/19346182.2012.686504

Dickson, T., Fryer, S., Draper, N., Winter, D., Ellis, G., & Hamlin, M. (2012). Comparison of plasma cortisol sampling sites for rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *52*(6), 688-695.

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. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x

Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Fryer, S., Priestley, S., Winter, D., & Ellis, G. (2011). Self-reported ability assessment in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, *29*(8), 851-858. https://doi.org/10.1080/02640414.2011.565362

Draper, N., Dickson, T., Fryer, S., Blackwell, G., Winter, D., Scarrott, C., & Ellis, G. (2012). Plasma Cortisol Concentrations and Perceived Anxiety in Response to On-Sight Rock Climbing. *International Journal of Sports Medicine*, *33*(1), 13-17. https://doi.org/10.1055/s-0031-1284348

Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F. K., Watts, P. B., Wolf, P., Baláš, J., España-Romero, V., Gonzales, G. B., Fryer, S., Fanchii, M., Vigouroux, L., Seifert, L., Donath, L., Spoerri, M., Bonetti, K., Phillips, K. C., Stöcker, U., Bourassa-Moreau, F., Garrido, I., Drum, S., Beekmeyer, S., Zilterner, J. L., Taylor, N., Beeretz, I., Mally, F., Amca, A. M., Linhart, C., & Ac Abreu, E. (2016). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International Rock Climbing Research Association Position Statement. *Sports Technology*, *8*(3-4), 88-94. https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081

Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C., & Blackwell, G. (2008). Effect of an on-sight lead on the physiological and psychological responses to rock climbing. *Journal of Sports Science & Medicine*, *7*(4), 492-498.

Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C. I., & Blackwell, G. (2010). Physiological and psychological responses to lead and top rope climbing for intermediate rock climbers. *European Journal of Sport Science*, *10*(1), 13-20. https://doi.org/10.1080/17461390903108125

España-Romero, V., Jensen, R. L., Sanchez, X., Ostrowski, M. L., Szekely, J. E., & Watts, P. B. (2012). Physiological responses in rock climbing with repeated ascents over a 10-week period. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(3), 821-828. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2022-0

España-Romero, V., Ortega Porcel, F., Artero, E., Jiménez-Pavón, D., Gutiérrez Sainz, A., Castillo Garzón, M., & Ruiz, J. (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.

Feldmann, A. M., Erlacher, D., Pfister, S., & Lehmann, R. (2020). Muscle oxygen dynamics in elite climbers during finger-hang tests at varying intensities. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 3040. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60029-y

Ferguson, R. A., & Brown, M. D. (1997). Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, *76*(2), 174-180.

Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, *369*(1955), 4577-4590. https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230

Fryer, S. (2013). *Physiological and psychological contributions to on-sight rock climbing, and the haemodynamic responses to sustained and intermittent contractions* University of Canterbury]. Christchurch.

Fryer, S., Dickson, T., Draper, N., Blackwell, G., & Hillier, S. (2013). A psychophysiological comparison of on-sight lead and top rope ascents in advanced rock climbers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *23*(5), 645-650. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01432.x

Fryer, S., Giles, D., Bird, E., Stone, K., Paterson, C., Balas, J., Willems, M. E. T., Potter, J. A., & Perkins, I. C. (2020). New Zealand blackcurrant extract enhances muscle oxygenation during repeated intermittent forearm muscle contractions in advanced and elite rock climbers. *European Journal of Sport Science*. https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1827048

Fryer, S., Giles, D., Palomino, I. G., Puerta, A. d. l. O., & Romero, V. (2018). Hemodynamic and cardiorespiratory predictors of sport rock climbing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *Publish Ahead of Print*.

