

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

## **Vliv lezecké výkonnosti na energetickou náročnost lezení**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Jiří Baláš, Ph.D.**

Vypracoval:

**Jan Kodejška**

Praha, srpen 2012

### **Prohlášení**

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

V Praze, dne

.....

Podpis

.....

## Evidenční list

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

Jméno a příjmení:      Fakulta / katedra:      Datum vypůjčení:      Podpis:

---

## **Poděkování**

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

## **Abstrakt**

Cílem práce bylo posoudit vztah mezi lezeckou výkonností a energetickou náročností při lezení prostřednictvím specifického submaximálního testu.

Výzkumný soubor se skládal z dvaceti šesti lezců (věk  $26,8 \pm 3,3$  roku, tělesná hmotnost  $70,6 \pm 6,2$  kg, výška  $177,6 \pm 6,5$  cm). Lezci byli záměrně vybráni tak, aby jejich výkonnost pokryla co nejvíce celou stupnici obtížnosti UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme). Výkonnost lezců byla dána aktuálně nejvyšším přelezem ve stylu RP (Red point). Výkonnost lezců se pohybovala v rozsahu od 4 do 10 stupně UIAA.

Lezci byli podrobeni submaximálnímu lezeckému testu, který trval 3 minuty v jednom sklonu. Pohybovali se konstantní rychlostí  $25 \text{ kroků} \cdot \text{min}^{-1}$  po lezecké cestě, kterou již předem znali, přičemž sklon se po 3 minutách změnil z  $90^\circ$  na  $105^\circ$ .

$\text{VO}_2$  (spotřeba kyslíku), SF (srdeční frekvence) a  $V_E$  (minutová ventilace) znatelně korelují s lezeckou výkonností RP ( $90^\circ$ ,  $\text{VO}_2$ ,  $r = -0,82$ ; SF,  $r = -0,66$ ,  $V_E$ ,  $r = -0,77$ ;  $105^\circ$ ,  $\text{VO}_2$ ,  $r = -0,84$ ; SF,  $r = -0,78$ ;  $V_E$ ,  $r = -0,80$ ). Dechová frekvence během submaximálního lezení se pohybovala okolo  $25 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$ , což poukazuje na souvislost s lezeckou rychlostí.  $\text{VO}_2$  během submaximálního lezení lze využít pro hodnocení ekonomiky pohybu.

## **Klíčová slova**

sportovní lezení, submaximální test, spotřeba kyslíku

## **Abstract**

The aim of the study was to evaluate the relation between climbing performance and energy demands while climbing through a specific submaximal test.

The sample consisted of twenty-six climbers (age  $26,8 \pm 3,3$  years, weight  $70,6 \pm 6,2$  kg, height  $177,6 \pm 6,5$  cm). Climbers were deliberately chosen so that their performance covers as much scale difficulty of UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme) as possible. The performance was given by the climbers currently the highest ascent in the style of RP (Red Point). Performance of these climbers ranged between 4 to 10 degrees UIAA.

Climbers were subjected to submaximal climbing test, which lasted three minutes in one slope. They moved at a constant speed of 25 movements.  $\text{min}^{-1}$  on climbing route, already known in advance, the slope after 3 minutes changed from  $90^\circ$  to  $105^\circ$ .

$\text{VO}_2$  (oxygen consumption), SF (heart rate) and  $V_E$  (minute ventilation) significantly correlated with climbing performance of RP ( $90^\circ$ ,  $\text{VO}_2$ ,  $r = -0,82$ ; SF,  $r = -0,66$ ,  $V_E$ ,  $r = -0,77$ ;  $105^\circ$ ,  $\text{VO}_2$ ,  $r = -0,84$ ; SF,  $r = -0,78$ ;  $V_E$ ,  $r = -0,80$ ). Respiratory rate during submaximal climb was about 25 breaths.  $\text{min}^{-1}$ , which refers to a link with a climbing speed.  $\text{VO}_2$  during submaximal climbing can be used to evaluate the economy of movement.

## **Keywords**

sport climbing, submaximal test, oxygen uptake

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Teoretická východiska .....	9
2.1	Sportovní lezení .....	9
2.1.1	Hodnocení výkonu ve sportovním lezení .....	10
2.1.2	Výkon ve sportovním lezení a jeho struktura .....	12
2.2	Fyziologické aspekty sportovního lezení .....	21
2.2.1	Srdeční frekvence .....	21
2.2.2	Spotřeba kyslíku .....	21
2.2.3	Krevní laktát .....	23
2.3	Energetické metabolismy a energetická náročnost .....	24
2.3.1	Rychlost .....	26
2.3.2	Sklon .....	26
2.3.3	Výkonnost .....	27
3	Cíl práce .....	28
4	Hypotéza .....	28
5	Úkoly práce .....	28
6	Metodika .....	29
6.1	Soubor .....	29
6.2	Realizace měření .....	29
6.3	Použité metody .....	30
6.4	Vyhodnocení výsledků .....	30
7	Výsledky .....	31
8	Diskuze .....	35
9	Závěr .....	37
10	Použitá literatura .....	38

## 1 Úvod

Během posledních let dochází k velkému nárůstu zájemců o sportovní lezení, což se odráží i v rostoucí výkonnosti lezců. Mnohé výzkumy prokázaly, že lezení dokáže kvalitně nahradit ostatní aerobní aktivity. Velká část lezecké populace tuto aktivitu provozuje jako rekreační záležitost. Z tohoto důvodu je důležité sledovat energetický výdej lezení a to nejen u vrcholových sportovců.

Zvyšováním sportovní výkonnosti ve sportovním lezení se zvyšuje obtížnost cest, které dokáže lezec překonat. Dochází tak k jisté adaptaci organismu. Tato adaptace se zajisté bude promítat i do energetického výdeje lezce. Lezci na různých výkonnostních úrovních budou potřebovat k tomu, aby se rozvíjeli rozdílné tréninkové zatížení. Z tohoto důvodu je cílem této práce zjistit jak se liší energetický výdej sportovních lezců na různých výkonnostních úrovních, aby bylo možné posoudit vztah mezi lezeckou výkonností a energetickou náročností lezení.



## 2 Teoretická východiska

### 2.1 Sportovní lezení

Z tradičního horolezectví se postupným vývojem vyčlenilo mnoho disciplín. Jednu samostatně vyčleněnou disciplínu představuje sportovní lezení, které je jedním z velmi přitažlivých a dynamicky rozvíjejících se sportů dnešní doby. Sportovní lezení má jako každá disciplína svá pravidla. Jak píše Procházka, Procházka, Rotman a Novák (1990) nejdůležitější je pravidlo, které poukazuje na to, že lezecký výkon má být vykonán pouze vlastní silou a umělé pomůcky mají sloužit pouze k zajištění proti pádu, nikoliv k postupu. Sportovní lezení zahrnuje celou řadu disciplín, které svým uživatelům zprostředkovávají intenzivní zážitky a rozvoj kondičních i psychických schopností.

Mezi disciplíny sportovního lezení patří lezení na obtížnost, lezení na rychlost a bouldering. Při lezení na obtížnost lezci překonávají co nejtěžší neznámou cestu, zatímco při lezení na rychlost lezci usilují o co nejrychlejší překonání cesty, kterou předem znají. Velmi oblíbenou disciplínou je bouldering, který je charakterizován přelézáním velmi obtížných míst nízko nad zemí.

Sportovní lezení se provozuje jak na umělých stěnách, tak v přírodních terénech. K postupu po skále se používají nerovnosti skalního reliéfu, chyty pro ruce a stupy pro nohy. Pro zajištění bezpečnosti slouží lezcům k jištění předem osazené jištění. Pády jsou při provozování tohoto sportu běžné, ale díky používaným materiálům a předem osazeným jištěním, je riziko zranění velmi malé. Všechny disciplíny sportovního lezení mají společný základ a to je překonávání gravitace, která představuje neoblomného rozhodčího v cestě za vytyčeným cílem.

Lezecký pohyb je charakterizován svalovým úsilím, při kterém dochází k opakovaným izometrickým kontrakcím (Giles, Rhodes, & Tauton, 2006). Statické pozice jsou velkou součástí lezeckého pohybu. Na základě analýzy lezeckého pohybu z videozáznamu dospěli Billat et al. (1995) a Watts (2004) k závěru, že při lezení cesty je kolem 30 – 50 % času potřebného k překonání cesty využito pro

statické pozice. V těchto statických pozicích lezec odpočívá, načítá si další postup v cestě, nebo si dehydratuje ruce magnéziem.

Mermier et al. (1997) a Rodio et al. (2008) uvádějí, že lezení je dobré pro celkovou aerobní zdatnost. Průměrný výdej energie při lezení je podobný jako při běhu rychlostí 9-12km/h (Mermier et al., 1997). Rodio et al. (2008) tvrdí, že průměrný energetický výdej při lezení je za 1 minutu 9,8 kcal pro lezce s hmotností 70kg a průměrná doba lezení pro daný výzkumný soubor nesoutěžních lezců byla 150 min za týden. Z těchto dat vyplývá, že celkový energetický výdej nesoutěžních lezců je kolem 1000 – 1500 kcal za týden, což je typické pro aerobní aktivity.

S rozvojem soutěžního lezení došlo i k velkému rozvoji umělých stěn. Umělé stěny jsou ideálním prostředím pro trénink lezců. K hlavním výhodám umělých stěn patří vysoká bezpečnost a možnost rychlé přestavby cest. Vrcholové závody se už konají jenom na umělých stěnách

### **2.1.1 Hodnocení výkonu ve sportovním lezení**

Aby bylo možno porovnávat lezecké výkony a poměřovat tak lezeckou výkonnost byla zavedena klasifikace obtížnosti výstupu. Dnes mezi nejrozšířenější stupnice obtížnosti patří UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme), která je složena z hodnot 1 (nejlehčí) – 12 (nejtěžší) s mezistupni + a – pro ještě jemnější rozlišení. Kromě této stupnice, se ještě velmi často používá stupnice francouzská a americká (Tabulka 1). Klasifikaci cesty obvykle provádí její stavitel a poté je často konzultováno s ostatními lezci, proto se nelze vyhnout námitce, že hodnocení každé cesty z hlediska obtížnosti je zatíženo mírou subjektivity.

Pro posouzení výkonnosti je ještě důležitý styl výstupu. Mezi nejčastěji používané styly výstupu patří OS (On sight), RP (Red point) a PP (Pink point). OS je nejčistší styl výstupu, při kterém lezec překonal cestu bez pádu, bez odpočívání a bez předchozího nacvičování. RP styl poukazuje na to, že cestu lezec nacvičoval a poté přešel bez pádu a odpočívání se zapínáním postupového jištění. PP styl výstupu má stejný charakter jako RP, ale lezec měl při přeletu již předem připravené postupové jištění.

**Tabulka 1** – Porovnání klasifikačních stupnic v lezení (Vomáčko & Boštíková, 2008)

<b>UIAA</b>	<b>FRA</b>	<b>USA</b>
3	3	5.0
3+	3+	5.1
4-		5.2
4	4a	5.3
4+	4b	5.4
5-		5.5
5	4c	5.6
5+	5a	5.7
6-	5b	5.8
6	5c	5.9
6+	5c+	5.10a
6+/7-	6a	
7-	6a+	5.10b
7-/7	6a+/6b	
7	6b	5.10c
7/7+	6b/6b+	
7+	6b+	5.10d
7+/8-	6c	5.11a
8-	6c/6c+	5.11b
8-/8	6c+	5.11c
8	7a	5.11d
8/8+	7a/7a+	
8+	7a+	5.12a
8+/9-	7b	5.12b
9-	7b+	5.12c
9-/9	7b+/7c	
9	7c	5.12d
9/9+	7c/7c+	
9+	7c+	5.13a
9+/10-	8a	5.13b
10-	8a+	5.13c
10-/10	8a+/8b	
10	8b	5.13d
10/10+	8b/8b+	
10+	8b+	5.14a
10+/11-	8b+/8c	5.14b
11-	8c	5.14c
11-/11	8c+	
11	9a	5.14d
11/11+	9a/9a+	
11+	9a+	5.15a
11+/12-	9a+/9b	
12-	9b	5.15b

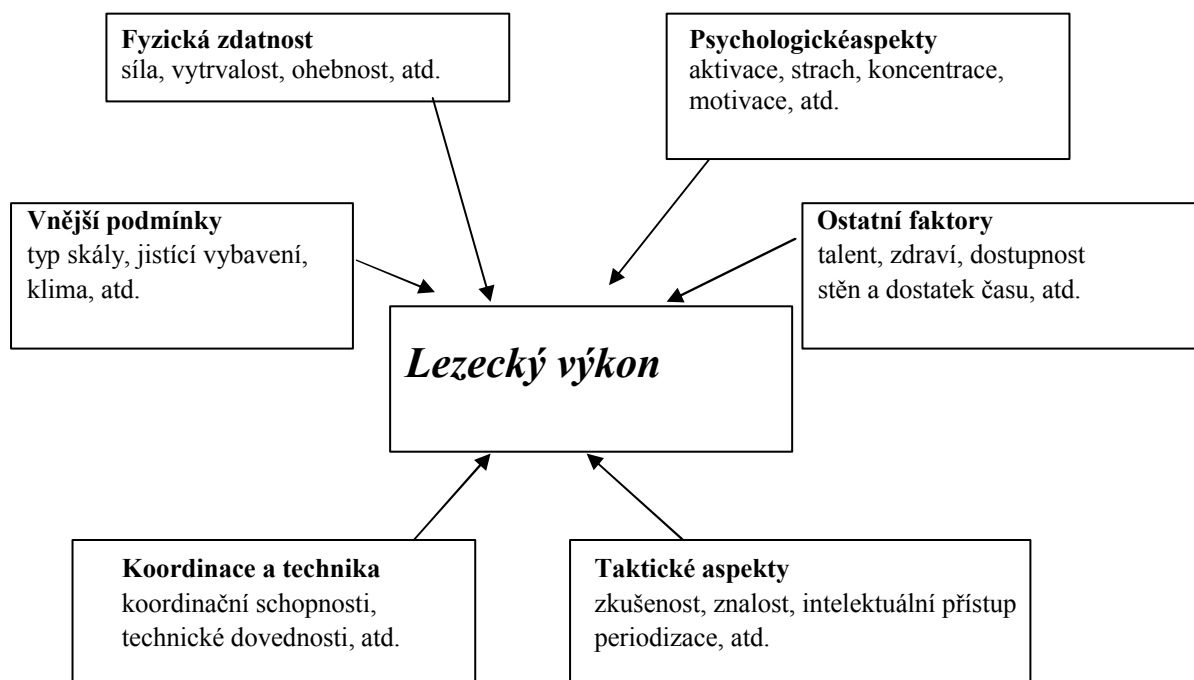
### 2.1.2 Výkon ve sportovním lezení a jeho struktura

S velkým rozvojem sportovního lezení se pochopitelně zvětšuje i počet uživatelů, kteří tuto aktivitu provozují. Do sportovního lezení se dostává více finančních prostředků, a proto se v mnohých směrech lezení velmi rychle rozvíjí. Vrcholoví lezci posunují hranice obtížnosti, jež jim umožňují nové materiály a nové poznatky z rozsáhlých výzkumů zaměřujících se na jednotlivé faktory výkonnosti ovlivňující sportovní lezení.

„Sportovní výkon jako cíl sportovního tréninku a současně i jeho prostředek odráží celkovou úroveň speciální a všeobecné připravenosti sportovce. Vyjadřuje se v něm prostřednictvím pohybové činnosti míra vrozených i získaných dispozic jedince, které podmiňují a umožňují provedení sportovní činnosti na vysoké úrovni. Sportovním výkonem označujeme průběh i výsledek dané činnosti. Sportovní výkonností se rozumí schopnost opakovaně podávat sportovní výkon na poměrně stabilní úrovni“ (Choutka & Dovalil, 1982, p. 29).

Struktura lezeckého výkonu je složité spojení mnoha faktorů, které se vzájemně prolínají a utváří určitým poměrem sportovní výkon. Obecně strukturu sportovního výkonu popisuje Choutka a Dovalil (1982). Rozdělují strukturu sportovního výkonu na faktory somatické, kondiční, osobnostní, taktiky a techniky.

Z pohledu lezeckého popisuje strukturu lezeckého výkonu Goddard a Neuman (1993). Rozdělují lezecký výkon na složky fyzické zdatnosti, psychologické, technické a koordinační, taktické, ostatní faktory a vnější podmínky. Autoři mezi všemi složkami výkonu upozorňují na složku psychickou, která je pro lezení velmi důležitá právě proto, že je lezecký výkon velmi ovlivňován strachem. Jak je vidět dělení struktury výkonu je opravdu komplexní. Autoři nenápadně zahrnují do ostatních faktorů výkonu i dostupnost, ačkoliv se toto slovíčko zdá nevýznamné je skoro pravidlem, že většina významných horolezců žila blízko významných horolezeckých oblastí. Dále se v textu zaměříme pouze na faktory, které souvisejí s fyziologickým tématem této práce.