Fryer, S., Stone, K., Dickson, T., Wilhelmsen, A., Cowen, D., Faulkner, J., Lambrick, D., & Stoner, L. (2019). The effects of 4 weeks normobaric hypoxia training on microvascular responses in the forearm flexor. *Journal of Sports Sciences*, *37*(11), 1235-1241. https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1554177

Fryer, S., Stone, K. J., Sveen, J., Dickson, T., España-Romero, V., Giles, D., Baláš, J., Stoner, L., & Draper, N. (2017). Differences in forearm strength, endurance, and hemodynamic kinetics between male boulderers and lead rock climbers. *European Journal of Sport Science*, *17*(9), 1177-1183. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1353135

Fryer, S., Stoner, L., Dickson, T., Draper, S. B., McCluskey, M. J., Hughes, J. D., How, S. C., & Draper, N. (2015c). Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(6), 1633-1639.

Fryer, S., Stoner, L., Lucero, A., Witter, T., Scarrott, C., Dickson, T., Cole, M., & Draper, N. (2015a). Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *International Journal of Sports Medicine*, *36*(2), 137-142. https://doi.org/10.1055/s-0034-1385887

Fryer, S., Stoner, L., Scarrott, C., Lucero, A., Witter, T., Love, R., Dickson, T., & Draper, N. (2015b). Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, *33*(5), 518-526. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.949828

Fryer, S., Stoner, L., Stone, K., Giles, D., Sveen, J., Garrido, I., & Espana-Romero, V. (2016). Forearm muscle oxidative capacity index predicts sport rock-climbing performance. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(8), 1479-1484. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3403-1

Fuss, F. K., & Niegl, G. (2008). Instrumented climbing holds and performance analysis in sport climbing. *Sports Technology*, *1*(6), 301-313.

Fuss, F. K., Tan, A. M., Pichler, S., Niegl, G., & Weizman, Y. (2020). Heart rate behavior in speed climbing. *Frontiers in Psychology*, *11*, Article 1364. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01364

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/ijspp.2018-0809

Giles, D., Hartley, C., Maslen, H., Hadley, J., Taylor, N., Torr, O., Chidley, J., Randall, T., & Fryer, S. (2020). An all-out test to determine finger flexor critical force in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *Online ahead of print*. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0637

Giles, D., Romero, V. E., Garrido, I., Puerta, A. D., Stone, K., & Fryer, S. (2017). Differences in Oxygenation Kinetics Between the Dominant and Nondominant Flexor Digitorum Profundus in Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(1), 137-139. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0651

Grassi, B., & Quaresima, V. (2016). Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *Journal of Biomedical Optics*, *21*(9), Article 091313. https://doi.org/10.1117/1.jbo.21.9.091313

Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, *87*(1), 348-355.

Guo, F., Wang, Q. F., Liu, Y. L., & Hanson, N. J. (2019). Changes in blood lactate and muscle activation in elite rock climbers during a 15-m speed climb. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(3), 791-800. https://doi.org/10.1007/s00421-018-04070-w

Hall, E. E., Ekkekakis, P., & Petruzzello, S. J. (2005). Is the relationship of RPE to psychological factors intensity-dependent? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*(8), 1365-1373. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000174897.25739.3c

Heil, D. P. (2019). Characterizing steady-state cardiovascular and metabolic responses of recreational climbers during motorized treadmill climbing. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, *8*(1), 58-71. https://doi.org/doi.org/10.26524/ijpefs1918

Hodgson, C. I., Draper, N., McMorris, T., Jones, G., Fryer, S., & Coleman, I. (2009). Perceived anxiety and plasma cortisol concentrations following rock climbing with differing safety rope protocols. *British Journal of Sports Medicine*, *43*(7), 531-535. https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.046011

IFSC. (2020) Rules 2021. 1-89, Event Regulation website. Dostupné z www.ifsc-clombing.org.

Janot, J. M., Steffen, J. P., Porcari, J. P., & Maher, M. A. (2000). Heart rate responses and perceived exertion for beginner and recreational sport climbers during indoor climbing. *Journal of Exercise Physiology Online*, *3*(1).

Keir, D. A., Fontana, F. Y., Robertson, T. C., Murias, J. M., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., & Pogliaghi, S. (2015). Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(9).