**Obrázek 1** – Struktura lezeckého výkonu (Goddard & Neuman, 1993)

### ***2.1.2.1 Somatické faktory***

Tělesným složením a antropometrickým měřením lezců se zabývali Grant et al. (1996), Watts (2004), Giles et al. (2006). Grant et al. (1996) ve své studii sledoval celkem 30 probandů, kteří byli rozděleni do 3 skupin. První skupina se skládala z 10 elitních lezců, druhou skupinu tvořilo 10 rekreačních lezců a třetí skupinu tvořilo 10 nelezců. Z jeho výzkumu vyplývá, že, hmotnost ani procentuální zastoupení tuku se u žádné z těchto tří skupin příliš nelišila. Tento fakt je v rozporu s Wattsem (2004) a Gilesovou et al. (2006), jež srovnávaly řadu studií, a dospěli k závěru, že lezci jsou charakterizováni menší postavou a nižším zastoupením tělesného tuku. Měření, které prováděl Grant et al. (1996) bylo, ale pravděpodobně zatíženo chybou, která vznikla tím, že měření probíhalo období od ledna do března, kdy lezci obecně nabírají hmotu. Obecně lze tedy na základě srovnání řady výzkumů, jež provedli Watts (2004) a Giles et al. (2006) konstatovat, že pro vrcholové lezce je charakteristická menší postava, s nižší tělesnou hmotností. Bertuzzi (2007) uvádí hmotnost vrcholových lezců  $62,4 \pm 3,3\text{kg}$ . Svalová hmota je soustředěna především na horní část těla a lezci tak vynikají velkou relativní silou horní části těla vzhledem k tělesné hmotnosti. Lezci se odlišují od běžné populace nižším zastoupením tuku v tělesném složení, které může u elitních lezců dosahovat v soutěžním období až hodnot pohybujících se kolem 5%. Baláš, Pecha, Martin a Cochrane (2012) provedli měření na 205 sportovních lezcích a zjistili, že zastoupení tuku v tělesném složení klesá se stoupající výkonností. Tento jev platil pro obě pohlaví. Somatotypy lezců sledoval Vomáčko (2008) a zjistil, že nejčastější je pro mužskou lezeckou populaci somatotyp ektomorfní-mezomorf (263) a pro ženskou část populace vyrovnaný-mezomorf (353).

### **2.1.2.2 Kondiční faktory ve sportovním lezení**

Kondiční faktory zahrnují pohybové schopnosti, které jsou pro lezce poměrně stálé a obvykle dobře trénovatelné. K nejdůležitějším obecně uznávaným schopnostem pro sportovní lezení patří vytrvalost, silová vytrvalost, maximální síla, rovnováha a pohyblivost.

#### **2.1.2.2.1 Vytrvalostní schopnosti**

Vytrvalostní schopnost nám umožňuje vykonávat lezení nízké intenzity i po velmi dlouho dobu. Lokální vytrvalost má za následek zvýšenou kapilarizaci svalů předloktí a tudíž lepší zásobení svalů krví a kyslíkem, tím dochází k oddálení únavy a zvyšuje se rychlost regenerace. Vytrvalost v lezení nezahrnuje, ale jen lokální vytrvalost svalů předloktí. Z výzkumů Billatové et al. (1995) a Bertuzziho (2007), které pracovaly s ukazatelem obecné aerobní zdatnosti  $VO_2\max$  (maximální spotřeba kyslíku), vyplývá, že se zvyšujícím se výkonem stoupá do určité míry i poptávka těla po kyslíku. Z toho vyplývá, že vyšší úroveň obecné vytrvalostní schopnosti je pro lezce výhodou.

#### **2.1.2.2.2 Silové schopnosti**

Sportovní lezení zahrnuje mnoho silových schopností, které mohou být popsány z různých hledisek. V této práci se zaměříme na nejdůležitější a nejčastěji popisované silové schopnosti.

##### **2.1.2.2.2.1 Maximální síla**

Maximální síla je v lezení chápána jako soubor silových schopností pomáhajících vykonávat dynamické pohyby, ale i statické výdrže, které kladou extrémní nároky na silový projev. V lezení je maximální síla spojena převážně s flexory předloktí. V lezení tato schopnost využívá anaerobního alaktátového systému, proto může trvat jen několik málo sekund, než je energie vyčerpána. Velikost této síly je dána velikostí svalu a schopností maximálního zapojení svalových vláken do svalové kontrakce (Goddard & Neuman, 1993). Oproti jiným sportům není v lezení žádoucí příliš velký nárůst svalové hmoty, z toho důvodu, že nosnost šlach je omezena. Proto je v lezení žádoucí vylepšovat silový projev lepší koordinací svalů a zároveň také větším zapojením svalových vláken do svalové kontrakce, jako se tomu děje právě v tréninku maximální síly.

Maximální síla hraje důležitou roli ve výkonnosti sportovního lezce, ukazují to studie, které provedli Giles et al. (2006), Watts (2004), Baláš et al. (2012), Vigoroux a Quaine (2006) a další. Všichni tito autoři poukazují na maximální sílu stisku jako na důležitý předpoklad lezeckého výkonu.

Baláš et al. (2012) prováděli několik testů na celkem 205 lezcích. Při testování maximální volní kontrakce (MVC) pomocí handgripu, kde se ukazuje především maximální volní síla flexorů předloktí, zjistili, že výsledek tohoto testu v závislosti na hmotnosti lezce vykazuje vysokou korelaci (0,65) s lezeckou výkonností RP.

Vigoroux a Quaine (2006) testovali MVC u elitních lezců a nelezců. Autoři došli k závěru, že MVC je u lezců znatelně vyšší (elitní lezci, 412,3 + 40,9 N; nelezci, 361,6 + 52,1 N). Nicméně nevztahovali MVC k váze lezců, což jejich závěry velmi omezuje.

#### ***2.1.2.2.2 Silová vytrvalost***

Další schopností, která má hybridní charakter je schopnost silově vytrvalostní. Uplatňuje se k silovému překonávání odporu, aniž by došlo k poklesu efektivity pracovní činnosti. Tato schopnost těsně souvisí s lokální vytrvalostí svalů předloktí. Jak píše Hörst (2008) tato schopnost se projevuje prací svalů v laktátové zóně. Je však zřejmé, že játra nezvládají vzniklé vedlejší produkty zpracovat. Z tohoto důvodu vrůstá koncentrace laktátu natolik, že laktát vyvolá změny ve tkáních a pracující sval selže.

Goddard a Neuman (1993) popisují, že při lezení cest, které potřebují přibližně 50% a více maximální volní kontrakce dochází k tomu, že sval uzavírá kapiláry, které ho zásobují. Pokud dojde k úplnému uzavření kapilár, není možné resyntetizovat ATP jen aerobně, protože do svalu se nedostává žádný kyslík. Z tohoto důvodu se ve svalu hromadí laktát a sval se rychle unavuje. Pokud není sval uvolněn, nebo neklesne maximální volní kontrakce přibližně pod 50%, nepřichází do svalu žádná krev. Energie se může ve svalu za těchto podmínek obnovovat pouze kolem 40 – 90 s a pak sval selže.



Výsledkem vysoké úrovně silové vytrvalosti je prodloužení času, kdy svaly předloktí pracují v anaerobním laktátovém režimu. Nízká úroveň této schopnosti je charakteristická velmi rychlou akumulací laktátu ve svalech předloktí, jež má za následek ukončení pracovní činnosti svalů a pád lezce.

Goddard a Neuman (1993) upozorňují, že silovou vytrvalost ovlivňuje z velké části i síla maximální. Vysoká úroveň maximální síly oddaluje uzavření kapilár při intenzivním silově vytrvalostním výkonu v lezení, a tím napomáhá odvádění laktátu ze svalů.

Silovou vytrvalostí se zabývali Watts (2004), Baláš et al. (2012), Vigoroux a Quaine (2006) a další. Mezi nejčastější testy silové vytrvalosti patří vis na posledních člancích prstů na 2,5 cm liště a výdrž ve shybu.

Jak vyplývá z výsledků výzkumu Baláše et al.(2012) je vidět, že nejvíce koreluje s lezeckým výkonem test visu na 2,5 cm liště a výdrž ve shybu. Vis na 2,5 cm liště zatěžující flexorové svaly předloktí vykazuje velmi vysokou korelaci ( $r = 0,89$  pro muže a  $r = 0,82$  pro ženy) s výkonností RP. Vysokou korelaci s výkonností RP vykazuje také test výdrže ve shybu ( $r = 0,76$  pro muže a  $r = 0,81$  pro ženy).

Speciální test pro posouzení silové vytrvalosti vytvořili Vigoroux a Quaine (2006), kteří vycházeli z MVC každého jedince. Jejich test se skládal z 36 opakování (5s zatížení, 5s odpočinek). Autoři objevili znatelný rozdíl mezi elitními lezci a nelezci. Nelezci začali v tomto testu selhávat přibližně po 90s a elitní lezci až po 180s, přičemž selhání bylo stanoveno neschopností udržovat 80% MVC.

#### **2.1.2.2.3 Rovnováha**

Rovnováha je schopnost, která úzce souvisí s vestibulárním aparátem, CNS a svalovou propriorepcí. Výsledkem této schopnosti je souhra svalů udržující tělo a jeho segmenty v určité pozici, která by měla být co nejvýhodnější. V lezení je využívána hlavně ve statických pozicích, kdy je potřeba tělo vyvážit takovým způsobem, aby docházelo k co nejnižšímu energetickému výdeji.

#### 2.1.2.2.4 Flexibilita

Flexibilita je schopnost konat pohyby v plném rozsahu. Tato schopnost má velkou spojitost s lezeckou technikou. Pokud lezec nemá dostatečnou flexibilitu, musí techniku přizpůsobovat své úrovni flexibility a může u něho docházet k vyššímu energetickému výdeji než u lezců, kteří disponují velmi dobrou flexibilitou. Draper, Brent, Hodgson a Blackwell (2009) zkoumali flexibilitu lezců různé výkonnostní úrovně a zjistili, že největší korelaci s výkonem ( $r = 0,65$ ) vykazuje test výšky nasednutí na nohu. Jedná se o test, kdy testovaná osoba zvedne nohu co nejvíce a poté pomocí shybu a přenesení váhy na vysokou nohu, nasedne na patu této nohy.