Kodejška, J., Michailov, M., & Baláš, J. (2015). Forearm muscle oxygenation during sustained isometric contractions in rock climbers. *Acta Universitatis Carolinae - Kinanthropologica*, *51*(2), 45-55.

La Torre, A., Crespi, D., Serpiello, F. R., & Merati, G. (2009). Heart rate and blood lactate evaluation in bouldering elite athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *49*(1), 19-24.

Limonta, E., Brighenti, A., Rampichini, S., Ce, 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

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.

Mermier, C. M., Robergs, R. A., McMinn, S. M., & Heyward, V. H. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, *31*, 224-228.

Michailov, M. (2014). Workload characteristics, performance limiting factors and methods for strength and endurance training in rock climbing. *Medicina Sportiva*, *18*(3), 97-106. https://doi.org/10.5604/17342260.1120661

Michailov, M., Baláš, J., Tanev, S. K., Andonov, H. S., Kodejška, J., & Brown, L. (2018). Reliability and validity of finger strength and endurance measurements in rock climbing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *89*(2), 246-254. https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1441484

Morgan, W. P. (1973). Psychological factors influencing perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *5*(2), 97-103.

Okushima, D., Poole, D. C., Rossiter, H. B., Barstow, T. J., Kondo, N., Ohmae, E., & Koga, S. (2015). Muscle deoxygenation in the quadriceps during ramp incremental cycling: Deep vs. superficial heterogeneity. *Journal of Applied Physiology*, *119*(11), 1313-1319. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00574.2015

Orth, D., Davids, K., & Seifert, L. (2016). Coordination in Climbing: Effect of Skill, Practice and Constraints Manipulation. *Sports Medicine*, *46*(2), 255-268. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0417-5

Pandolf, K. B., Billings, D. S., Drolet, L. L., Pimental, N. A., & Sawka, M. N. (1984). Differentiated ratings of perceived exertion and various physiological responses during prolonged upper and lower body exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *53*(1), 5-11. https://doi.org/10.1007/bf00964681

Panáčková, M., Baláš, J., & Bunc, V. (2012). Vliv profilu stěny a rychlosti lezení na energetickou náročnost lezení u skupiny rekreačních a výkonnostních lezců. *Česká kinantropologie*, *16*(2), 124-132.

Philippe, M., Wegst, D., Muller, T., Raschner, C., & Burtscher, M. (2012). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(8), 2839-2847. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2260-1

Pijpers, J. R., Oudejans, R. R. D., Bakker, F. C., & Beek, P. J. (2006). The role of anxiety in perceiving and realizing affordances. *Ecological Psychology*, *18*(3), 131-161. https://doi.org/10.1207/s15326969eco1803_1

Robertson, R. J., & Noble, B. J. (1997). Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exerc Sport Sci Rev*, *25*, 407-452.

Rodio, A., Fattorini, L., Rosponi, A., Quattrini, F. M., & Marchetti, M. (2008). Physiological Adaptation in Noncompetitive Rock Climbers: Good for Aerobic Fitness? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(2), 359-364.

Rosponi, A., Schena, F., Leonardi, A., & Tosi, P. (2012). Influence of ascent speed on rock climbing economy. *Sport Sciences for Health*, *7*(2-3), 71-80.

Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(1), 147-155. https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x

Schweizer, A., & Hudek, R. (2011). Kinetics of Crimp and Slope Grip in Rock Climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, *27*(2), 116-121.

Schädle-Schardt, W. (1998). Die zeitliche Gestaltung von Belastung und Entlastung im Wettkampfklettern als Element der Trainingssteuerung. *Leistungssport*, *28*(1), 23-28.

Schöffl, V., Einwag, F., Strecker, W., & Schöffl, I. (2006). Strength measurement and clinical outcome after pulley ruptures in climbers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *38*(4), 637-643. https://doi.org/10.1249/01.ms.0000210199.87328.6a

Schöffl, V., Möckel, F., Köstermeyer, G., Roloff, I., & Küpper, T. (2006). Development of a performance diagnosis of the anearobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *International Journal of Sports Medicine*, *27*, 205-211.

Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, *38*, 355-359.

Sheel, A. W., Seddon, N., Knight, A., McKenzie, D. C., & Warburton, D. E. R. (2003). Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(7), 1225-1231. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000074443.17247.05

Thompson, E., Farrow, L., Hunt, J., Lewis, M., & Ferguson, R. A. (2014). Brachial artery characteristics and micro-vascular filtration capacity in rock climbers. *European Journal of Sport Science*, *15*(4), 296-304. https://doi.org/10.1080/17461391.2014.940560

van Beekvelt, M. C. P., Borghuis, M. S., van Engelen, B. G. M., Wevers, R. A., & Colier, W. (2001). Adipose tissue thickness affects in vivo quantitative near-IR spectroscopy in human skeletal muscle. *Clinical Science*, *101*(1), 21-28. https://doi.org/10.1042/cs20000247

Van Der Zwaard, S., Jaspers, R. T., Blokland, I. J., Achterberg, C., Visser, J. M., Den Uil, A. R., Hofmijster, M. J., Levels, K., Noordhof, D. A., De Haan, A., De Koning, J. J., Van Der Laarse, W. J., & De Ruiter, C. J. (2016). Oxygenation threshold derived from near- Infrared spectroscopy: Reliability and its relationship with the first ventilatory threshold [Article]. *PLoS ONE*, *11*(9), Article e0162914. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162914

Vigouroux, L., & Quaine, F. (2006). Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *Journal of Sports Sciences*, *24*(2), 181-186.

Wang, L. X., Yoshikawa, T., Hara, T., Nakao, H., Suzuki, T., & Fujimoto, S. (2006). Which common NIRS variable reflects muscle estimated lactate threshold most closely? *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, *31*(5), 612-620. https://doi.org/10.1139/h06-069

Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, *91*, 361-372.

Watts, P. B., & Drobish, K. M. (1998). Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *30*, 1118-1122.

Watts, P. B., Newbury, V., & Sulentic, J. (1996). Acute changes in handgrip strength, endurance and blood lactate with sustained sport rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *36*(4), 255-260.

White, D. J., & Olsen, P. D. (2010). A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*(5), 1356-1360.

Åstrand, I., Guharay, A., & Wahren, J. (1968). Circulatory Responses to Arm Exercise with Different Arm Positions. *Journal of Applied Physiology*, *25*(5), 528-&.

12 Přílohy

Příloha 1 – Vyjádření Etické komise

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Fyziologická odezva organismu při sportovním lezení

Forma projektu: výzkumná práce - doktorská práce

Období realizace: březen 2019 – květen 2019

Předkladatel: Mgr. Jan Gajdošík, UK FTVS Laboratoř sportovní motoriky

Hlavní řešitel: Mgr. Jan Gajdošík, UK FTVS Laboratoř sportovní motoriky

Místo výzkumu (pracoviště): Laboratoř sportovní motoriky UK FTVS

Vedoucí práce (v případě studentské práce): doc. Mgr. Jiří Baláš, Ph.D.