Goddard a Neuman (1993) uvádějí, že lezci potřebují flexibilitu hlavně proto, aby mohli používat při lezení vysoké kroky a nasedání na patu nohy. To je nutné k tomu, aby mohli optimálně umístit tělo při statických pozicích a tím zefektivnit odpočinkové pozice, a také jako prevenci zranění.

Při lezení je nejdůležitější specifická flexibilita, která souvisí s pohyblivostí kyčelních a hlezenních kloubů. Právě rozsah pohybu v těchto kloubech umožňuje lezci efektivně nasednout na patu nohy a odlehčit tak pažím.

#### 2.1.2.3 Technika ve sportovním lezení

V dnešní době jsou lezecké časopisy zaplněny návody jak zlepšit vytrvalost, maximální sílu a další kondiční faktory. Velmi málo se, ale lezecká populace zabývá technikou, která je velmi často limitujícím faktorem pro zlepšení výkonnosti lezů. Technika ve sportovním lezení je oproti ostatním sportům velmi málo prozkoumaným tématem. Ve sportovním lezení jsou často cesty, které lezec přelézá velmi odlišné, a proto může být každý krok v cestě nový. Nelze se tedy naučit unifikované dovednosti jako ve sportech, kde se prostředí nemění. Lezecký terén nabízí neomezené množství nových kroků a možností, s kterými se lezec musí potýkat.

Technika pohybu lezce začátečníka je velmi silová s trhaným přenášením těžiště. Ve srovnání s tím je technika pokročilého lezce charakteristická

dynamickým přenášením těžiště a využíváním hybnosti těla k dalším krokům (Vomáčko, 2008).

Hörst (2008) popisuje, že velmi důležitá je v lezení tzv. “základní technika”, která stejně jako tanečníkovi pomáhá i v lezení provádět lezci základní kroky s výbornou ekonomikou pohybu. Výsledkem dokonalé techniky je co nejekonomičtější provedení pohybu a tím i snížení energetického výdeje při lezení. Na základě svého výzkumu tento jev popisuje i Bertuzzi (2007), který se domnívá, že technika, která ovlivňuje ekonomiku pohybu, bude pro výkon v lezení důležitější, než aerobní a anaerobní výkonnost horní poloviny těla.

Goddard a Neuman (1993) popisují, že optimální technika dokáže šetřit lezcovy síly a tím snižovat energetický výdej. Dále autoři popisují, že základem tréninku techniky je vytvoření co nejširšího repertoáru pohybových vzorců, které mohou být pak použity v konkrétní situaci.

Samostatnou schopností, která velmi ovlivňuje zároveň i techniku pohybu je koordinace. Umožňuje nám provádět kontrolovaně a přirozeně lezecké pohyby. Je však nutno upozornit na to, že koordinaci velmi ovlivňují v lezení dva faktory, je to strach a laktát. Se strachem se spíše setkáváme na skalách a u začátečníků. Ovšem vyplavování laktátu je při delším a obtížném lezení pravidlem. Výsledek obou těchto faktorů je však stejný, sníží koordinaci lezce, tím zvýší energetickou náročnost lezení a rychleji pak dojde k vyčerpání energetických zásob a selhání lezce v cestě.

Jak píše Vomáčko (2008) je obvyklé se ve výkonnostní úrovni lezení setkávat se s dvěma odlišnými projevy techniky. První je typický pro ženy a zapojuje do lezení celé tělo, přičemž k posunu ve vertikálním směru slouží hlavně práce nohou. Druhý, typický pro muže, využívá pro posun ve vertikálním směru hlavně sílu paží a prstů.

Technika je tedy základem lezeckého pohybu, proto není neobvyklé, že silově slabší lezec překoná v cestě svého velmi silného kolegu.

#### ***2.1.2.4 Taktika ve sportovním lezení***

Faktory taktiky a taktická příprava jsou jednou z nejméně popisovaných částí sportovního lezení. Taktika zahrnuje načtení cesty, rozložení sil, rychlé přehodnocení situace atd. (lze také hovořit o „lezecké inteligenci“).

Jak píše Goddard a Neuman (1993) je taktika záměrná strategie k zajištění maximálního úspěchu v cestě.

Lezec má vždy před závodním výkonem spolu s ostatními závodníky několik minut na načtení cesty. Při lezení ve skalách si lezec zase cestu prohlíží, než do ní naleze. Musí si tedy udělat jakýsi plán postupu, který často rozhoduje o úspěchu či neúspěchu v dané cestě, protože pokud lezec bude odpočívat na nesprávném místě, pak zcela určitě vyčerpá své energetické zásoby příliš brzo a bude následovat pád. Další uplatňování taktiky lze nazvat jako proces optimálního řešení (Vomáčko, 2008). Tato činnost probíhá již při plánování lezeckého postupu, ale její důležitější realizace nastává až v krizových situacích, když chyt nemá takový tvar, jak si lezec představoval prvním zhlédnutím. Z tohoto důvodu si lezec musí vybrat co nejrychleji nové optimální řešení dané situace a tak se vyhnout možnému pádu.

## **2.2 Fyziologické aspekty sportovního lezení**

### **2.2.1 Srdeční frekvence**

Srdeční frekvence je jedním z nejstarších fyziologických ukazatelů. Je to jeden z nejlepších ukazatelů intenzity cvičení, protože kardiorespirační systém se velmi rychle přizpůsobuje měnícím se podmínkám zatížení.

Lezení jako ostatní sporty vyvolává stres organismu, na který srdce reaguje změnami srdeční frekvence (SF). Janot, Steffen, Porcari a Maher (2000) sledovali SF u lezců a nelezců. Výsledky ukázaly, že na stejné cestě byla nižší SF lezců, kteří měli vyšší výkonnost, což ukazuje určitou adaptaci organismu. Sheel, Seddon, Knight, Mckenzie a Wartburton (2003) píší, že SF se zvyšuje s obtížností lezení. Autoři také srovnávali SF při lezení a při jízdě na cykloergometru a zjistili, že při lezení je dosahováno 80% SF zjištěné na cykloergometru. Booth, Marino, Hill a Gwinn (1999) ukázali, že SF u lezení může stoupat až do maximálních hodnot ( $190 \pm 4$  bpm). Dále z jejich dat vyplývá, že vztah rychlosti lezení a SF je přímo úměrný, nelze však toto tvrzení plně zobecnit, protože Booth et al. (1999) pracovali jen se 3 rychlostmi, a další výzkum je proto v této oblasti nutný.

Srdeční frekvencí a spotřebou kyslíku se zabývali Mermier et al. (1997) a Sheel et al. (2003). Jejich závěry ukazují, že při lezení není vztah  $VO_2$  (spotřeba kyslíku) a SF lineární, tak jako při zatížení organismu na běžeckém ergometru nebo cykloergometru. Z tohoto důvodu nemůže být vztah SF a  $VO_2$  použit k předpovídání intenzity ve sportovním lezení tak jako v jiných sportech.

### **2.2.2 Spotřeba kyslíku**

Během cvičení se mění spotřeba kyslíku a s ní i spotřeba energie. Nejznámějším ukazatelem kardiovaskulární zdatnosti je maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2max}$ ).  $VO_{2max}$  je v dnešních podmínkách obvykle měřeno na běžeckém nebo cyklistickém ergometru. Se zvyšující se rychlostí, nebo sklonem dochází ke stále většímu zatížení organismu. Spotřeba kyslíku se stupňující se zátěží roste, do té doby dokud nedosáhne tzv. plató efektu, kdy začne stoupat již velmi pomalu, nemění se, nebo dokonce začne klesat. Tato spotřeba kyslíku se

pak rovná  $VO_2\text{max}$ . Nejčastěji se  $VO_2\text{max}$  udává v mililitrech kyslíku na kilogram tělesné váhy za jednu minutu.

“ $VO_2\text{max}$  je ukazatelem globální výkonnosti dýchacího a oběhového systému při dynamické a svalové činnosti, při které je v aktivitě co největší svalová hmota” (Máček & Máčková, 1995, p. 31). McArdle, Katch a Katch (2007) popisují  $VO_2\text{max}$  jako výborný ukazatel kardiovaskulární zdatnosti, který odráží spotřebu kyslíku během maximálního zatížení.

Sportovním lezením a jeho vztahem k  $VO_2$  se zabývali Bertuzzi et al. (2007), Billat et al. (1995), Booth et al. (1999), Mermier et al. (1997) a Sheel et al. (2003). Z jejich výsledků je patrné, že  $VO_2\text{peak}$  (maximální spotřeba kyslíku při lezení) nikdy nedosáhla  $VO_2\text{max}$  (měřeno na cykloergometru). Je to pravděpodobně způsobeno zapojením menších svalových skupin spotřebovávajících menší množství kyslíku, které jsou používány při lezení. A proto není  $VO_2\text{peak}$  tak vysoké jako u testů, kde je více zapojeno i svalstvo nohou. Sheel et al. (2003) porovnávali  $VO_2$  při lezení s  $VO_2\text{max}$  při testu na cykloergometru a zjistil, že při lezení dosahuje  $VO_2$  hodnot kolem 50%  $VO_2\text{max}$  zjištěného na cykloergometru. Vysoké hodnoty  $VO_2\text{peak}$  naměřené při lezení uvádějí Bertuzzi et al. (2007)  $38,6 \pm 5,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , vyšší hodnoty  $43,8 \pm 2,2$  naměřili Booth et al. (1999). I když bylo na toto téma mnoho studií vytvořeno, žádná studie zatím neodpověděla na otázku, zda je maximální výkon v lezení ovlivněn  $VO_2\text{max}$ .

Pokud vezmeme v úvahu fakt, že  $VO_2\text{max}$  změřené v laboratoři standardním testem bylo při všech výzkumech vyšší než  $VO_2\text{peak}$  při lezení. Lze tvrdit, že lezci pravděpodobně disponují dobrou až výbornou kardiovaskulární zdatností, ukazují to srovnávací tabulky pro ukazatel  $VO_2\text{max}$  (McArdle et al., 2007).

### 2.2.3 Krevní laktát

Jak uvádějí Bertuzzi et al. (2007) s rostoucí obtížností cest ve sportovním lezení roste i zapojení anaerobního laktátového metabolismu. Z tohoto důvodu se lezci v obtížných cestách musí potýkat s akumulací laktátu ve svalech. Nejvíce jsou pak hromaděním laktátu postiženy svaly na předloktí, konkrétně flexory. Jak zjistili Bertuzzi et al. (2007) na stejné cestě rekreační lezci vykazovali mnohem vyšší koncentraci krevního laktátu ( $4,4 \pm 1,6$ ) než elitní lezci ( $2,4 \pm 0,9$ ). Bertuzzi et al. (2007) si myslí, že rozdíly v koncentraci laktátu v krvi jsou způsobeny metabolickými změnami ve svalech. Koncentrací laktátu v krvi se zabývali i Mermier et al. (1997), jejichž výsledky potvrzují, že s vyšší obtížností lezení, roste i koncentrace laktátu v krvi a tím i zapojení anaerobního laktátového systému. Na základě souhrnné studie, kterou provedl Sheel (2004), lze konstatovat, že koncentrace krevního laktátu změřena v různých studiích se pohybovala od 2,4 do 6,1 mmol/l. Tento velký rozsah hodnot je způsoben rozdílností metod měření, výkonností měřených lezců a lezeckých zdí, kde bylo měření prováděno. Maximálními hodnotami krevního laktátu se zabývali Billat et al. (1995), kteří testovali lezce na hranici jejich maxima. Zjistili, že maximální akumulace krevního laktátu dosahuje pouze hodnot  $5,75 \pm 0,95$  mmol/l. Při těchto hodnotách krevního laktátu již dochází k selhání svalů předloktí, kde se laktát nejvíce vytváří a akumuluje.

Ve srovnání s ostatními sporty je hodnota maximálního krevního laktátu (6,1 mmol/l) velmi nízká. McArdle et al. (2007) popisují, že při zátěžových testech na běžeckém pásu dosahuje hodnota krevního laktátu 10mmol/l, což je téměř dvojnásobná hodnota krevního laktátu zjištěného při lezení. Nízká hodnota krevního laktátu při velmi intenzivním lezení je pravděpodobně způsobena zapojením menšího množství svalů a rychlou akumulací laktátu ve svalech předloktí.

### 2.3 Energetické metabolismy a energetická náročnost

Tak jako v každé lidské činnosti je i energie ve sportovním lezení hrazena pomocí základních energetických metabolismů. Tyto energetické metabolismy se vzájemně překrývají a doplňují při tvorbě energie. Energetické metabolismy se rozdělují McArdle et al. (2007) na tři základní. První z nich, využívající nejrychleji přístupnou energii je metabolismus anaerobní alaktátový. Tento systém pracuje bez přítomnosti kyslíku a spotřebovává intramuskulární vysoce energetické fosfáty, jako jsou adenosintrifosfát (ATP) a fosfokreatin (CP). Energie vydávána tímto metabolismem stačí tělu jen na 5 - 8s. Ve sportovním lezení se tento metabolismus uplatňuje při přelézání maximálně obtížných míst.

Jako druhý systém energetické úhrady při nedostatku kyslíku v těle nastupuje anaerobně laktátový metabolismus. Charakteristickou reakcí je pro tento metabolismus anaerobní glykolýza, při které vzniká jako vedlejší produkt laktát. Tento metabolismus nastupuje po 10s vysoce intenzivního lezení a trvá přibližně do 3 min. Tvorba energie probíhá bez přítomnosti kyslíku, a proto se jako vedlejší produkt vytváří laktát. Při akumulaci laktátu dochází k únavě, svalové bolesti a selhání svalové práce. Toto omezení anaerobního laktátového metabolismu vysvětluje, proč nepřerušované velmi obtížné lezení může trvat maximálně 3 minuty.

Aerobní metabolismus, je neekonomičtější systém uvolňování energie, který přebírá kontrolu, pokud aktivita trvá delší dobu jak 3 minuty. Tento metabolismus dokáže vytvořit setrvalý rovnovážný stav. Tento stav je charakterizován rovnováhou mezi energií spotřebovanou pracujícími svaly a produkcí ATP v aerobním metabolismu. K tvorbě energie tento systém dokáže využívat i bílkoviny a tuky, za předpokladu, že je přítomen kyslík. Při tomto metabolismu nedochází k tvorbě laktátu, a proto může lezení v tomto režimu trvat i několik hodin. Intenzita lezení musí být ale nízká, aby nedocházelo k zapojení ostatních energetických systémů.

Podle McArdla et al. (2007) se energetická spotřeba dnes nejčastěji zjišťuje pomocí metody nepřímé kalorimetrie. Vydaná energie je zjišťována pomocí objemu spotřebovaného kyslíku, který je přepočítáván na energii. Toto je



možné pouze za předpokladu, že většina energie vzniká při oxidativním uvolňování energie. Zaokrouhlená hodnota se pohybuje kolem 5kCal na litr spotřebovaného kyslíku.

Nejpoužívanější metodou pro zjištění přesného energetického výdeje je spirometrie. Dělí se na spirometrii s otevřeným a uzavřeným okruhem. Metoda uzavřeného okruhu využívá 100% kyslík. Oproti tomu metoda otevřeného okruhu pracuje se složením atmosferického vdechovaného a vydechovaného vzduchu, přičemž uvažujeme, že vdechovaný vzduch obsahuje 20,93% kyslíku, 0,03% oxidu uhličitého a 79% dusíku. Mezi vydechovaným a vdechovaným vzduchem vznikají rozdíly v objemu kyslíku a oxidu uhličitého. Analyzován je objem vydechovaného vzduchu a jeho složení.

Billat et al. (1995) uvádějí, že na základě jejich výzkumu je zřetelné, že sportovní lezení nezahrnuje pouze aerobní metabolismus, což dokazuje nízká hodnota  $VO_2\text{peak}$  (nejvyšší spotřeba kyslíku při lezení) vzhledem k  $VO_2\text{max}$  (maximální spotřeba kyslíku zjišťovaná na běžeckém pásu).

Zastoupením energetických systémů v průběhu lezeckého výkonu se zabývali především Bertuzzi et al. (2007), jež provedli pomocí přenosného analyzátoru plynů měření na 6 elitních lezcích a 7 rekreačních lezcích. Elitní lezci byli měřeni na 3 cestách zvyšující se obtížností, pro rekreační lezce byla připravena pouze jedna cesta, která byla zároveň nejlehčí cestou pro elitní lezce. Z výsledků jejich výzkumu vyplývá, že nejvíce se při lezeckém výkonu uplatňují metabolismy aerobní a anaerobní alaktátový, přičemž zapojení metabolismu anaerobního laktátového stoupá s obtížností lezeckého terénu. Dále výsledky ukazují, že energetický výdej se zvyšuje s obtížností lezeckých cest. Rozdíly lze také sledovat v porovnání energetického výdeje na nejlehčí cestě, kterou absolvovali elitní i rekreační lezci. Hodnoty ukazují, že na stejné cestě mají elitní lezci nižší energetický výdej (asi o 17kJ) než lezci rekreační. Rozdíl energetického výdeje mezi elitními a rekreačními lezci, ale může souviset s lezeckou rychlostí, která při tomto výzkumu nebyla monitorována.

### 2.3.1 Rychlost

Lezeckou rychlostí se zabývali Booth et al. (1999), kteří zkoumali energetickou náročnost při změnách lezecké rychlosti na speciálním lezeckém pásu. Svůj výzkum realizovali na 7 lezcích různé výkonnosti. Při zátěžovém testu byla zvyšována rychlost speciálního lezeckého pásu obsahujícího umělé chyty a stupy, dokud nedošlo k vyčerpání. Z výsledků práce vyplývá, že energetická spotřeba je takřka přímo úměrná lezecké rychlosti. Na výsledky této práce je nutno se zaměřit s opatrností, protože autor ověřoval vliv pouze tří rychlostí (8, 10 a 12 m/min), a proto nevíme, zda linearita bude konstantní i v krajních bodech.