Finanční podpora: CŽV 60040011

Popis projektu: Cílem práce je determinovat funkční odezvu sportovního lezení v nesoutěžních podmínkách u mladých dospělých. Celkový soubor bude činit cca 30 dospělých. K hodnocení funkční odezvy bude použito neinvazivních technik analýzy výdechových plynů, spektroskopie a měřiče tepové frekvence. Cílem studie je stanovit fyziologickou odezvu dospělých při lezení, stanovit critical power, stanovit průběh oxidace sledovaných svalů, stanovit kritické prahy během lezecké zátěže (treshold, breakpoint). Bude se jednat o čtyři testy do vita maxima na lezeckém ergometru, dva testy na lezeckém dynamometru a jeden test do vita maxima na běžeckém ergometru.
Charakteristika účastníků výzkumu: Výzkum bude prováděn na dospělých (18-45). Mezi účastníky výzkumu budou pokročilí lezci. Do souboru budou zařazení pouze účastníci bez zdravotních omezení a bez předchozích zranění, které by mohly ovlivnit výsledky měření. Předpokládáme platnou lékařskou prohlídku u všech zúčastněných. Kontraindikace: hypertenze, akutní onemocnění či úraz a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.
Zajištění bezpečnosti: Neinvazivní metody: analýze výdechových plynů, spektroskopie. Bezpečnost účastníků bude v gesci kvalifikovaných instruktorů a hlavního řešitele. Měření bude probíhat na speciálním lezeckém dynamometru 1d-sac a lezeckém trenažéru ClimbStation, účastníci studie budou lézt pouze nad certifikovanou dopadovou matrací. Před vlastním měřením bude lezecký trenažér zkontrolován kvalifikovanou osobou. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávána rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu.
Etické aspekty výzkumu: Všichni účastníci budou seznámeni s cílem dané studie a budou poučeni o případných rizicích testování. Všichni zúčastnění budou vstupovat do studie z vlastního dobrovolného rozhodnutí a budou moci kdykoli ze studie odstoupit. Bude požadován písemný souhlas každého účastníka. Získaná data budou zpracovávána a bezpečně uchovaná v anonymní podobě a publikovaná v odborných časopisech, monografiích a na konferencích, případně budou využitá při další výzkumné práci na UK FTVS. Po anonymizaci budou osobní data smazána. Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani videozáznam. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.
Text informovaného souhlasu: přiložen

Povinností **všech účastníků výzkumu na straně řešitele** je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.
Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 26. 2. 2019 Podpis předkladatele: [signature]

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: **Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.
Členové: prof. PhDr. Pavel Slepička, DrSc.
doc. MUDr. Jan Heller, CSc.
PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.
Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.
MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 061/2019

dne: 27. 2. 2019

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodní směrnicemi pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise.

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
José Martího 31, 162 52, Praha 6
– 20 –

razítko UK FTVS

[signature]
podpis předsedkyně EK UK FTVS

Příloha 2 – Informovaný souhlas

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv,zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy *(jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné),* Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu v rámci doktorské práce na UK FTVS s názvem Fyziologická odezva organismu při sportovním lezení prováděné na UK FTVS - Laboratoř sportovní motoriky.

Projekt je financován v rámci CŽV 6004001.

Cílem studie je stanovit fyziologickou odezvu při sportovní lezení.
K hodnocení funkční odezvy bude použito neinvazivních technik analýza výdechových plynů a spektroskopie.
Každý z Vás absolvuje tři návštěvy Laboratoře sportovní motoriky ve třech dnech, jednotlivé návštěvy bude od sebe dělit minimálně 48 hodin, jedno měření bude trvat přibližně 60 minut, neinvazivní metody: analýza výdechových plynů a spektroskopie. Vaše bezpečnost bude zajištěna kvalifikovanými instruktory. Veškerá měření budou probíhat na speciálním dynamometru 1d-sac a na lezeckém trenažéru ClimbStation nad certifikovanou dopadovou matrací. Před vlastním měřením bude lezecký trenažér zkontrolován kvalifikovanou osobou. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávána rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Testování se nezúčastní osoby s hypertenzí, s akutním onemocněním či v úrazu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.
Projekt by měl přinést odpověď na otázku, zda je možné stanovit kritické prahy během lezecké zátěže, zda je možné stanovit critical power, zda je možné sledovat intenzitu výkonu během samotného lezeckého výkonu.
Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocená.
S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit v disertační práci nebo na e-mail adrese: jan.gajdosik2@gmail.com
Získaná data budou zpracovávána a bezpečně uchovaná v anonymní podobě a publikovaná v odborných časopisech, monografiích a na konferencích, případně budou využitá při další výzkumné práci na UK FTVS. Po anonymizaci budou osobní data smazána. Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani videozáznam.
v maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Mgr. Jan Gajdošík Podpis:……

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení .....Podpis

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a)možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že mám platnou zdravotní prohlídku.** Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu.

Místo, datum .....

Jméno a příjmení účastníka .....Podpis: .....