### 2.3.2 Sklon

Watts a Drobish (1998) zkoumali vliv sklonu na fyziologické aspekty lezců. Studie se zúčastnilo 16 zkušených lezců. Výsledky ukázaly, že srdeční frekvence se zvyšujícím se sklonem stoupá, ale spotřeba kyslíku se příliš nemění. Při zvýšení srdeční frekvence o 17 tepů za minutu se zvýšila spotřeba kyslíku o méně než  $2,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Z grafů a naměřených hodnot vyplývá, že energetická náročnost lezení klesá spolu se snižujícím se sklonem lezecké stěny.

Mermier et al. (1997) prováděli výzkum energetického výdeje při lezení pro 14 lezců. Lezci byli podrobeni 3 zátěžovým testům zvyšující se obtížnosti v lezení na umělé stěně s horním jištěním. Zvyšující se obtížnost byla docílena modifikací sklonu lezecké stěny a zároveň zmenšením chytů. Souhrnné výsledky ukázaly, že energetická náročnost lezení stoupala s obtížností cest.

### 2.3.3 Výkonnost

Bertuzzi et al. (2007) se zabývali zapojením energetických systémů a energetickou náročností lezení u lezců s různou výkonnostní úrovní. Z jejich výsledků je patrné, že spotřeba kyslíku EL ( $30,3 \pm 7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) a RL ( $23 \pm 5,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na stejné cestě byla rozdílná, z toho lze vyvozovat i rozdílnou energetickou náročnost. Je zde nutno podotknout, že autor při tomto výzkumu nesledoval rychlost, a proto není možné určit, zda byl rozdíl v energetické náročnosti lezení způsoben rozdílnou výkonností, či rozdílnou lezeckou rychlostí. Na závěr své studie Bertuzzi et al. (2007) uvádějí, že lezecká ekonomika pohybu, bude pravděpodobně pro výkon ve sportovním lezení důležitější než zlepšování funkce energetických systémů.

Jak je zřejmé z předešlých výzkumů, je energetická náročnost lezení závislá především na třech základních faktorech. Rychlost, jež přímo ovlivňuje hlavně srdeční frekvenci. Sklon lezené cesty, který vypovídá o tom, jak moc lze využívat při lezení nohy a odlehčovat tak pažím. A posledním faktorem je výkonnost lezce, která vypovídá o zkušenostech a ekonomice pohybu.

Jak již bylo řečeno je výkon sportovního lezce složité uspořádání mnoha faktorů a postupnými studii se snažíme odkrývat jejich důležitost. Velmi složitou oblastí je ve sportovním lezení technika, která bývá často v lezení velmi rozdílná mezi lezci, avšak elitní lezci by měli být určitým způsobem odlišeni od lezců nižších výkonnostních úrovní. Teoretické poznatky Hörsta (2008), Goddarda a Neumana (1993) a výzkum, který provedl Bertuzzi et al. (2007) naznačuje, že lezci s vyšší výkonností budou mít lepší ekonomiku pohybu, a tím bude u nich snížena i energetická náročnost při lezení. Aby mohlo být toto tvrzení ověřeno je nutno zajistit stejné podmínky při testování všech lezců, především pak rychlost a sklon v dané cestě.

### **3 Cíl práce**

Cílem práce je posoudit vztah mezi lezeckou výkonností a energetickou náročností při lezení submaximální intenzitou.

### **4 Hypotéza**

- **Energetická náročnost lezení se významně snižuje s lezeckou výkonností.**

### **5 Úkoly práce**

1. Navržení zátěžového testu, který budou moci absolvovat různé výkonnostní úrovně lezců.
2. Výběr a kontaktování výzkumného souboru.
3. Shromáždění dat ze zátěžových testů.
4. Zpracování dat.
5. Objasnit vztah mezi lezeckým výkonem RP a energetickou náročností lezení.

## **6 Metodika**

### **6.1 Soubor**

Výzkumný soubor byl vytvořen záměrným výběrem a skládal se z dvaceti šesti lezců dobrovolníků mužského pohlaví (věk  $26,8 \pm 3,3$  roku, tělesná hmotnost  $70,6 \pm 6,2$  kg,  $177,6 \pm 6,5$  cm). Subjekty byly záměrně vybrány tak, aby jejich výkonnost pokryla co nejvíce celou stupnici obtížnosti UIAA. Výkonnost lezců byla dána aktuálně nejvyšším přelezem ve stylu RP. Výkonnost lezců se pohybovala od 4 do 10 stupně UIAA. Žádný dobrovolník netrpěl zdravotními obtížemi, ani nepožíval jakékoliv medikamenty. Všichni účastníci byli seznámeni s průběhem studie a svůj souhlas potvrdili podpisem v souladu s etickou komisí. Studie byla schválena etickou komisí pod jednacím číslem 086/2012.

### **6.2 Realizace měření**

Měření bylo provedeno na bouldrové stěně, která má tvar čtverce o hraně 3 m. Tato zeď umožňuje změnu sklonu z vertikálního ( $90^\circ$ ) do převislého profilu ( $135^\circ$ ). Během měření byla pod zdí umístěna veliká matrace, aby byla zajištěna bezpečnost všech účastníků. Samotný test se skládal z cesty, která byla uspořádána do kruhu, aby mohli účastníci nepřerušovaně lézt. Jedno lezecké kolečko bylo složeno z 15-ti lezeckých kroků. Jeden lezecký krok znamenal posunutí ruky z chytu na další chyt, přičemž pohyby nohou byly libovolné. Při testu byla předepsána rychlost pohybu a to 25 kroků za minutu, která byla určována pomocí metronomu, a její dodržování bylo kontrolováno. Test byl proveden ve dvou sklonech ( $90^\circ$  a  $105^\circ$ ). Testování v každém sklonu trvalo 3 minuty, takže celkový čas zatížení byl 6 minut. Test začínal ve vertikálním profilu ( $90^\circ$ ) a po 3 minutách byl sklon bez přerušení změněn na profil převislý ( $105^\circ$ ).

### 6.3 Použité metody

Pomocí přenosného metabolického analyzátoru (MetaMax®, Cortex Biophysic, Germany) byla zaznamenávána minutová ventilace ( $V_E$ ), spotřeba kyslíku ( $VO_2$ ), produkce kysličníku uhličitého ( $VCO_2$ ). Tento přístroj byl při měření umístěn na hrudníku lezce, tak aby neomezoval v pohybu. Před každým novým testováním byl MetaMax® kalibrován podle návodu od výrobce. Hodnoty byly tímto přístrojem snímány po celé měření s 20s průměrováním záznamů. Pro analýzu byly použity záznamy z poslední minuty měření, kdy docházelo u většiny lezců k setrvalému stavu. Dále byl vyhodnocován respirační poměr (RER) a dechová frekvence ( $f_B$ ). Srdeční frekvence (SF) byla sledována pomocí MetaMax® za pomoci hrudního pásu Polar (Polar Electro OY, Finland).

### 6.4 Vyhodnocení výsledků

K popisu dat byly použity deskriptivní statistické metody (aritmetický průměr, směrodatná odchylka). Závislost měřených veličin na výkonnosti RP byla počítána pomocí Pearsonovy korelace a jednoduché lineární regrese.

## 7 Výsledky

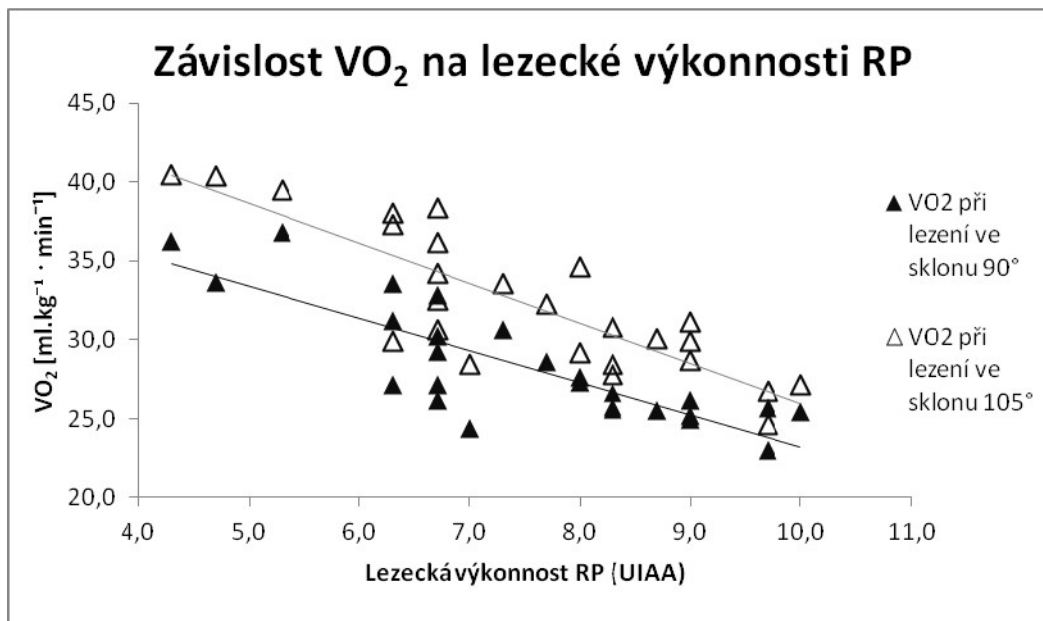
Výsledky z měření 26 lezců, jejichž výkonnost RP se pohybovala mezi 4 - 10 stupněm UIAA jsou vyznačeny v tabulce 2.  $VO_2$ ,  $V_E$  a SF, které byly naměřeny během submaximálního lezeckého testu ve vertikálním  $90^\circ$  a převislém  $105^\circ$  sklonu znatelně koreluje s lezeckou výkonností RP. Naopak velmi nízkou korelaci na lezecké výkonnosti RP vykazuje  $V_T$  (dechový objem). Při porovnání energetické náročnosti lezení ve dvou sklonech se ukazuje, že lezení ve více převislém profilu je energeticky náročnější. Během submaximálního testu se  $f_B$  pohybovala kolem  $25,5 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$  při  $90^\circ$  a  $27,6 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$  při  $105^\circ$ .

**Tabulka 2** – Souhrnné výsledky měření ve sklonech  $90^\circ$  a  $105^\circ$

	Submaximální lezení ( $90^\circ$ )			Submaximální lezení ( $105^\circ$ )		
	Průměr	<i>s</i>	Korelace s RP	Průměr	<i>s</i>	Korelace s RP
$VO_2$ [ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	28,3	3,7	<b>-0,82</b>	32,3	4,5	<b>-0,84</b>
SF [úderů $\cdot \text{min}^{-1}$ ]	130,3	17,4	<b>-0,66</b>	146,6	19,2	<b>-0,78</b>
$V_E$ [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	41,3	6,9	<b>-0,77</b>	49,7	11,5	<b>-0,80</b>
$f_B$ [dechů $\cdot \text{min}^{-1}$ ]	25,5	4,2	<b>-0,51</b>	27,6	5,3	<b>-0,62</b>
$V_T$ [l]	1,65	0,28	-0,16	1,82	0,31	-0,30
$V_E/VO_2$ [l]	20,7	1,9	-0,09	21,7	2,7	-0,39
RER	0,79	0,06	0,02	0,86	0,06	<b>-0,52</b>

*s* (směrodatná odchylka), Korelace s RP (korelace s výkonností Red point),  $VO_2$  (spotřeba kyslíku), SF (srdeční frekvence),  $V_E$  (minutová ventilace),  $f_B$  (dechová frekvence),  $V_T$  (dechový objem),  $V_E/VO_2$  (ventilační ekvivalent pro kyslík), RER (respirační poměr)

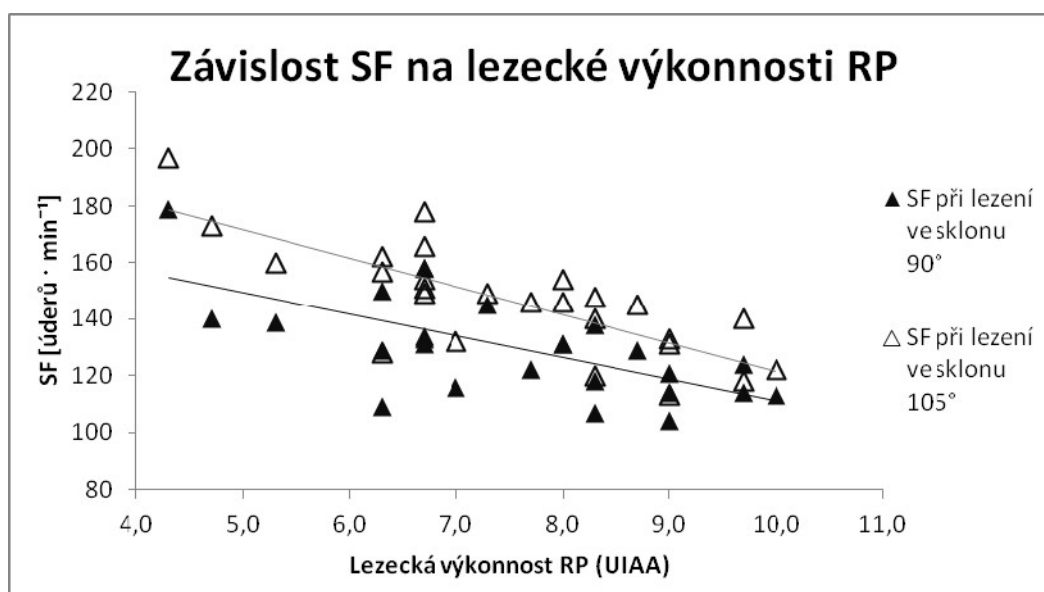
Jak je vidět v Grafu 1,  $VO_2$  vykazovalo vyšší hodnoty pro lezení v převislém profilu  $105^\circ$ , což značí i vyšší energetickou náročnost. Při lezení v obou sklonech vykazovalo  $VO_2$  závislost na lezecké výkonnosti RP nepřímo úměrnou a téměř totožnou ( $90^\circ$ ,  $r = -0,82$ ;  $105^\circ$ ,  $r = -0,84$ ), jak lze vidět v tabulce 2. To značí, že čím vyšší měl lezec výkonnost RP tím nižší bylo jeho  $VO_2$ .



**Graf 1** – Závislost  $VO_2$  (spotřeba kyslíku) na lezecké výkonnosti RP (Red point) při sklonu  $90^\circ$  a  $105^\circ$

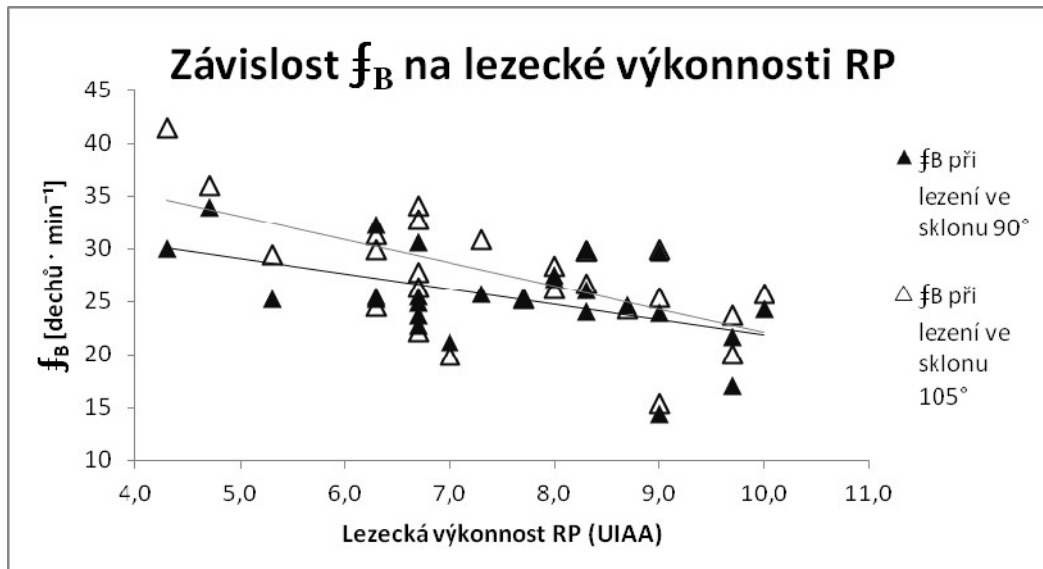


V grafu 2 lze pozorovat závislost SF na lezecké výkonnosti RP. Při porovnání SF v obou sklonech je zřetelné, že SF v převislém profilu 105° vykazuje vyšší hodnoty SF, než ve vertikálním profilu 90°. Dále z dat vyplývá, že vyšší závislost SF na lezecké výkonnosti RP vykazuje převislý profil 105° (90°, SF,  $r = -0,66$ ; 105°,  $r = -0,78$ ) jak lze vidět v tabulce 2.



**Graf 2** – Závislost SF (srdeční frekvence) na lezecké výkonnosti RP (Red point) při rozdílném sklonu

Jak ukazuje graf 3 závislost  $f_B$  na lezecké výkonnosti, je vidět, že dechová frekvence u lezců s vyšší výkonností se v obou sklonech blíží 25 dechům  $\cdot \text{min}^{-1}$ .



**Graf 3** – Závislost  $f_B$  (dechová frekvence) na lezecké výkonnosti RP (Red point) při rozdílném sklonu

## 8 Diskuze

Záměrem této studie bylo zjistit, zda má lezecká výkonnost vliv na energetickou náročnost v lezení. Účastníci studie reprezentovali všechny výkonnosti úrovně od začátečníků až po elitu.

Vyhodnocením dat bylo zjištěno, že při stejném zatížení lezci s vyšší výkonností, vykazují nižší hodnoty SF a  $\text{VO}_2$ . Protože při měření byla rychlost pohybu konstantní, lze usuzovat, že nižší energetická náročnost je způsobena lepší ekonomikou pohybu, jak již zmiňovali Bertuzzi et al. (2007) a Janot et al. (2000).

V této studii se hodnoty  $\text{VO}_2$  pohybovaly od 25 do 36 ml . kg<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup> ve sklonu 90° a 27 až 40 ml . kg<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup> ve sklonu 105°. Tyto výsledky ukazují, že výkonnější lezci mají až o jednu třetinu nižší energetický výdej, což je nejpravděpodobněji způsobeno jejich lepší ekonomikou pohybu. Hodnoty  $\text{VO}_2$  ve dvou rozdílných sklonech také ukazují na vyšší energetickou náročnost lezení v profilu, který je více převislý.

Mermier et al. (1997) testovali fyziologické odpovědi při lezení ve třech sklonech (90°, 106°, 151°), z nichž dva tyto sklony jsou srovnatelné s naší studií. Ve sklonu 90° sledovala u zkušených lezců hodnoty  $\text{VO}_2$  20,7 ± 8,1 ml . kg<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup> a ve sklonu 106° hodnoty  $\text{VO}_2$  21,9 ± 5,3 ml . kg<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty jsou dokonce nižší než hodnoty nejvýkonnějších lezců z naší studie. Vysvětlení se nabízí ve faktu, že Mermier et al. (1997) nekontrolovali rychlost lezeckého pohybu, který má velký vliv na energetický výdej (Booth et al., 1999). Dále se nabízí také vysvětlení, že testování Mermierové et al. (1997) probíhalo při lezení nahoru a dolů, přičemž pohyb dolů je na stěně mnohem méně náročný, než pohyb nahoru, z důvodu působení gravitace. RER (90° RER 0,81; 106° RER 0,84) je srovnatelné s naší studií a naznačuje vyšší zapojení laktátového metabolismu se zvyšujícím se sklonem.

Lezce začátečníky testovali v pěti sklonech (80°, 86°, 91°, 96°, 102°) Watts a Drobish (1998). Autoři prohlašují, že našli podobné  $\text{VO}_2$  ve všech sklonech (29,5 – 31,7 ml . kg<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup>), přičemž průměrná SF se zvyšovala ze 156 – 171 úderů . min<sup>-1</sup>. Lezci si sami volili rychlost lezení. Tato rychlost se

snižovala se zvyšujícím se sklonem. Autoři této studie prohlašují, že kombinací lezecké obtížnosti a lezecké rychlosti došlo k vybalancování  $VO_2$  tak, že bylo téměř konstantní. Shoda  $VO_2$  v předešlé a v naší studii ve vertikálním profilu ukazuje podobnou energetickou spotřebu.

Bertuzzi et al. (2007) měřili  $VO_2$  u rekreačních a elitních lezců při pohybu na lehké cestě (submaximální zatížení). Naměřili hodnoty  $VO_2$   $30,3 \pm 7,7$  ml .  $kg^{-1}$  .  $min^{-1}$  u rekreačních lezců, což odpovídá hodnotám zjištěným při našem měření u lezců nižších výkonnostních úrovní. U elitních lezců zjistili při stejném zatížení hodnoty  $VO_2$   $23 \pm 5,2$  ml .  $kg^{-1}$  .  $min^{-1}$ , což odpovídá našim hodnotám změřených u lezců vyšší výkonnosti. Tyto výsledky jasně korespondují s výsledky naší studie a ve spojení s výsledky naší studie poukazují na závislost výkonnosti a ekonomiky pohybu.

Sheel et al. (2003) měřili  $VO_2$  během submaximálního lezení. Naměřili hodnoty  $VO_2$   $20,1 \pm 3,3$  ml .  $kg^{-1}$  .  $min^{-1}$  v lehké cestě a  $VO_2$   $22,7 \pm 3,7$  ml .  $kg^{-1}$  .  $min^{-1}$  v těžké cestě. Jak je vidět z udávaných hodnot, dochází zde k nesrovnalostem mezi ostatními studii.

Z našich výsledků vyplývá, že  $f_B$  se u výkonnějších lezců blíží 25 dechům za minutu, což pravděpodobně souvisí s rychlostí pohybu (25 kroků .  $min^{-1}$ ). Rytmem pohybu a dechovou frekvencí se zabýval ve veslování Mahler, Shuhart, Brew a Stukel (1991) v cyklistice Bernasconi and Kohl (1993) a další. Nicméně zatím nikdo nezkoumal spojení rytmu a dechové frekvence při lezení. Z výsledků naší studie vyplývá, že při submaximálním zatížení udržují výkonnější lezci lépe dechovou frekvenci s rytmem pohybu, než začátečníci.

Závěrem lze říci, že  $VO_2$  během submaximálního lezení je zajímavý ukazatel ekonomiky pohybu. Nicméně by bylo nutno provést k tomuto tématu další rozsáhlejší měření, které by naše závěry potvrdilo. Dechová frekvence během submaximálního lezení byla silně spojena s dechovým rytmem, což má za následek pravděpodobně složení lezeckého výkonu, který se z 30 – 50% skládá ze statických pozic (Billat et al., 1995; Watts, 2004) .

## 9 Závěr

Energetická náročnost lezení vyjádřena pomocí  $\text{VO}_2$  byla  $28,3 \pm 3,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ve sklonu  $90^\circ$  a  $32,3 \pm 4,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ve sklonu  $105^\circ$ . Výsledky této práce ukazují, že existuje spojitost mezi lezeckou výkonností RP a  $\text{VO}_2$  v rozdílných sklonech ( $90^\circ$ ,  $r = -0,82$ ;  $105^\circ$ ,  $r = -0,84$ ). Korelační koeficienty ukazují poměrně vysokou závislost, která značí, že lezci s vyšší výkonností RP mají během submaximálního lezení nižší energetický výdej. Při zobecňování tohoto tvrzení je na místě opatrnost. Bylo by třeba ještě ověřit, zda tento fakt platí i při různých konstantních rychlostech a rozdílných profilech. Dál poměrně silně koreluje s lezeckou výkonností RP i  $V_E$  a SF ( $90^\circ$ , SF,  $r = -0,66$ ,  $V_E$ ,  $r = -0,77$ ;  $105^\circ$ , SF,  $r = -0,78$ ,  $V_E$ ,  $r = -0,80$ ).

## 10 Použitá literatura

- Baláš, J, Pecha, O, Martin, A, J, & Cochrane, D. (2012). Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16-25.
- Bernasconi, P, & Kohl, J. (1993). Analysis of coordination between breathing and exercise rhythms in man *Journal of Physiology*, 471, 693–706.
- Bertuzzi, R, C, M. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 293–300.
- Billat, V, Palleja, P, Charlaix, T, Rizzardo, P, & Janel, N. (1995). Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 20-24.
- Booth, J, Marino, F, Hill, C, & Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Medical Journals*, 33, 14-18.
- Choutka, M, & Dovalil, J. (1982). *Základy sportovního tréninku*. Praha: Univerzita Karlova.
- Draper, N, Brent, S, Hodgson, Ch, & Blackwell, G. (2009). Flexibility assessment and the role of flexibility as a determinant of performance in rock climbing. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 67-89.
- Giles, L, V, Rhodes, E, C, & Tauton, J, E. (2006). The Physiology of Rock Climbing. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(6), 529-545.
- Goddard, D, & Neuman, U. (1993). *Performance rock climbing*. Mechanicsburg: Stackpole books.
- Grant, W, Hynes, V, Whittaker, A, & Aitchinson, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Science*, 14, 301-309.
- Hörst, E. (2008). *Training for Climbing*. Guilford: Falconguides.
- Janot, J, F, 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. *Official Journal of The American Society of Exercise Physiologists*, 3(1), 1-7.

- Mahler, D, A, Shuhart, C, R, Brew, E, & Stukel, T, A. (1991). Ventilatory responses and entrainment of breathing during rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 186–192.
- Mcardle, W, D, Katch, F, I, & Katch, L, I. (2007). *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance* (6 ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mermier, Ch, 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.
- Máček, M, & Máčková, J. (1995). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: Onyx.
- Procházka, V, Procházka, V, ml., Rotman, I, & Novák, J. (1990). *Horolezectví*. Praha: Olympia.
- Rodio, A, Fattorini, L, Alessandro, R, Quatrinni, 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.
- Sheel, W, A. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 355–359.
- Sheel, W, A, Seddon, N, Knight, A, Mckenzie, D, C, & Wartburton, D, E, R. (2003). Physiological Responses to Indoor Rock-Climbing and Their Relationship to Maximal Cycle Ergometry. *Official Journal of the American College of Sports Medicine*, 35(7), 1225–1231.
- Vigoroux, 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.
- Vomáčko, L. (2008). *Ke struktuře výkonu ve sportovním lezení v souvislosti s obecnými a speciálními testy pohybové výkonnosti a osobnostního profilu lezce*. UK, Praha.
- Vomáčko, L, & Boštíková, S. (2008). *Lezení na umělých stěnách* (2 ed.). Praha: Grada.
- 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 & Science in Sports & Exercise*, 30(7), 1118–1122.